

# Luis Felipe SEXTO

“En la mayoría de los casos, los problemas de mantenimiento no son de mantenimiento...”

**MÓDELOS DE  
OPTIMIZACIÓN  
DE ALCANCE, DURACIÓN  
Y COSTO EN PARADAS DE  
PLANTA**

**JAIME TRUJILLO**

**PLANES DE  
INSPECCIÓN  
EQUIPOS ESTÁTICOS Y  
TUBERÍAS**

**ELIMAR ROJAS**

**CONGRESO  
PRECONLUB 2022  
GRUPO TECHGNOSIS**

# PREDICTIVA 21

# Índice

- 3** **Editorial**
- 5** **Entrevista a Luis Felipe Sexto**  
por Montserrat Souza
- 17** **PRECONLUB 2022**  
por Montserrat Souza
- 23** **El mantenimiento del sistema de gestión de mantenimiento**  
Ramon Useche y Miguel Arcadio
- 26** **¿Qué es el mantenimiento inteligente?**  
Silvia Toyos
- 29** **Generar planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso.**  
Elimar Rojas
- 43** **Propuesta de adopción de modelos de optimización de alcance, duración y costo en paradas de planta.**  
Jaime Trujillo
- 63** **Modelo de operación y mantenimiento de activos para parques eólicos y fotovoltaicos**  
Strobinger Mesa Herrera
- 67** **Vacas sagradas y abejas asesinas**  
Pepe Villacís
- 71** **Optimización del sistema de venteo de empaquetadura (packing) de los compresores recíprocos**  
Alirio Morón
- 76** **Entrevista a Alejandro Godoy**  
por Montserrat Souza
- 80** **Cosentino digitaliza su mantenimiento predictivo**  
Pedro Caparrós
- 83** **Comprendiendo las economías de escala**  
Raul Quintana
- 85** **¿Realiza los mantenimientos preventivos a sus robots con personal interno?**  
Nubia Vessi, Victor Valdés y Uzziel Fonseca

# Editorial



**Andrés González**

Editor y CEO de Predictiva21

## Mantenimiento bajo norma

En esta edición hemos preparado más que artículos y entrevistas, también hemos vuelto a la cobertura presencial de eventos. Nos da un gusto enorme el haber sido parte del congreso PRECONLUB 2022 organizado por Grupo Techgnosis en León, Guanajuato, México. Para Predictiva21 significa mucho el regresar a la interacción cara a cara con nuestros lectores, amistades y colegas.

En esta edición podrán encontrar artículos muy variados, no solo referentes a temas técnicos sino también al manejo de personal y liderazgo. Temas como el Mantenimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento, Mantenimientos Preventivos a sus Robots, Generación planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso, Propuesta de adopción de modelos de optimización de alcance, duración y costo en paradas de planta, Lubricación de motores estacionarios a Gas, El desafío de comportamientos destructivos en la empresa, Optimización del sistema de venteo de empaquetadura (packing), Digitalización del Mantenimiento Predictivo, Las economías de escala y Mantenimiento Inteligente.

En la portada se encuentra Luis Felipe Sexto, a quien tuvimos el gusto de entrevistar y de quien rescato una frase sumamente interesante “En la mayoría de los casos, los problemas de mantenimiento no son de mantenimiento”. También encontrarán una entrevista con Alejandro Godoy, quien es parte de la dirección de Predictiva21 y a quien deseamos conozcan más de él como ser humano y profesionalista.

Ya estamos a mitad de año y los proyectos comienzan a tomar más forma, cosas buenas vienen en camino.

Un abrazo grande.

### DIRECTORIO

Andrés Enrique  
González Giraldo  
Editor y CEO de Predictiva21  
[andres.gonzalez@predictiva21.com](mailto:andres.gonzalez@predictiva21.com)

Enrique Javier  
González Hernández  
Fundador y Chairman de Predictiva21  
[enrique.gonzalez@predictiva21.com](mailto:enrique.gonzalez@predictiva21.com)

Montserrat Souza  
Moreno  
Dirección Editorial  
Coordinadora de Marketing  
[montserrat.souza@predictiva21.com](mailto:montserrat.souza@predictiva21.com)

Alejandro José  
Godoy Rodríguez  
Director de Marketing  
[alejandro.godoy@predictiva21.com](mailto:alejandro.godoy@predictiva21.com)

Israel Granados  
Antonio  
Diseño Editorial  
Creador de Contenidos  
[israel.granados@predictiva21.com](mailto:israel.granados@predictiva21.com)



Tlf / Whatsapp: +52 993 287 2551  
 contacto@predictiva21.com



**25**  
**Módulos**

**144**  
**Horas**

- Introducción al mantenimiento..... 4 Horas
- Gestión de Mantenimiento..... 4 Horas
- Estrategias de mantenimiento..... 4 Horas
- Planificación, Programación de Mantenimiento..... 8 Horas
- Análisis de seguridad/riesgo en el trabajo..... 4 Horas
- Gestión del dato en base a ISO 14224..... 4 Horas
- Mantenimiento Productivo Total TPM..... 8 Horas
- Sistema de medición..... 8 Horas
- Mantenimiento basado en condición - Técnicas predictivas..... 8 Horas
- Gestión normalizada de mantenimiento basado en la condición según ISO 17359..... 4 Horas
- Análisis Causa Raíz ACR..... 4 Horas
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM..... 8 Horas
- Introducción a RAMS (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad)..... 4 Horas
- Confiabilidad humana..... 4 Horas
- Introducción a fundamentos del negocio..... 4 Horas
- Gestión de Costos para Mantenimiento..... 4 Horas
- Evaluaciones económicas para Mantenimiento..... 8 Horas
- Venta de Valor y Beneficios (Aporte de Valor)..... 4 Horas
- Gerencia de Mantenimiento..... 8 Horas
- Gestión de paradas de planta de Mantenimiento..... 8 Horas
- Gestión y optimización de inventarios para Mantenimiento..... 8 Horas
- Gestión del Riesgo..... 4 Horas
- Auditoria del Gestión de Mantenimiento..... 4 Horas
- Mantenimiento 4.0..... 4 Horas
- Mantenimiento y Gestión de activos..... 4 Horas
- Desarrollo de trabajo final ..... 8 Horas

# Diplomado 15 de Octubre 2022

# en Mantenimiento

Mejora la Gestión de Mantenimiento  
 de tus Activos.



Entrevista por Montserrat Souza

“Lo fundamental no son los números ni la estadística, ni aún la técnica más sofisticada que este por inventarse, todo lo cual son solo meros instrumentos de la gestión. La esencia está en el involucramiento y en la mejoría de las personas.

A pesar que un impresionante cuerpo normativo internacional está disponible desde hace décadas, su conocimiento y aplicación para mantenimiento aparece a todas luces escaso. Solo un pequeño porcentaje de empresas hacen uso y se benefician de ello.”

LFS.

# Luis Felipe Sexto

## 1. Luis Felipe pláticanos un poco acerca de ti y de los proyectos en los que actualmente te encuentras.

**LFS.** Medio siglo más un año es el tiempo que ha pasado para mí y no me he dado cuenta. Actualmente, coordino el team de Ingeniería de Mantenimiento donde tiene su centro el Programa europeo, con base en Italia, Joint Strike Fighter (JSF), un caza multirol de quinta generación.

Apelando a la síntesis, he tenido una carrera donde vale la pena mencionar el trabajo en la fabricación de motores junto a la figura histórica de Eduardo Barreiros, la fundamental experiencia en el Centro de Estudio en Ingeniería de Mantenimiento de la Habana y hasta llegar en la actualidad a ser miembro pleno del Comité Europeo de Normalización (CEN) en Mantenimiento (CEN/TC 319).

Haciendo el balance, son más de dos décadas de proyectos asociados a la consultoría, la formación y la dirección de proyectos en el ámbito de la gestión e ingeniería de mantenimiento y la confiabilidad en diversos países y en los más variados sectores industriales.

## 2. Platiquemos acerca de la actualidad, ¿cuáles son los principales problemas del mantenimiento?

**LFS.** ¿Problemas actuales? La pregunta sugiere que ahora hay problemas que antes no había. Sin embargo, aunque no sea lo que se espera de la dialéctica del mejoramiento, desde mi percepción, las problemáticas actuales que más golpean, las venimos arrastrando sin haber logrado en el tiempo una solución definitiva.

Por mencionar algunos de estos “viejos conocidos”

1. Incomprensión por parte de la alta dirección del rol del mantenimiento dentro del sistema productivo.
2. Formación del personal insuficiente, heterogénea y con lagunas en el conocimiento del estado del arte en mantenimiento.
3. Sistemas de contratación precaria que no estimula el compromiso y el crecimiento dentro de las empresas.
4. Lugares de trabajo caracterizados por la poca participación, competitivos y discriminadores del conocimiento de los operarios al punto de excluirlos con frecuencia de los proyectos de mejora y los análisis para mejorar el desempeño en mantenimiento.



### 3. ¿Cómo se podría gestionar el mantenimiento de manera eficaz en la industria?

**LFS.** ¿¿Quién tuviera una varita mágica?! Desde tiempos que no puedo precisar se considera que son necesarios estos tres ingredientes que son más fáciles de mencionar que de poder contar con ellos juntos: personal con alta moral y comprometido, personal competente, lugares de trabajo acogedores.

A veces se pretende un mantenimiento eficaz y eficiente, pero si omitimos a las industrias punteras y miramos a la industria en general, no parece que exista hoy una orientación que les conduzca en esa dirección... Piensa, una gran cantidad de empresas industriales ahora mismo no logran ni acercarse a los resultados organizativos y de eficiencia que fueron logrados con la visión y métodos establecidos por las empresas japonesas hace más de 40 años. Recordemos que con el TPM ellos decían "mejorar las máquinas y ambientes de trabajo, mejorar a las personas y de consecuencia, mejorar la competitividad". Simplificando al extremo, muchas empresas de hoy pretenden la competitividad sin hacer lo debido en los dos primeros aspectos que la determinan.

Hoy se habla, sobre todo en redes sociales, y muchos repiten cosas que leen, nadadores fuera

del agua, pero se nota sobre todo la carencia de resultados reales de aplicación. Yo siento, y esta si una percepción que te comparto, en general como empresa y en particular como mantenimiento que estamos atravesando un proceso de involución, de retroceso que es necesario detener porque los buenos ejemplos y experiencias del pasado están siempre el conocimiento está las tecnologías están las normas, técnicas, los métodos están el "problema pendiente", como dejó dicho Joseph Juran, "es el hombre".

Alguien podría decir: con dinero, software y materiales necesarios bastaría! Es verdad, eso podría ayudar, pero como se demuestra en la práctica empresarial, son necesarios, pero no suficientes. La sola disponibilidad de recursos humanos y materiales no compensa la incapacidad de utilizarlos adecuadamente ni pueden establecer visión y objetivos por sí mismos.

Lo fundamental no son los números ni la estadística, ni aún la técnica más sofisticada que este por inventarse, todo lo cual son solo meros instrumentos de la gestión. La esencia está en el involucramiento y en la mejoría de las personas, en la capacidad de planificar, establecer metas de mejorar continuamente no solo los productos, los procesos, y esencialmente, a las personas.

El problema es en realidad que se relaciona con la pregunta anterior. Gestionar eficaz y eficientemente el mantenimiento en las empresas

industriales y de servicios, depende en modo determinante de la filosofía de lo que es gestionar la empresa que ejerce la alta dirección.

Es decir, en la mayoría de los casos, los problemas de mantenimiento no son de mantenimiento. Por ejemplo, ¿sería responsabilidad de mantenimiento si la empresa no aprueba presupuestos de acuerdo con las necesidades (si no hay presupuesto no puede haber mantenimiento preventivo), o si no acepta la contratación de personal competente, o si no cree en la utilidad de la formación por considerarla una pérdida o si la política de pagos es con toda evidencia inadecuada?, ¿qué calidad de mantenimiento se puede esperar en esas condiciones?

Por supuesto, me podrías reprochar que es fácil descargar toda la culpa a la dirección de las empresas que tanto dinero dedican a softwares y tecnologías... Y tienes razón. ¿A quién habría que señalar si en la empresa no existe un plan de mantenimiento contextualizado, si no hay objetivos de mantenimiento claros y compartidos con todas las partes interesadas, si no se analizan las causas de las fallas para que no se repitan, si no realizan análisis de recambios y materiales necesarios, ni se gestionan ni mantienen organizados los almacenes, si no se cuenta con personas con el nivel de conocimiento y la habilidad práctica necesaria?

Aquí de nuevo hay una mezcla de responsabilidad y capacidad técnica asociada a

la dirección de mantenimiento, pero esencialmente se vuelve a evidenciar una falencia organizativa y gestional a nivel de empresa. Y muchas veces tratando de gestionar estas situaciones las empresas en su búsqueda encuentran fácilmente a otras empresas y consultores y expertos en la materia, una parte es notable por su tendencia a la auto referencia sin pudor, altamente focalizados en la visión comercial y en la búsqueda de beneficios personales lo cual ha contribuido a acentuar, distorsionar y perpetuar los males que tienen su origen en la falta de visión, conocimientos y acción necesaria.

L

F

S

#### 4. Hablando acerca de las normas internacionales relacionadas con mantenimiento: ¿crees que existe desconocimiento por parte de las empresas de la normativa aplicable?, ¿por qué?

**LFS.** A pesar de que un impresionante cuerpo normativo internacional está disponible desde hace décadas, su conocimiento y aplicación para mantenimiento aparece a todas luces escaso. Solo un pequeño porcentaje de empresas hace uso y se benefician de ello.

En lo fundamental, considero se trata de falta de cultura de utilizar estándares internacionales, incompreensión y falta de acceso a las normas por parte de profesores y técnico y por supuesto, intereses de algunos en no divulgar ni trabajar con normas por temor a perder protagonismo o por no poder obtener de ello alguna ganancia personal.

Podemos sintetizar que el mantenimiento cuenta con un complejo y voluminoso cuerpo normativo internacional que durante décadas ha sido prácticamente desconocido en todo o en parte por instituciones de formación, empresas y consultores. ¿Cómo ha podido suceder tal desactualización por omisión? Este otro “síndrome de la norma olvidada y el agua tibia reinventada” podría ser propuesto a la comunidad de mantenimiento para debatirlo. Creo que es urge orientarse rápidamente al nivel del estado del arte en toda su extensión.

#### 5. ¿Cuáles son esas normativas y organizaciones que se requieren conocer?

**LFS.** Los fundamentales órganos internacionales de normalización que han construido el estado del arte en mantenimiento son:

- IEC que cuenta con el TC 56 “Dependability” con más de 60 normas relacionadas con mantenimiento, logística, predicción de la fiabilidad, mantenibilidad, técnicas variadas y gestión de riesgos.
- CEN con su comité técnico 319 “Maintenance” que cuenta con 11 grupos de trabajo y que ha desarrollado las normas relativas a la gestión y la ingeniería de mantenimiento que son de adopción obligatoria en los países que pertenecen a la Unión Europea (terminología, competencias del personal de mantenimiento, Indicadores, procesos, contratación, el rol del mantenimiento en la gestión de activos...).

- ISO presenta varios comités técnicos, subcomités y grupos de trabajo que producen normas directamente vinculadas a contenidos técnicos y de cualificación del personal de mantenimiento. En especial, no es posible dejar de mencionar las contribuciones del ISO/TC 108 “Mechanical vibration, shock and condition monitoring”, del ISO/TC 67 “Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries” y del ISO/TC 135 Non-destructive testing.

No pretendo ser exhaustivo, es para dar la idea. No menciono aquí otros órganos de normalización nacionales (por ejemplo, ANSI, UNI, AFNOR) o privados (por ejemplo, API, ASME, SAE) que sumarían más estándares a particulares técnicos de mantenimiento aplicables a una amplia variedad de sectores productivos.

#### 6. ¿Cuáles son las últimas novedades normativas del Comité europeo de estandarización en Mantenimiento (CEN / TC 319) ?, ¿Cuál es tu participación dentro del comité?

**LFS.** Represento al Ente Italiano di Normazione (UNI) en el Comité de Mantenimiento del CEN, con secretaría italiana. UNI es el órgano reconocido por el estado italiano y por la Unión Europea y es miembro del CEN y de ISO.

Antes de pasar a las novedades en mantenimiento, permíteme mencionar que el Comité Europeo de Normalización (CEN) actualmente cuenta con 397 comités técnicos (el 319 es el de mantenimiento y por acuerdo entre CEN e ISO, es el encargado de normalizar el tema de gestión e ingeniería de mantenimiento entre los órganos internacionales de normalización).

El trabajo del CEN se traduce en más de 16500 normas vigentes y alrededor de 3700 en preparación. Todas estas normas, como ya mencioné anteriormente, son de adopción obligatoria para los países que conforman la Unión Europea, caracterizada por ser una zona económica a la vanguardia con una alta concentración y variedad de industrias, que fabrica y exporta tecnologías de prácticamente todos los sectores industriales.

Mantenimiento colabora en el valor atribuido a un activo y en la realización del valor generado desde un activo o sistema productivo. Por ello, entre las novedades normativas tenemos la EN 17485, que representa un marco de referencia para mejorar el valor de los activos físicos durante el ciclo de vida.



Está previsto para este año que se realice la votación por países del proyecto de norma que desarrolla los requisitos de Ingeniería de Mantenimiento. Se trata del actual proyecto prEN 17666. Este estándar permitirá la normalización y auditoría de los requisitos que deben ser considerados para la Ingeniería de Mantenimiento en la empresa.

Otro proyecto sujeto a votación antes de fin de año es el prEN 17840 que propone un Marco para la evaluación de desempeño y condición para edificios y obras de ingeniería civil dentro de la gestión de activos físicos. Esta norma, así como en precedencia significó la EN 16646, busca integrar el rol del mantenimiento del facility en un concepto de gestión más amplio dentro de la empresa que no se limita a las máquinas.



Conferencia acerca de mantenimiento y gestión de activos. Fórum regional de mantenimiento y gestión de activos. Ecuador, 2015



Con el amigo y experto Raúl González Compartiendo durante una sesión demostrativa de novedades técnicas para el monitoreo de la condición, 2017



Luis Felipe Sexto, tercero de derecha a izquierda, en la Plenaria del Comité Técnico Europeo de Mantenimiento (CEN / TC 319). Octubre de 2018, Milán. Italia.

Junto a los queridos colegas Alexis Larez, David Faro, Antonio Muñoz. Celebrando los 40 años de AEM, Sexto Congreso español de Mantenimiento, 2017.

Actualización normativa internacional en mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos. Workshop di Confiabilidad Oil & Gas, México, 2016



## 7. Se les ha dado un gran peso a las certificaciones del personal en mantenimiento, ¿cuál sería la importancia de su validez y la utilidad que estas tienen?

**LFS.** Considero que las certificaciones reconocidas en el ámbito de la gestión e ingeniería de mantenimiento - dentro de la dinámica del reconocimiento de la conformidad internacional representa por el Fórum internacional de Acreditación, IAF - tienen un lugar en la demostración de conocimientos y calificación del personal.

Lo anterior es más aún si las personas no pueden demostrar una experiencia directa relevante o una formación académica de grado o postgrado en el tema. Cuando se certifica una persona en cierto tema esta demuestra que tiene conocimientos teóricos (y en algunos casos también habilidades prácticas) y aquí radica su importancia, que podría ser apreciado en principio por las empresas que buscan personal familiarizado con el tema.

Ahora bien, cuando hablamos de certificaciones de personal en mantenimiento no podemos limitarnos a mencionar y aceptar a priori los beneficios hipotéticos que pudieran darnos, es más importante verificar la efectiva validez del reconocimiento que puede ofrecer el ente certificador.

Veo muchas propuestas que buscan crear la idea de tratarse de “certificaciones internacionales” que entrarían en la clasificación de publicidad engañosa, ya que inducen el comportamiento económico distorsionado de personas y empresas, que son estimuladas a tomar decisiones comerciales de pago de cursos preparatorios y la certificación misma, que no habrían tomado de haber sabido que no hay un reconocimiento internacional según la lógica vigente de evaluación de la conformidad y de reconocimiento más allá de las fronteras.

Por supuesto, si las personas interesadas en alguna certificación son conscientes y están de acuerdo con el hecho que la certificación que pagan probablemente sea únicamente una certificación propia de quien la ofrece, pues, en ese caso, está claro que no habría reconocimiento internacional pero tampoco implicaciones cuestionables éticamente.

En lo que respecta la validez de las certificaciones de personal entramos en un tema sensible ya que muchas empresas y asociaciones nacionales ofrecen certificaciones de personal como producto. Este proceso en general no utiliza normas de referencia comunes y por ello en los exámenes se evalúan contenidos que pueden provenir de fuentes e interpretaciones disímiles y hasta con enfoques discutibles y no conformes a los estándares vigentes.

A diferencia de los títulos académicos emitidos por instituciones

educativas con autoridad legítima en cada país, y que pueden ser reconocidos oficialmente por las autoridades educativas homologas de otros países, las certificaciones de personal en mantenimiento en la mayoría de los casos actuales no son igualmente reconocibles internacionalmente por los sistemas educativos y empresariales de los diferentes países.

Y por supuesto, no quisiera que venga interpretado que estoy criticando a la certificación como figura necesaria para acreditar competencias por un tercero reconocido. Más bien, me refiero a las certificaciones no reconocidas ni reconocibles por el sistema internacional de evaluación de la conformidad ni por las autoridades educativas o empresariales que están presentes en cada país.

## 8. Algo que sigue pasando en la actualidad son los errores de concepto ¿cuáles serían los más comunes que se han divulgado relacionados al mantenimiento y la confiabilidad?

**LFS.** Claro, quisiera mencionar solo aquellos que se continúan a repetir no obstante los años pasan, ellos no han pasado.

Por ejemplo, me viene a la mente uno muy significativo para la confiabilidad. Se refiere al RCM y el patrón de fallo. Durante décadas se ha repetido con insistencia que “La probabilidad de fallo se mantiene constante para la mayor parte de los fallos”. Confundiéndose probabilidad condicional de fallo con probabilidad de fallo. En realidad, cuando la tasa de fallos se puede considerar constante como en el patrón E (período de vida útil), la probabilidad de fallo siempre crece.

Otro en mantenimiento preventivo, es quizás la combinación de palabras que más se repite cuando se habla de mantenimiento. Sin embargo, muchos colegas de la industria consideran que el mantenimiento preventivo es para “prevenir fallos” y no para corregir el deterioro y restituir a la máquina las condiciones que le permitan desempeñar sus funciones previstas durante el tiempo de operación programado.

Uno muy común relacionado con el mismo concepto de mantenimiento aún hay quien cree que el mantenimiento “se ocupa de mantener las máquinas” y no de garantizar las funciones según el uso previsto que éstas realizan.

Con respecto al MTBF es bastante difundida la idea que es “útil como indicador de vida operativa y para planificar el mantenimiento preventivo”. En realidad, es un simple indicador de confiabilidad, pero no es la confiabilidad. Representa estadísticamente un valor

medio y presenta los mismos problemas de cualquier cálculo de media estadística.

Un error que sigue generando polémicas se refiere a aquella idea sugestiva nacida metafóricamente para resaltar la importancia del mantenimiento: “Mantenimiento es una inversión y no un costo”. Si lo vemos según el sentido estricto de estos conceptos todos los que tienen que ver con el dinero saben que el costo de mantenimiento es una componente del costo de producción. Y las actividades de mantenimiento generan costos que deben ser siempre inferiores al costo de las consecuencias de la pérdida de funcionalidad de los activos.

Conceptualmente, la inversión se refiere al empleo de un capital con el objetivo de incrementarlo. No se puede considerar inversión en mantenimiento el hecho de dedicar recursos a un presupuesto de mantenimiento anual. Ya que el budget de mantenimiento es el resultado de la “previsión de costos” en que se debe incurrir generados por las actividades de mantenimiento necesarias. Por otro lado, el término “costo” se encuentra también definido en la norma EN 15341 de KPI de mantenimiento.

Pudiéramos seguir con otros ejemplos, pero estos que son básicos dejan bastante espacio para la reflexión.

## **9. Resolvamos el misterio, ¿por qué se habla de gestión de activos refiriéndose a la gestión del mantenimiento?**

LFS. ¿Y si lo descubrimos no perdería su atractivo este “misterio”? Veamos, antes que empezara a difundirse el término “asset management” en el ambiente de la comunidad de mantenimiento, el término era de sobra conocido en el sector de servicios financieros, la gestión bancaria, la gestión de inversiones.

Para esos sectores empresariales la gestión de activos ha sido históricamente considerada con contenidos diferentes a los que luego fueron asociados por los promotores de la familia ISO55000. La evidencia es que en práctica las empresas relacionadas con servicios financieros y bancarios no han mostrado mucho interés por certificarse en ISO55001 (que sería de las últimas en llegar entre más de 40 normas de gestión internacionales certificables).

Paradójicamente, tantas empresas industriales han sido abordadas mediáticamente con la idea de “implementar ISO 55001” a partir de los departamentos de mantenimiento. Tal idea no ha favorecido la aceptación de las empresas de identificarse con ISO 55001 porque mantenimiento no cuentan con la autoridad dentro de la empresa para liderar un sistema de gestión de activos, siendo este por definición, de aplicación coordinada y transversal en la organización. Por otro lado, ISO55001 no es una norma de requisitos

para mantenimiento, sino que es una norma de requisitos para un sistema de gestión de activos. Y, aunque parezca banal repetirlo, el mantenimiento tiene definido desde hace décadas sus normas y contenidos a gestionar y su misión dentro de la empresa.

De hecho, es ilustrativo el hecho que haya sido concebida hace unos años la Especificación Técnica IEC TS 62775 donde se indica que para soportar normativamente en la empresa un sistema de gestión de activos se deben combinar el conjunto de normas internacionales acerca del desempeño de los activos (Dependability Management), las normas internacionales de información financiera (NIIF), las normas internacionales de contabilidad (IAS) y las normas de Ingeniería de sistemas y softwares.

En conclusión, lo que hoy se etiqueta como “asset management” se parece demasiado a lo que fue la lógica conceptual de la “terotecnología” normalizada por BSI en 1974 y a lo presentado actualmente para el “Facility Management” en su familia de normas internacionales ISO 41000.

En mi opinión, el origen de esta distorsión en Latinoamérica se encuentra en aquel grupo de empresas de consultoría que se alinearon pensando que cambiar de etiqueta podía dar un nuevo aire al mercado de mantenimiento. De ese modo encontramos propuestas de mejora, auditorías, cursos que prometen tratar sobre gestión de activos, pero... con los contenidos típicos de mantenimiento. Podríamos describir esto como una especie de “infracción por invasión de campo”.

Debe ser muy desorientador para un joven que está empezando su carrera, escuchar al personal de mantenimiento asociar contenidos de mantenimiento a la gestión de activos. Es desconcertante ver, por ejemplo, que actividades de mantenimiento tan importantes como la planificación y programación del mantenimiento, la lubricación, el análisis de fallos, muchas veces no vengán reconocidas como parte de la gestión de mantenimiento y se relacionen impropriamente a la gestión de activos que sería verdad, pero en última instancia. La gestión de activos es el resultado de las contribuciones simultáneas y coordinadas de todas las funciones empresariales. No puede ni debe limitarse al mantenimiento que sería solo una de ellas.

Si esto sucede cabe preguntarse entonces ¿cuál sería el concepto de mantenimiento que tienen aquellos que confunden así los contenidos? Hay una clara diferencia: la gestión de activos se refiere a cómo aprovechar todos los activos (sean estos físicos o intangibles, sean objeto de mantenimiento o no) para crear valor. Mientras la gestión de mantenimiento considera todas las actividades técnicas y gestionables para asegurar la funcionalidad prevista de los activos objeto de mantenimiento. ¿Dime, cómo es posible confundirse de frente a conceptos tan disímiles?

No existe ninguna posibilidad que el personal de mantenimiento se ocupe de las cuestiones de gestión de activos en las empresas. En cambio, sí deben y tienen que ocuparse en mejorar siempre la gestión del mantenimiento.



Blas Galván y Luis Felipe Sexto compartiendo sus experiencias, México, 2016.

## 10. ¿Cómo se comparan las empresas latinoamericanas y empresas europeas con relación al mantenimiento?

**LFS.** Es una pregunta muchas veces debatida y argumentada con mis estudiantes de maestría y algunos colegas que operan en ambas zonas. Aquí siempre habrá percepciones diferentes en función de la experiencia de cada cual. Hay quien cree que lo de afuera siempre es mejor y hay quien cree que solo existe lo de adentro y lo demás no tiene relevancia. Puede sorprender lo que diré soportado en este privilegio de contar con las vivencias en consultoría y formación tanto en Europa como en Latinoamérica.

Veámoslo según estos criterios:

1. Calidad de la formación en gestión e ingeniería de mantenimiento: en ambos casos hay prevalencia tanto de programas propios de posgrado como de certificaciones propias. Se manifiesta un grupo mediáticamente agresivo con tendencia a lo comercial que inevitablemente compromete y deja huellas negativas en la formación manifestada en forma de errores y lagunas de conocimiento. Sin embargo, existe una mayoría de instituciones y profesionales con visibilidad mediática mucho menos evidente, y que parecería por ello que no existen... pero son los determinantes. No es este el espacio para mencionar a todas las instituciones que en cada país deberían considerarse. Quisiera, no dejar de resaltar en este sentido, el trabajo que por décadas impulsó y sigue llevando otro colega del cual me siento honrado con su amistad. Me refiero a Blas Galván que con la dirección del trabajo del grupo de investigación CEANI, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, con la creación de PlanetRams ha realizado contribuciones a desarrollar nuestra disciplina. Blas, trabaja siempre por unir puntos de vista y ofrecer conclusiones objetivas y útiles. Puso a disposición de todos,

herramientas para el análisis estadístico, que en nuestro ámbito se veían como ciencia ficción y lejanas para muchas empresas y que antes solo algunos podían acceder y comprender.

2. Conocimiento y Aplicación práctica de normas relacionadas con mantenimiento: en ambas realidades industriales es escasa. En el caso europeo, todos los aspectos que no están regidos por leyes nacionales y/o directivas europeas quedan altamente influenciados por lo expuesto en el punto 1. Las instituciones existen, la comprensión y asimilación de su utilidad son aún insuficientes por parte de la dirección de las empresas que deciden las políticas y programas a seguirse en la empresa.
3. Desarrollo de estándares y legislación: en este punto hay una clara ventaja para las empresas que operan en Europa debido al amplio espectro normativo y legislativo (en Europa operan los órganos internacionales de normalización IEC, ISO, CEN, CENELEC, ETSI y participan activa y de manera determinante los órganos normalización de un grupo amplio de países altamente industrializados). Además, hay un amplio grupo de las denominadas normas armonizadas que se utilizan para la interpretación y aplicación práctica en el cumplimiento de las directivas europeas.
4. Aplicación de presupuesto para mantenimiento en la industria: disponer de un presupuesto para mantenimiento significa que se comprende entre otras cosas la necesidad del mantenimiento preventivo. Si entrar en las particularidades de cada sector industrial, en la industria en general, de ambas zonas geográficas, la dirección de las empresas tiende a priorizar al mantenimiento correctivo (¡Lo que mejor se hace en muchas partes y la razón por la que muchos hasta sienten orgullo!). Se tiende a premiar el esfuerzo y el sacrificio que se genera en resolver urgencias evitables. Se debería dar mayor importancia a las actividades preventivas que detienen la degradación y permiten el trabajo seguro y confiable que a la larga es más económico.

Se presenta, sin embargo, una ventaja en las empresas europeas de servicios y en las grandes empresas que están obligadas a respetar la legislación relacionada con la seguridad y los niveles de servicio contratados lo cual obliga a disponer de presupuestos de mantenimiento para así garantizar la continuidad y la seguridad. Debemos considerar que el 99,8% de las empresas europeas son micro, pequeñas y medianas, estas son las más propensas a gestionar sus recursos con la mentalidad de “ahorrar hoy y si pasa algo veremos”.

## 11. Si tuvieras 3 deseos para solucionar la problemática actual, ¿qué pedirías?

**LFS.** Una vez también pregunté algo parecido al amigo y maestro Lourival Tavares. Respondió: “Ética, respeto al ser humano, liderazgo y compromiso con la empresa.” - que honor poder llamar y ser llamado amigo de quien puede considerarse pionero y ejemplo máximo del mantenimiento en Latinoamérica.

Volviendo a la pregunta acerca de mis deseos pues te diría que los míos serían

1. Selección del personal de acuerdo con cualidades de carácter con prevalencia en sus valores éticos y comportamiento profesional. Esto es válido para todos, pero una especial atención sería deseable para quienes ocupan puestos de dirección.
2. Equidad e iguales oportunidades formativas  
Integración y participación efectiva de las instituciones empresariales y educativas en la difusión del estado del arte y la solución de los problemas técnicos y organizativos de la industria
3. Certificaciones debidamente acreditadas y basadas en estándares reconocidos internacionalmente.

## 12. ¿Cuál crees que es tu propósito en la vida?

**LFS.** Mi propósito es precisamente vivirla con la mayor plenitud. Aportar con ejemplo y acción en la profesión. Así ha sido siempre y así será para mí. No quisiera arrepentirme al final por no haber dicho y hecho lo que considero corresponde en cada momento.

## 13. ¿Cómo describirías un día perfecto para ti?

**LFS.** ¡Oh, no había pensado en la posibilidad de días perfectos! Pero si podría describir eventos que podría asociar a esa sensación de plenitud y felicidad fantaseando entre los burgos medievales como sería mi vida de haber vivido en el pasado, o recorriendo senderos en los Alpes, o visualizando aquellos paisajes nostálgicos de los Andes. Cuando puedo apretar a fondo el acelerador por una autopista y... pero permíteme no contarlo todo, ¿me lo concedes?

## 14. ¿Cuál es tu libro y artista musical favorito?

**LFS.** ¡Ah, que difícil es esa pregunta que reduce el cuadro a un libro y un artista! “El rojo y el negro” de Stendhal, podría ser uno de mis libros preferidos. Eros Ramazzotti, se encuentra seguramente entre mis predilectos porque su música me acompaña desde joven. Muchas gracias a Predictiva21 por su entrevista.



Invitado junto a Lourival Tavares en el fórum Regional de Mantenimiento y gestión de activos. 2015.

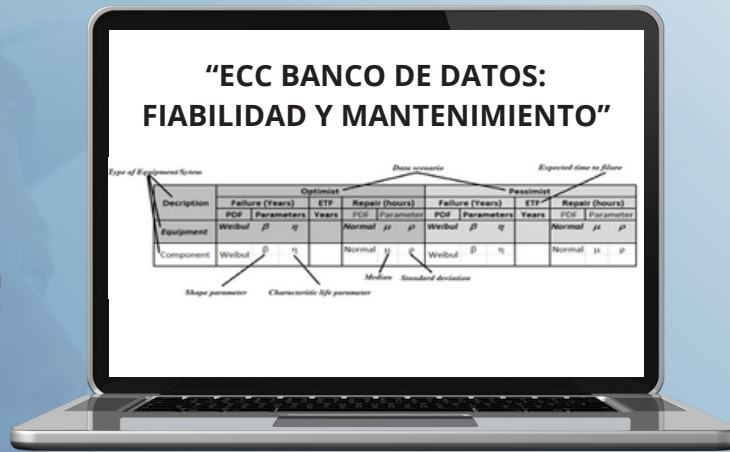


Formación en análisis de confiabilidad en una central de generación eléctrica, Ecuador, 2017.



Junto a estudiantes de maestría "Auditoría Integral y Gestión de Riesgos Financieros", con el módulo "Auditoría Interna", 2018





El ECC Banco de Datos de Fiabilidad y Mantenimiento proporciona datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos y componentes basados en las funciones Weibull 2P y Normal como resultado del Análisis de Datos de Vida. El acceso de lo Banco de datos es individual y anual y el acceso ocurre en la clase virtual del ECC. Los principales equipos de proceso como rotación, equipos estáticos y de seguridad y sus componentes están disponibles en el Banco de datos de Fiabilidad e mantenimiento.

Las ventajas de los datos de fiabilidad y mantenimiento ECC son:

- Utilizar datos de fiabilidad y mantenimiento de los equipos y componentes basados en las funciones Weibull 2P (fiabilidad) y Normal (mantenimiento) para estudios de Análisis RAM.
- Utilizar datos de fiabilidad y mantenimiento de los equipos y componentes basados en las funciones Weibull 2P y Normal para estudios de Seguridad y riesgos industriales.
- Para definición de requisitos de garantía de fiabilidad y mantenimiento.

El ECC Banco de Datos FMEA proporciona los modos de falla, las causas, la consecuencia y las medidas de mitigación de los principales equipos de proceso como rotación, equipos estáticos y de seguridad y sus componentes están disponibles. Las ventajas de la base de datos ECC FMEA son:

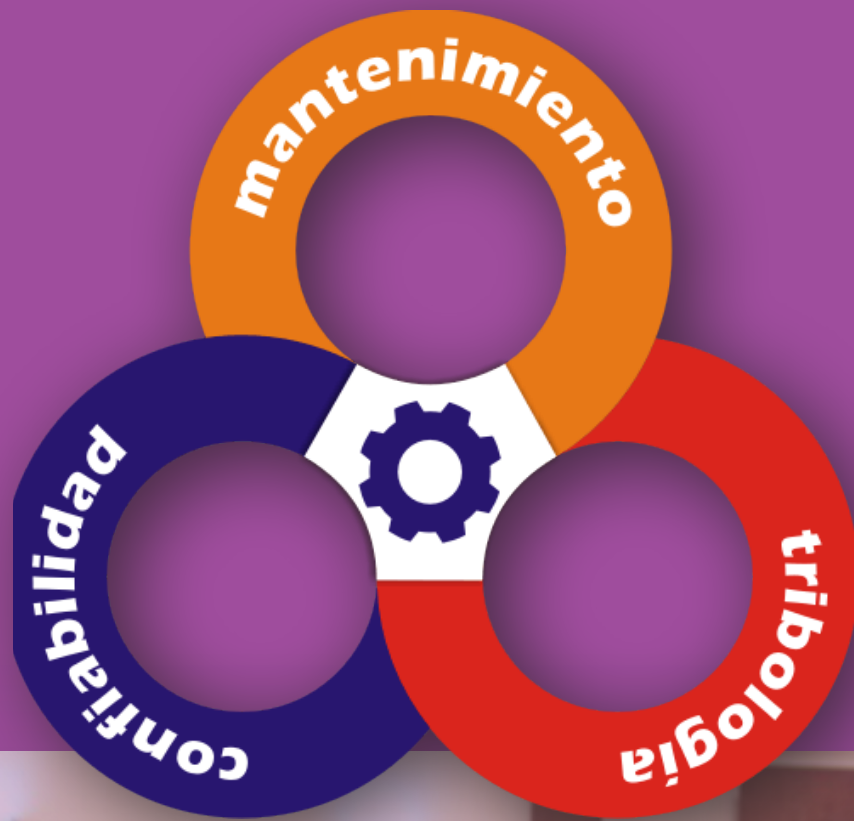
- Utilizar los modos de fallo de equipos y componentes, las causas, consecuencia y mitigación como base para el sistema FRACAS, CMMS, SAP y Asset Management.
- Utilizar la base de datos del FMEA durante el ciclo de vida de los activos y reducir tiempo, esfuerzo y dinero para la configuración de nuevos análisis FMEA
- Utilizar la base de datos FMEA para estandarizar la descripción de su organización de los modos de fallo, causas y consecuencias.

El ECC Banco de Datos RCM proporciona tareas de mantenimiento preventivo de los mismos equipos y componentes del FMEA basadas en el modo de falla y sus causas. El acceso de lo Banco de datos RCM es individual y anual y ocurre en la clase virtual del ECC. Las ventajas de la base de datos RCM ECC son:

- Utilizar las tareas de mantenimiento preventivo como base para el sistema FRACAS, CMMS, SAP y Asset Management.
- Utilizar la base de datos RCM durante el ciclo de vida del activo y activos y reducir tiempo, esfuerzo y dinero para la configuración de nuevos análisis RCM
- Utilizar la base de datos RCM para estandarizar el plan PM de su organización.

VERSIÓN EN ESPAÑOL Y PORTUGUÉS POR SOLICITUD





# PRECONLUB 2022

Reportaje del congreso celebrado el 9 y 10 de Junio de 2022



**Montserrat Souza**  
Directora editorial de Predictiva21



## PRECONLUB 2022

El pasado 09 y 10 de junio se llevó a cabo el Congreso Internacional de Mantenimiento Predictivo, Confiabilidad y Lubricación de Clase Mundial (PRECONLUB) en León, Guanajuato, México. Un evento en el que el objetivo era brindar el conocimiento de una manera tangible y dar herramientas técnicas, contando con conferencistas internacionales de las empresas más prestigiosas de la industria.

El evento no solo contó con conferencias para el aprendizaje de los asistentes, sino que se brindaron múltiples espacios de networking, casi 200 personajes de la industria conversando acerca de sus necesidades, inquietudes y más importante aún, creando lazos y amistades.

El evento inició a las 9 de la mañana dando la bienvenida José Páramo, el presidente de Grupo Techgnosis quien inició la ronda de conferencias con el tema “Lubricación de Motores Eléctricos - Selección de Grasa, Factor Kappa, Cantidad y Frecuencia de Lubricación” seguido de unas palabras emotivas y calidas de Juan Criado, coorganizador de PRECONLUB y presidente de APPLITechgnosis.

El segundo evento del día fue la ponencia “Selección y aplicación de aceites hidráulicos” con Carlos Henríquez Montero, jefe técnico de industria en BARDAHL – REPSOL. Donde se habló de las características principales, componentes, funciones, normas y cómo poder seleccionar el aceite adecuado de acuerdo con las condiciones del sistema hidráulico.



Mantenimiento excelente: del mantenimiento tradicional al mantenimiento avanzado por medio de la tecnología, ponencia dirigida por Omar Bautista, LATAM Manager & Business Development Sisteplant.

La variedad de las temáticas abarco muchos áreas como las ponencias de Análisis de fluidos para gestión de activos con máxima confiabilidad, Aseguramiento de la integridad del inventario de refacciones y puesta en servicio, Permisos de Seguridad y Administración en Control de Riesgos de manera digital, En balanceo no todo es lo que parece, Fase e importancia del Vector efecto (vT), Un paso adelante en la prevención de fallas de transportadores y sistemas de lubricación y monitoreo de transportadores bajo la Industria 4.0, Casos de éxito en Condition Monitoring de Rodamientos, el Premio RCT-ITG/55 en Gestión Tribológica de Activos, Caso de éxito - Mejora en lubricación, Las 5 tendencias en tecnología de mantenimiento en 2022, La Fábrica Analítica, la tendencia hacia la Manufactura Digital, El coeficiente de fricción y su impacto en el consumo energético, Uso de las Bases de Datos de Falla en Estudios de Confiabilidad, ¡Escuche a sus máquinas, les están hablando!, Lubricación para engranes abiertos, Industria 4.0 y lubricación de alto desempeño, la llave al éxito de la productividad, El verdadero impacto de la gestión en el mantenimiento automotriz, Llevando la limpieza de fluidos al siguiente nivel con filtración holística y la Protección de Rodamientos en Equipos Dinámicos.

Además, se dio la primicia de la inauguración del Centro PRECONLUB en la ciudad de León, Guanajuato. Este centro de capacitación es para entrenamientos y certificaciones internacionales en todas las disciplinas del mantenimiento vibraciones, termografía, ultrasonido, análisis del aceite, lubricación, cursos de ACR y más.





El PRECONLUB más que un evento laboral o comercial es una experiencia para cada uno de los asistentes, no solo cuenta con una agenda de ponentes con alta experiencia, sino que además es un evento que busca afianzar y expandir las relaciones.

**¡Nos vemos en el PRECONLUB 2023!**



# RCT I

Experto en  
Lubricación  
y Control de  
la Contaminación

**18 al 22 julio**

Incluye Cuerpo de Conocimientos de ISO 18436-4 CAT I y TICD-ED-1910/90. Con este entrenamiento se puede presentar examen de certificación del ICML MLT I y MLA I.

 **ONLINE**  
**EN VIVO**

<https://grupo-techgnosis.com>



**¡Regístrate ahora!**

**Contactar**



# El Mantenimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento

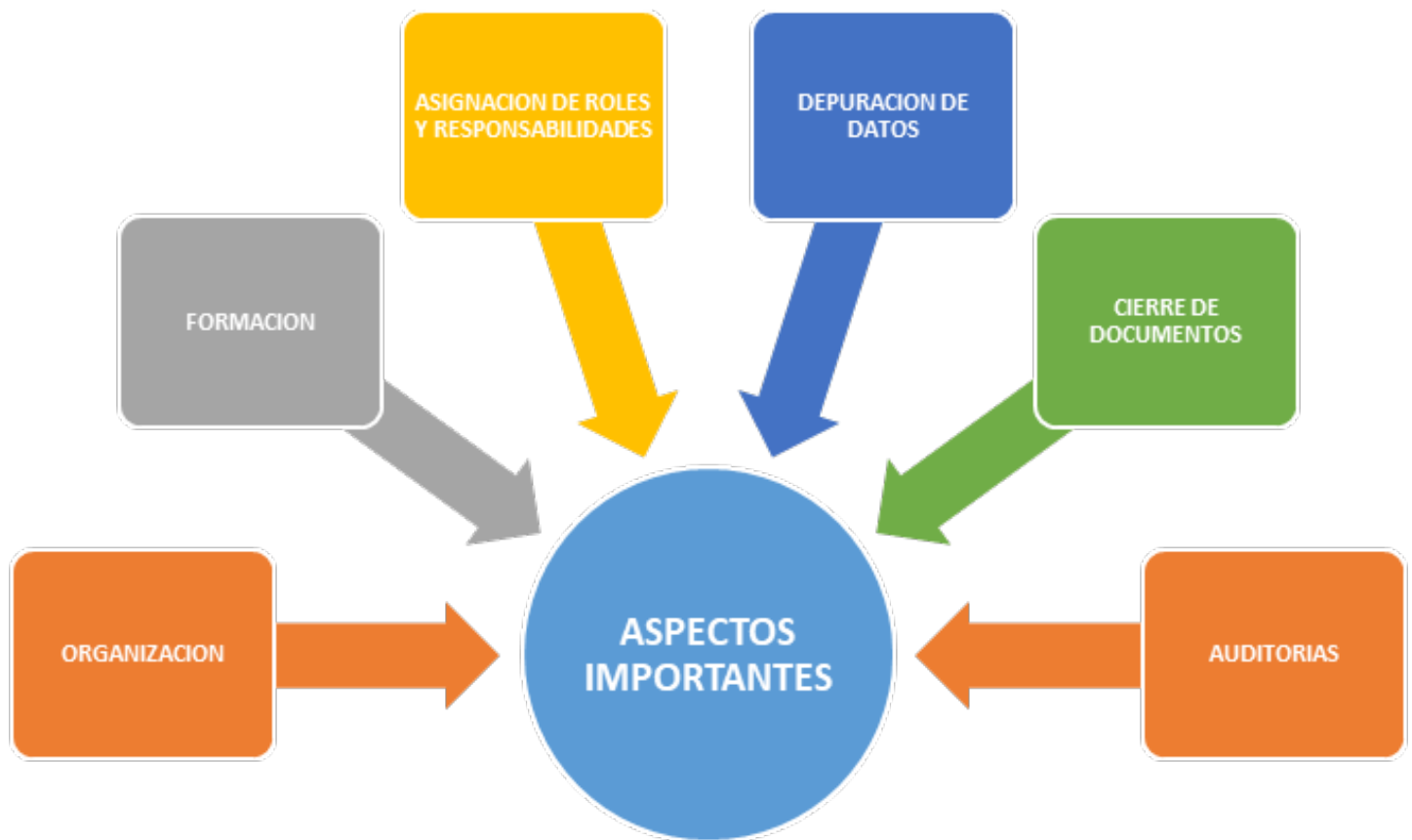


**Ramón Useche**  
Consultor de Gestión de Activos  
CTN Global



**Miguel Arcadio**  
Asesor, consultor y formador  
SAP PM / EAM





Empresas y organizaciones de mantenimiento trabajan diariamente para satisfacer las necesidades de sus clientes, retener y restaurar las condiciones de un activo es una tarea dinámica y constante que en muchos casos puede ser complicada.

En estas actividades el asegurar una cadena de suministros, planificar, contratar, procurar, programar, ejecutar y cerrar cada una de estas, se convierte en una carrera contra reloj donde se pierden detalles en el camino y en la mayoría de los casos el monitorear el índice de satisfacción al cliente es algo que no se alcanza a medir.

En esta carrera contra el tiempo que se lleva día a día, hace que se presenten descuidos y errores en nuestro sistema de gestión, empezándose a acumular de una manera exponencial y la razón es simple, se opera y se procesa tomándose rutas distintas y es entonces donde comienzan el resurgir los indicadores negativos. Esto no es una generalidad, pero sí es una situación más que común en cualquier tipo de industria, independiente de su tamaño y sector.

La tecnología siempre acelerada comienza a generar problemas de incompatibilidad de componentes y algunas organizaciones no pueden alcanzar la velocidad de los avances tecnológicos, para evitar todos esos problemas.

A veces pensamos que el mantenimiento en un sistema informático es el que realiza el área de informática, tecnología de la información, automatización, sistemas o como se denominen en nuestra organización, que consta de limpieza de logs, respaldo de base de datos, controlar el crecimiento de la información, entre otros. Como operadores de un Sistema de

Gestión de Mantenimiento se puede ir incorporando fallas o condiciones erróneas que muchas veces son imperceptibles.

Ahora bien, todos los errores del Sistema de Gestión de Mantenimiento se generan de forma digital, literalmente con los dedos, pues son las personas las que alimentan de datos e información el sistema de gestión, es por ello que hemos considerado 7 aspectos importantes para asegurar el funcionamiento del sistema de gestión:



## 1. Estructurar la organización de mantenimiento

Dependiendo de las necesidades, otorgar los privilegios en el sistema en función de las actividades de cada departamento y puestos de trabajo, esta es una prioridad absoluta, la organización es fundamental para asegurar el éxito. Si tiene una organización con personal y funciones definidas y luego le otorga unos privilegios ajenos a esa función, le será muy difícil controlar los procesos, en este caso debemos ser aristocráticos (el poder en manos de quien debe) sin caer en situaciones burocráticas, es decir, otorgar privilegios a quien realmente los necesita y exigir responsabilidades por el uso de los mismos.

## 2. Formación del personal

Todos los usuarios con acceso al sistema de gestión, deben tener funciones definidas y deben ser formados para ejercer dichas funciones, la formación debe incluir las competencias del puesto de trabajo y el desarrollo de las destrezas para poder ejercer sus papeles en el sistema de gestión, es decir, el personal debe estar capacitado en su cargo y entrenado para registrar sus acciones en el sistema de gestión, ambas formaciones se complementan y son importantes para asegurar el éxito de la organización.

## 3. Administrar roles y responsabilidades

Una vez definida la organización y formado el personal entonces se deben asignar cuidadosamente los roles para el uso del sistema de gestión, este proceso puede ir acompañado de controles que permitan a las organizaciones asegurar sus recursos de información, mientras la organización sea más grande más complejo puede ser este proceso, entendiendo que un rol es un nivel de privilegios para el uso del sistema, entonces se deben otorgar en función de las necesidades y los intereses de la organización. Muchas empresas controlan este proceso conjuntamente con sistemas de seguridad y las normas de uso y confidencialidad, todo depende del grado de complejidad de la empresa, pero

tenga en cuenta que el recurso más valioso de una empresa es su información y, por tanto, se debe prestar atención a quienes generan y tienen acceso a la misma.

## 4. Controlar la configuración

Todos los sistemas de gestión se adaptan y parametrizan según las necesidades de las organizaciones, debemos ser cuidadosos a la hora de entregar los privilegios de configuración, sobre todo en aquellos casos que repliquen a otros usuarios, porque un error o una mala decisión sería multiplicada por el número de usuarios que estén involucrados debajo de esta cadena, es decir, para configurar hay que tener el mejor recurso técnico posible, si es personal propio, este debe estar preparado y si se utiliza consultoras externas asegúrese que tengan la experticia y capacidad suficiente para administrar los cambios que realmente necesita y así se ahorra muchos problemas y sobre todo dinero.

## 5. Revisión y depuración del dato

El trabajo diario de mantenimiento genera datos de entrada, tránsito y de salida, en todos los procesos y actividades es posible que se generen duplicidades, redundancias y hasta actividades innecesarias que terminan en el historial de los activos, es un aspecto que todas las organizaciones le deberían prestar mucha atención, ya que la existencia de sobre información es tan dañina como la falta de la misma, por ejemplo, supongamos que necesita un material específico para una actividad de mantenimiento y cuando busca en el sistema de gestión se encuentra con 10 códigos del mismo material pero no sabe cuál es el que debe utilizar, entonces le toca revisar uno por uno y asegurarse que todos los aspectos técnicos coincidan con su solicitud, entonces perdió tiempo y dinero, precisamente el recurso que quería asegurar con su sistema de gestión.

## 6. Cierre de documentos

Todas las acciones de mantenimiento deben completar su ciclo en el sistema de gestión de mantenimiento, así como ocurre físicamente en los controles administrativos, los requerimientos, las acciones, las compras, las mediciones, los puntos y documentos de medición deben registrar su desempeño en el sistema de gestión, así el sistema tendrá la información necesaria para generar los indicadores que permitirán al departamento o la organización evaluar el desempeño.

## 7. Auditoria

Todos los sistemas de gestión deben verificarse y auditarse periódicamente, el estudio permanente del uso le va a permitir a la organización de mantenimiento evaluar su desempeño y también entender que tan útil ha sido la herramienta, sus oportunidades de mejora y posibles acciones correctivas, es decir, el Mantenimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento es prácticamente la misma filosofía que usamos para mantener los activos de nuestros clientes, sin embargo, resulta difícil evaluar nuestro desempeño, para ello es recomendable utilizar ayuda externa, ajena a la organización y que tenga experiencia, que evalúe de forma íntegra y objetiva los procesos del sistema, entonces se generara un compendio de acciones preventivas, correctivas y proactivas que ayudaran a la organización a restaurar y preservar su sistema de gestión

Así entonces, es muy importante que las organizaciones de mantenimiento consideren la evolución de las tecnologías que capturan el dato. Que sencillo y practico es contar con soluciones Mobile conectadas a nuestro Sistema de Gestión de Mantenimiento en donde desde el terreno de ejecución se documente las acciones encontradas y realizadas a nuestros activos o que los equipos que denominamos como críticos tengan conectados en línea a través del IoT, parámetros de medición que se necesitan medir y controlar y que dan síntomas del desempeño del activo dentro del proceso productivo ayudando a predecir la aparición de una falla. Estos son simples ejemplos de que las nuevas tecnologías también contribuyen al tan anhelado Mantenimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento.



## **HxGN EAM** (antes Infor EAM)

La mejor solución para la gestión empresarial de sus activos, de forma integral mantiene, controla y optimiza la salud de cada activo a lo largo de su ciclo de vida. Aumenta el tiempo productivo, reduce costos y transforma su organización.

**Vamos a conectar**  
Síguenos en nuestras redes sociales

+57 601 616 80 33

+57 320 838 65 33

[www.ctnglobal.com](http://www.ctnglobal.com)  
[colombia@ctnglobal.com](mailto:colombia@ctnglobal.com)





# fractal

## ¿Qué es el Mantenimiento Inteligente?



**Silvia Toyos**  
Content Manager en Fractal



A mediados de 2020, en plena pandemia de COVID-19, muchas empresas de tecnología, proveedores de servicios y la industria del mantenimiento comenzaron a adoptar el concepto de “mantenimiento inteligente.”

Ante un escenario desconocido y sin precedentes en la historia de la humanidad, las personas, los negocios, las empresas y el mercado en general debieron adaptarse a una realidad distinta a lo conocido y común hasta entonces. El proceso de transformación digital previsto para la década de 2020 se redujo y tuvo que realizarse en dos años.

Las consecuencias fueron negativas para muchos profesionales, negocios y empresas. Sin embargo, por otro lado, quienes supieron adaptarse al nuevo escenario ahora cuentan con un mayor apoyo de la tecnología, cómo los software de mantenimiento inteligente, un mejor desempeño y más información que impacta de manera positiva en los procesos de toma de decisiones.

En la industria del mantenimiento, el escenario no fue diferente. La automatización de rutinas y procesos ha tomado el lugar de algunas profesiones, sin embargo, por otro lado, nunca ha crecido tanto el foco en ofrecer la mejor experiencia y bienestar a los clientes. Hoy, en 2022, los centros comerciales, hoteles, restaurantes e instalaciones en general tienen la capacidad de identificar problemas y resolverlos sin interferir en la experiencia de sus clientes. Todo esto es posible gracias a los procesos y a todos los elementos que soportan el mantenimiento inteligente.

## El concepto de mantenimiento inteligente

Hacer o tener un mantenimiento inteligente significa que tú, tu equipo y toda tu estructura de trabajo cumplen con algunos requisitos fundamentales para que tus operaciones sean no solo eficientes, sino también efectivas. Además de estar digitalizadas, son seguras, móviles y están siempre disponibles para los usuarios. Además, son asequibles y ambiental y económicamente sostenibles.

El mantenimiento inteligente es el siguiente paso más allá del mantenimiento 4.0. Como ahora estamos en la era de la Industria 5.0, las rutinas y los procesos de mantenimiento siguen el mismo camino. Este tipo de mantenimiento complementa el enfoque existente de “Industria 4.0”, poniendo específicamente la investigación y la innovación al servicio de la transición hacia una industria sostenible, resiliente y centrada en las personas.

Si traemos el concepto de inteligencia a esta conversación, podemos ver la evolución de 4.0 a 5.0 y notar cómo el factor humano es extremadamente importante. La inteligencia humana incluye las habilidades para aprender de las experiencias, adaptarse a diferentes escenarios y situaciones nuevas, comprender abstracciones e influir en el entorno en el que nos encontramos.

La experiencia de atravesar una pandemia a inicios de la década

del 2020, nos hizo tener una visión de la industria que mira más allá de la eficiencia y la productividad como únicas metas, y refuerza el rol y aporte de la industria a la sociedad. Y ahí es precisamente donde el mantenimiento -inteligente- cobra más fuerza e importancia que nunca.

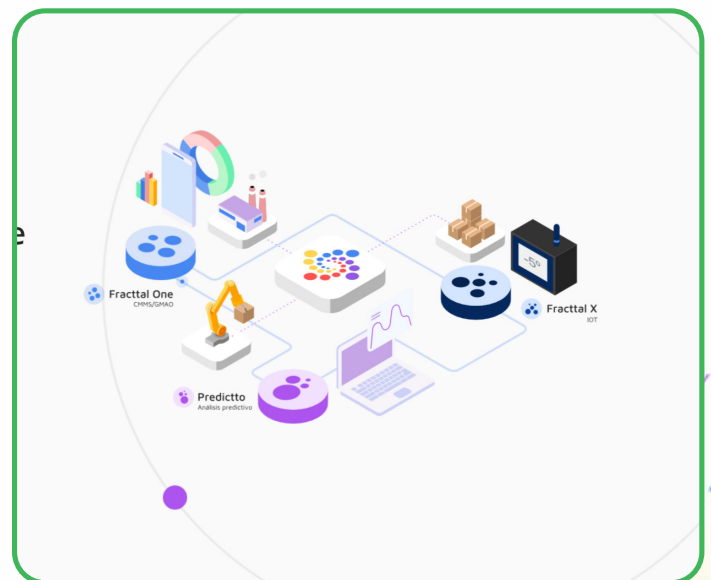
## ¿Estás listo para formar parte del mantenimiento inteligente?

El desarrollo del mantenimiento inteligente se sustenta en unos pilares esenciales para lograr los aspectos que ya hemos mencionado. Estos elementos son:

- Movilidad
- Internet de las cosas
- Datos (big y small data)
- Integraciones

### ¿Cómo puedes disponer de estos recursos?

Existen soluciones y tecnologías que ofrecen todo esto con facilidad de acceso y simplicidad de uso. Y por supuesto, además de todo el soporte tecnológico, es necesario contar con personas con capacidad de adaptación, aprendizaje y evolución. Después de todo, eso también es inteligencia y mantenimiento inteligente.



**Soluciones de Fractal**

<https://www.fractal.com/es/>

# Optimiza tu estrategia de mantenimiento y la productividad de tus equipos



Tarea finalizada



Fractal, la Plataforma de Mantenimiento Inteligente



fractal.com

# Generar planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso

## Con base en la metodología de Inspección Basada en Riesgo



**Elimar Rojas**

Consultor Senior & Ejecutivo, Asesor Técnico en Procesos, Confiabilidad, Riesgo, Incertidumbre e Integridad  
[elimar.rojas@gmail.com](mailto:elimar.rojas@gmail.com)



### Resumen:

La Inspección Basada en Riesgo es un enfoque sistemático basado en las normas API-RP-580 y 581, y soportado en otros estándares, que tiene como objetivo: mitigar el riesgo de los equipos estáticos y tuberías de las instalaciones estudiadas, mediante la optimización de las inspecciones, al establecer frecuencias y alcances con base en la valoración del comportamiento histórico, mecanismos de deterioro, factores de daño, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales, en conjunto con, la calidad y efectividad de las inspecciones, y las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Así mismo, optimiza los programas de inspección en marcha, al determinar los puntos mínimos de inspección requeridos por componente, con base en los mecanismos de deterioro, niveles de riesgos y velocidades de corrosión.

Esta valoración prioriza los componentes, mediante el cálculo de la probabilidad (estableciendo los lazos de corrosión e identificando potenciales mecanismos de deterioro de acuerdo con API-RP-571) y consecuencia de la pérdida de contención, (con base en los grupos de inventario) para cada uno de sus componentes; proporcionando la ubicación de un nivel de riesgo, en una matriz 5 x 5, a fin de reducir el riesgo a través de las inspecciones, para incrementar la seguridad de la instalación, al mitigar el riesgo, mejorar de forma costo-efectiva los recursos de inspección, evaluar requerimientos para incrementar o reducir los ciclos de inspección y proponer recomendaciones para reducir el riesgo a niveles aceptables y optimizar futuras inspecciones o su efectividad.

### Palabras Claves:

Condición, Consecuencia, CoF, CML, Equipo, Estático, Grupo de Inventario, IBR, Inspección, Inspección en Marcha, Lazo de Corrosión, Mantenimiento, Monitoreo de Condición, Optimización, PoF, Probabilidad, Punto de Medición, Riesgo, TML, Tubería de Proceso.



## 1. Introducción.

Una de las mayores preocupaciones de la industria actual está asociada con el diseño, selección y determinación de adecuadas políticas y estrategias de mantenimiento e inspección de los equipos estáticos y tuberías de proceso, enfocándose en el estudio del deterioro de la pared del recipiente que puede resultar en la pérdida de la función de contención de un fluido o una fuga del producto al medio ambiente con sus respectivas consecuencias, como: comprometer la seguridad del personal, originar paradas del proceso, incurrir en costos por daños ambientales, pérdidas de productos y reparación o remplazo del área afectada del recipiente.

Lo anterior, origina la necesidad de reducir los niveles de riesgos asociados mediante la implementación de metodologías y técnicas que permiten controlar, optimizar, prevenir y predecir la ocurrencia de una falla en equipos estáticos y tuberías; al aplicar la metodología de Inspección Basada en Riesgo (IBR) para generar planes óptimos de inspección, con base en las normas internacionales API-RP-580 y 581, con el soporte de otras normas, como: API-570, 571, 574, 579, 650, 653, 1160 y ASME B31.3, 31.4, 31.8 y 31.8S, así como, procedimientos de ingeniería o estándares de los propietarios de los activos evaluados.

La metodología de IBR se aplica tanto a equipos estáticos (recipientes a presión, intercambiadores, torres, y tanques de almacenamiento) como a circuitos de tuberías de proceso, con el objetivo de valorar los niveles de riesgo de cada equipo, basados en la caracterización de la condición actual, mecanismos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, calidad y efectividad de las actividades de mantenimiento e inspección y de las políticas gerenciales; así como, las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Una vez definida la jerarquización de los equipos o tuberías de acuerdo con su nivel de riesgo, se determinan las actividades de inspección y frecuencias (fechas de ejecución), considerando los mecanismos de deterioro presentes y como punto final se realiza una optimización del programa de inspección en marcha, que permite determinar la cantidad requerida de puntos de inspección para cada equipo o circuito de tuberías.

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables, consecuencia de la posible ocurrencia de un evento no deseado o falla”; coexistiendo la posibilidad de que un evento se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias que de ello ocurran. En tal sentido, el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado matemáticamente, por la expresión universal:

### Ec. 1

**Riesgo(t) = Probabilidad de Falla(t) x Consecuencias.**

Con base en la cual se observa que el nivel de riesgo puede ser variable, de acuerdo con una disminución o incremento de la probabilidad o frecuencia de falla, o disminuyendo o incrementando las consecuencias, y de acuerdo con la experiencia sobre la determinación del riesgo, las acciones dirigidas a disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallas son más factibles que las dirigidas a disminuir las consecuencias, misma que involucra mayores inversiones, esfuerzos y decisiones gerenciales.

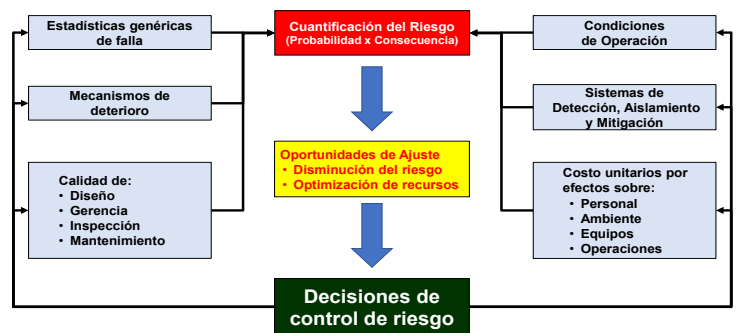
El análisis del riesgo (Ec. 1), permite comprender su poder, como indicador para diagnosticar situaciones y tomar decisiones, al comparar escenarios que pueden resultar similares, pero que bajo ciertas circunstancias deben evaluarse y considerar en un proceso de toma de decisiones; como distinguir entre una acción de mantenimiento con frecuencias de fallas bajas, aun cuando presenta altas consecuencias.

Los análisis de inspección basados en riesgo (IBR) requieren la caracterización del riesgo con base en el cálculo de probabilidades de falla, considerando, el espesor remanente, la velocidad de corrosión, y la calidad y frecuencia de inspección; mientras que, para el cálculo de las consecuencias, se considera, entre otros el tipo de fluido, los sistemas de mitigación existentes y el inventario de producto (volumen contenido) en el componente evaluado, tal como se muestra en la Figura 1.

Utilizar una matriz de riesgo de rango 5 x 5, tal como se muestra en la Figura 2, permite ubicar gráficamente del nivel de riesgo de los componentes analizados y que puede presentar cuatro (4) niveles de clasificación: bajo (verde), medio (amarillo), medio-alto (naranja) y alto riesgo (rojo).

El producto de los valores de la probabilidad de falla y consecuencias (lados de la matriz) permiten determinar el nivel de riesgo asociado a cada componente (equipo o circuito de tubería), generando una lista jerarquizada de componentes basadas en el riesgo calculado, utilizada para diseñar y optimizar los planes de inspección.

Figura 1. Factores que caracterizan el riesgo.



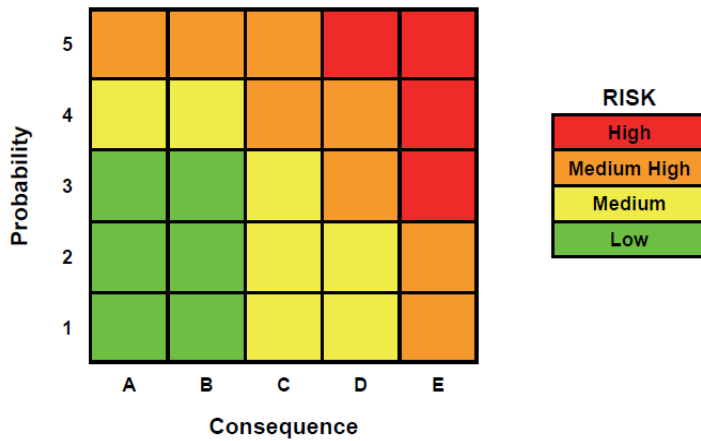


Figura 2. Matriz de riesgo típica [API-RP-580].

## 2. Metodología.

Una vez delimitado o seleccionado los sistemas, subsistemas, equipos o circuitos de tuberías a los cuales se les aplicara la metodología de Inspección Basada en Riesgo (IBR), la Figura 3 muestra las principales etapas y fases para la aplicación del IBR a fin de generar planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso.

### 2.1. Recolectar Información Técnica.

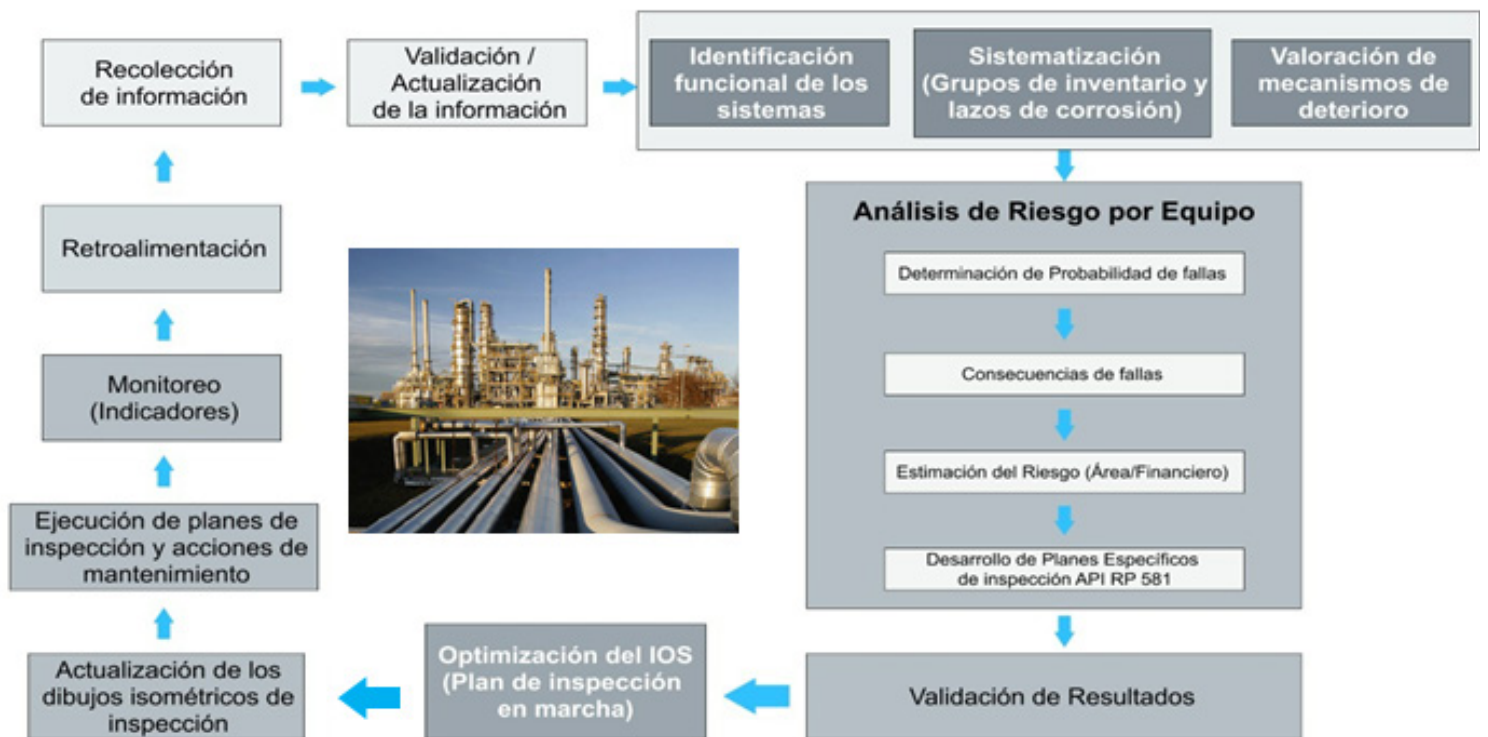


Figura 3. Metodología del IBR.



Se debe recolectar, capturar y evaluar los datos técnicos e información necesaria para establecer la base de datos necesaria para el análisis tomando en consideración la información relativa al diseño, fabricación, instalación, operación, mantenimiento e inspección de los equipos y tuberías de proceso de la instalación.

La Tabla 1 muestra, como ejemplo, la estructura de una base de datos utilizada para organizar la información requerida por el software o herramienta de cálculo necesaria para determinar los niveles de riesgo de los equipos y circuitos de tuberías, y mantener un registro de las fuentes consultadas. La revisión y captura de los datos es una etapa en la que es posible cometer errores, siendo necesario los procedimientos que permitan asegurar de calidad de los datos necesarios para desarrollar el análisis.

Tabla 1. Ejemplo base de datos.

Entre las fuentes de información más importante para el desarrollo de este análisis, se encuentran: los diagramas de flujo de proceso (DFP's o PFD's), diagramas de tubería e instrumentación (DTI's o P&ID's), selección de materiales, planos localización general (PLG) o "plot plant", isométricos, historia y registro de inspecciones realizadas, caracterización de los fluidos de los sistemas, hojas de especificación de equipos, hojas de seguridad de las substancias de proceso, filosofía de operación, bitácora o reportes de mantenimiento, estudios previos de riesgo y cualquier otra información técnica que contribuya al desarrollo del estudio.

## 2.2. Validar / Actualizar la Información.

Se debe asegurar que la información recopilada (datos) se valida y este actualizada, actividad a ejecutarse por personas debidamente capacitadas en áreas y equipos específicos, para el beneficio y calidad de los análisis.

La necesidad de asegurar la información, es múltiple, dado que pueden existir documentos, diagramas y datos no actualizados, que no reflejen la realidad de la instalación, la falta de trazabilidad de las inspecciones, errores en el registro de los datos o malas lecturas por parte de los inspectores u otras posibles fallas que puedan afectar negativamente la exactitud de los resultados del análisis, para lo cual se deben hacer todos los esfuerzos que permitan reducir las posibles fuentes de error, realizando, entre otras actividades, las siguientes:

- a. Verificación en campo de los diagramas e isométricos.
- b. Reuniones de validación con los expertos de mantenimiento e inspección de cada área.
- c. Verificación de las variables operacionales con los expertos de operaciones y procesos.
- d. Comparar las magnitudes de las velocidades de corrosión registradas con base a las inspecciones y las registradas en bibliografía o Instalaciones similares.
- e. Recorrido para levantamiento y validación de datos de campo.

La actualización de la información se limita a considerar todas las líneas y equipos existentes en las instalaciones y descartar aquellos que han sido retiradas de servicio, con el fin de generar los planes de inspección y acciones de mantenimiento acordes a la realidad operacional, evitando así generar planes y acciones no necesarias, o el almacenamiento y análisis de datos que presente un menor nivel de certeza o sean menos confiables.

## 2.3. Sistematización de la Instalación.

El proceso de sistematización consiste en la división de una instalación o grupo de unidades menores de proceso para facilitar su análisis y evaluación. La unidad de estudio será el equipo o circuito de tubería de proceso, para lo cual se toman en cuenta los conceptos de lazos de corrosión y de grupo de inventario.

### 2.3.1. Lazos de Corrosión (CL).

Los lazos de corrosión (CL, por sus siglas en inglés) son indispensables para la determinación de la probabilidad de falla y por definición se establece que los equipos o tuberías de proceso asociados a un mismo lazo de corrosión consideran similaresv (1) tipo de materiales, (2) condiciones operacionales, (3) fluidos manejados, (4) condiciones ambientales y (5) mecanismos de deterioro.

Por lo tanto, para establecer los lazos de Corrosión se deben identificar y evaluar los mecanismos de daño presentes o potenciales en cada uno de los componentes, con base en la Norma API-RP-571, misma que permite evaluar las variables principales necesarias para determinar la existencia o no de un mecanismo de deterioro particular, ya sea que esté presente o sea potencialmente factible.

Entre las principales consideraciones para establecer los lazos de corrosión, se tienen:

- Condiciones de operación y Composición química de la sustancia manejada.
- Tipo de servicio de circuito y/o equipo.
- Materiales de construcción.
- Localización de válvulas de corte o aislamiento.
- Tipo de componente, ya sea equipo de proceso o circuito de tubería.
- Aislamiento térmico.

En tal sentido, la Figura 4 muestra un ejemplo del establecimiento de un lazo de corrosión indicado sobre un Diagrama de Flujo de Proceso (DFP), con seis (6) lazos de corrosión, considerando once (11) diferentes mecanismos de daño.

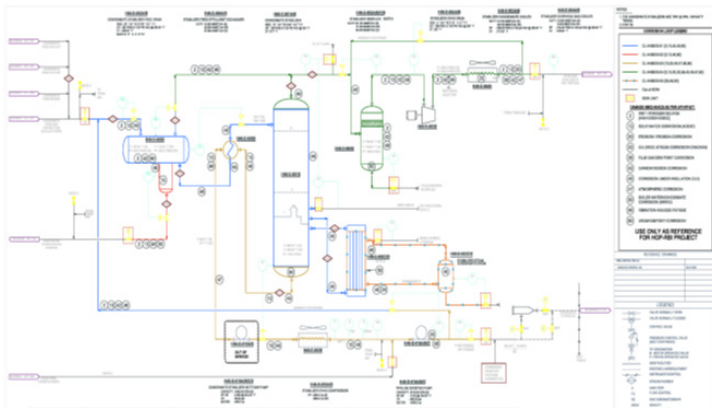


Figura 4. Ejemplo de un Lazo de Corrosión.

Por tanto, un lazo de corrosión es una forma práctica de describir, comprender y verificar los mecanismos de degradación en una instalación y consta de un grupo de activos (sistema de tuberías y equipos) agrupados con condiciones de proceso similares, construidos de materiales similares y que comparten amenazas similares de corrosión/degradación, o mismos mecanismos de daño activos/potenciales (DM, por sus siglas en inglés) según lo indicados en los estándares:

- ASME PCC-3 Tabla A-1
- API-RP-580: Risk Based Inspection, Apéndice A-Mecanismos de Deterioro
- API-RP-571: Mecanismos de Daño que Afectan Equipos Fijos en la Industria de Refinación.

de los cuales los mecanismos de daño por fabricación de soldadura están fuera del alcance de la mayor parte de los IBR.

El mecanismo de daño (DM) es un fenómeno que induce cambios

micro y/o macro nocivos para el material, los cuales son perjudiciales para la condición del material o sus propiedades mecánicas. Los mecanismos de daño suelen ser incrementales, acumulativos e irreversibles, y comúnmente están asociados con:

- Adelgazamiento.
- Ataque químico.
- Fluencia o “creep”.
- Erosión.
- Fatiga.
- Fractura.
- Fragilización o “embrittlement”.
- Envejecimiento térmico.

Para comprender los mecanismos de daño es importante analizar la probabilidad de falla, la selección de intervalos, ubicaciones y técnicas de inspección apropiados; la capacidad de tomar decisiones (por ejemplo, modificaciones al proceso, selección de materiales, monitoreo) que puedan eliminar o reducir la probabilidad de un mecanismo de daño específico.

Además, la identificación de los mecanismos de daño y modos de falla creíbles para el equipo incluido en un análisis de riesgo es esencial para la calidad y la efectividad del análisis de riesgo.

Las directrices establecidas permitirán: asegurar un riesgo mínimo previsible sobre la seguridad y la confiabilidad; asegurar la máxima esperanza de vida de los equipos o identificar áreas de aplicaciones de nuevas tecnologías.

### 2.3.2. Grupo de Inventario (IG).

Los grupos de inventario (IG por sus siglas en inglés) se definen como un grupo de equipos y tuberías de proceso que pueden ser aislados de manera manual o remota, mediante válvulas, y donde se asume que, el volumen total del grupo de inventario está potencialmente disponible para fugarse por cualquiera de los componentes que lo conforman, en caso de que se presente una pérdida de contención o fuga al ambiente; lo cual se utiliza en el cálculo de las consecuencias, ya sea por área o financiera (dependiendo del tipo de equipo en análisis).

Entre las principales consideraciones para establecer los grupos de inventario, se tienen:

- Los sistemas de detección.
- Los sistemas de mitigación.
- Los sistemas de aislamiento (válvulas).
- Localización de válvulas de corte o aislamiento, las cuales serán los elementos que definirán los límites de grupo de

inventario, preferiblemente se considerarán en el siguiente orden: (1) válvulas de bloqueo automáticas, (2) válvulas de bloqueo manuales, (3) válvulas de seguridad y en última instancia (4) válvulas de retención.

e. Se asume que el “dueño” de un grupo de inventario es el equipo estático de mayor relevancia dentro del IG.

f. Un equipo puede estar conformado por varias tuberías de diferentes diámetros, las cuales se identificarán como circuitos, es decir, que una sección de tubería que pueda ser aislada es considerada un equipo para su evaluación individual al igual que un recipiente u otro equipo estático.

g. Los sistemas de tuberías y filtros “pequeños” generalmente forman parte de un grupo de inventario mayor, nunca generaran nombres del grupo, a excepción de tuberías o cabezales principales, los cuales se consideran como dueño de su propio grupo de inventario.

En tal sentido, la Figura 11 presenta un par de ejemplos asociados con los grupos de inventario sobre Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI), donde se pueden observar los componentes de cada uno de grupos de inventario (IG) así como las válvulas consideradas límite de batería de cada IG.

Con la sistematización, cada componente (equipo o circuito de tubería) es una unidad de estudio de riesgo y le corresponde un plan de inspección particular, dependiendo de la cantidad y tipos de mecanismos de deterioro que pueda presentarse. Así mismo, se debe establecer una taxonomía para mantener una estructura reproducible, confiable y ordenada que permita identificar los lazos de corrosión y los grupos de inventarios que se han clasificado y numerado para cada caso.

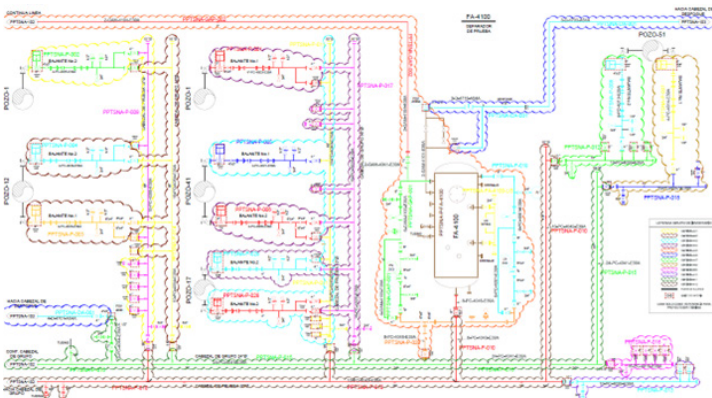


Figura 11. Ejemplos de un Grupo de Inventario.

### 2.3.3. Valorar los Mecanismos de Deterioro.

Para la identificación y evaluación de los mecanismos de deterioro, se debe analizar el efecto del daño producido, durante la operación e inspección, sobre la probabilidad de la detección de los defectos, en tal sentido, se deben ejecutar, entre otros pasos, los siguientes:

- a. Determinar la velocidad y severidad del daño.
- b. Determinar el nivel de confianza en la severidad de los daños.
- c. Determinar la eficacia de los programas de inspección.
- d. Calcular el efecto del programa de inspección en el mejoramiento del nivel de determinación de los daños.
- e. Calcular la probabilidad que un nivel dado de daño excederá la tolerancia del componente resultando en una falla.
- f. Calcular los factores de daño.
- g. Calcular el factor de daño total para los mecanismos de daño presente y potenciales.

## 2.4. Análisis de Riesgo.

El análisis de riesgo está dirigido a los componentes de los equipos y circuitos de tuberías, que permite determinar el riesgo con base en lo indicado por la norma API-RP-581, permitiendo la planificación de actividades asociadas con la detección de mecanismos específicos de deterioro o daño, que utiliza para obtener una calificación del riesgo de manera determinística, considerando criterios de aceptación de riesgos y plan de inspección.

El análisis de riesgo se centra en la estimación de los factores que modifican la frecuencia de fallas y las zonas afectadas por la posible fuga de producto liberado al medio ambiente, como resultado de la pérdida de la función de contención del equipo o tubería de proceso.

El análisis determina en primero lugar un factor que representa la probabilidad de la falla y posteriormente permite valorar un factor para las consecuencias. Ambos se combinan en una matriz de riesgo (5 x 5) para establecer el nivel de riesgo de cada componente.

## 2.4.1 Probabilidad de Falla (PoF).

Para el cálculo de la probabilidad de falla (PoF) se considera el procedimiento indicado en la sección 4 de la práctica recomendada API-RP-581 mediante la Ecuación 2:

$$P_f(t) = g_{ff} \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde:

$P_f(t)$  Frecuencia de falla del equipo expresada en eventos/año.

$g_{ff}$  Frecuencia de falla genérica expresada en eventos/año (según Tabla 4.1, API-RP-581)

$D_f(t)$  Factor de Daño.

$F_{MS}$  Factor del Sistema Gerencial.

La base de datos de la frecuencia de falla genérica se basa en una compilación de expedientes disponibles de las historias de la falla de varios tipos de componentes (equipo y circuitos de tubería de diferentes diámetros), en operación en diversas instalaciones de petróleo y gas que han sido desarrolladas para cuatro (4) diferentes tamaños de agujeros, en caso de eventos de fuga (¼", 1", 4" y ruptura total). Como uso más generalizado se cuenta con las evidencias de fallas presentada en la tabla 4.1 "Suggested Component Generic Failure Frequencies", del API-RP-581, 2da Edición, Sep-2008. Sin embargo, en los casos donde se disponga de suficiente historial de fallas para un componente dado, se puede calcular la frecuencia de falla real.

Para el cálculo del Factor de Daño se utilizan métodos sistemáticos que determinar el efecto de los mecanismos de deterioro específicos, bajo condiciones de funcionamiento normales y extremas, que afectan la probabilidad de la falla de cada componente, estableciendo los factores de daño en las condiciones en que operando el equipo, cuantificado la eficacia del programa de inspección ejecutado (en caso de existir) y calculando los factores de modificación de la frecuencia de falla genérica que apliquen.

Para algunos mecanismos de deterioro existe un índice del daño que modifica significativamente la mayor frecuencia de falla a condiciones extremas, diferentes a las condiciones normales de operación, tales como variaciones de la temperatura o cambios anormales en las concentraciones de un contaminante particular en el fluido procesado y que pueden ocurrir durante periodos de cambios en las condiciones operacionales o durante los arranques y paradas de proceso.

Para analizar el efecto del daño producido en servicio y el efecto de la inspección en la probabilidad de la falla, se debe:

- Determinar la velocidad y severidad del daño.
- Determinar el nivel de confianza en la severidad de los daños.
- Determinar la eficacia de los programas de inspección.

d. Calcular el efecto del programa de inspección en el mejoramiento del nivel de determinación de los daños.

e. Calcular la probabilidad de que un nivel dado de daño exceda la tolerancia del daño del equipo resultando en una falla.

f. Calcular los factores de daño.

g. Calcular el factor de daño total para todos los mecanismos de daño.

La norma API-RP-581 considera principalmente los siguientes factores de daño en base a los mecanismos de deterioro:

a. Adelgazamiento por corrosión/erosión (presencia de revestimientos internos).

b. Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos, SCC (Stress Corrosion Cracking).

c. Daño externo.

d. Ataque por hidrógeno a alta temperatura, HTHA.

e. Fractura frágil.

f. Fatiga mecánica.

Dichos factores de daño se pueden consultar en la parte 2 de las normas API-RP-581, donde se establece la correspondiente evaluación de cada mecanismo, presente o potencial en cada componente del proceso. Por lo tanto, si más de uno de los tipos generales de daño está potencialmente presente, los factores de daño individuales deben ser sumados, tal como se indica en la ecuación 3.

$$FD_{f-total} = FD_{adelg} + FD_{dext} + FD_{sec} + FD_{htha} + FD_{fractf} + FD_{fatm} \dots \quad \text{Ec. 3.}$$

Para cada uno de los factores de daño, existe un flujograma de toma de decisiones donde se indica la información de proceso y mantenimiento, empleada para determinar el tipo de mecanismo de deterioro presente en cada equipo. Los aspectos teóricos y detalles de cada mecanismo de deterioro están especificados en la norma API-RP-571 "Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry".

De igual manera, se debe cuantificar la efectividad del programa de inspección, basado en la determinación de las técnicas de inspección más recomendables ejecutar para cada mecanismo de deterioro identificado. La efectividad de la inspección permite medir la capacidad de cada técnica de inspección o ensayo no destructivo, para detectar el mecanismo de daño que se puede presentar. En tal sentido, la norma API-RP-581 / Parte 2 presenta las tablas 5.5 a 5.10, que indica las guías de asignación de la efectividad de inspección para los principales mecanismos de deterioro.

Para la determinación del Factor del Sistema Gerencial, se sigue para aquellas empresas que no lo tiene definido, el procedimiento propuesto en el Anexo 2.a. del API-RP-581 y el cual evalúa trece (13) aspectos:

1. Liderazgo y administración.
2. Información sobre seguridad de procesos.
3. Análisis de peligros de proceso.
4. Gerencia del cambio.
5. Procedimientos operacionales.
6. Prácticas de trabajo seguro.
7. Capacitación o Entrenamiento.
8. Integridad mecánica.
9. Revisión de seguridad previo al arranque.
10. Respuesta a emergencias.
11. Investigación de incidentes.
12. Contratistas.
13. Evaluación del Sistema de Gerencia o Auditorías.

La Figura 12 muestra un gráfico tipo “araña” en el cual se presentan los resultados del análisis necesario para determinar el factor del sistema Gerencial con base en el Anexo 2.a. del API-RP-581.

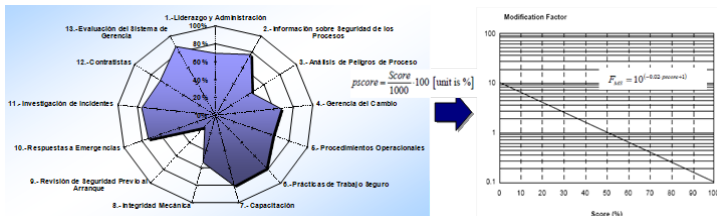


Figura 12. Factor del sistema gerencial.

### 2.4.2 Consecuencia de la Falla (CoF).

Con respecto al otro lado de la matriz de riesgo se debe calcular las consecuencias (CoF), ya sean con base en el área de afectación (pie<sup>2</sup>/año) o en base financiera (USD/año), considerando lo indicado por la Norma API-RP-581 / Parte 3, tomando en cuenta aspectos como naturaleza de la falla, cantidad del fluido liberado, velocidad de fluido liberado en función del tamaño del agujero (¼”, 1”, 4” y ruptura total), viscosidad del fluido, densidad y presión de operación, consecuencias hacia las personas (basado en el número de víctimas potenciales), consecuencias ambientales basada en el costo de posibles derrames (saneamiento, recolección, penalizaciones, etc.) y consecuencias de pérdida de producción que en caso necesario puede ser estimados empleando la tabla 5.17: “Estimated Equipment

Outage” (Norma API-RP-581 / Parte 2).

Como referencia, la rotura de una tubería de alta presión de gran diámetro o de un recipiente a presión, obviamente, tiene una consecuencia diferente de una fuga en una tubería de baja presión de menor diámetro.

En todo caso, las consecuencias totales (Área o Financieras) son definidas como la sumatoria de cada una de las consecuencias de acuerdo con lo indicado en la Ec. 4.

$$C=C\_dinst+C\_prod+C\_dper+C\_amb \quad Ec. 4$$

### 2.4.3. Matriz de Riesgo.

El nivel de riesgo se calcula combinando la probabilidad de falla (PoF) con la consecuencia de la falla (CoF) de cada componente, ubicándolos en una matriz de riesgo de 5 x 5, tal como se muestra en la Figura 13 que presenta un ejemplo de matriz de riesgo para consecuencias en área (equipos y tuberías) o consecuencias financieras (tanques).

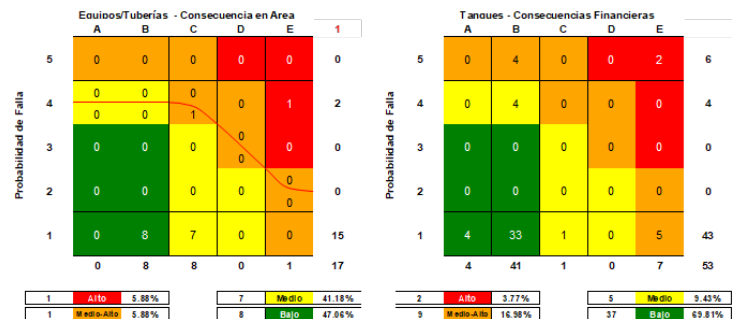


Figura 13. Matriz de riesgo para consecuencias en área y financiera.

## 2.5. Diseño de los Planes de Inspección.

Una vez identificados los factores de daño de cada equipo podrá identificarse cuál es la influencia de cada uno de ellos en la probabilidad de falla, así como el efecto del alcance y la efectividad de las actividades de inspección adecuadas en la probabilidad de detectar la manifestación del daño. Para ello, la norma API-RP-581, especifican las actividades de inspección, su alcance y frecuencias de aplicación de acuerdo a los mecanismos de deterioro presentes y su crecimiento en el tiempo.

El propósito de un plan de inspección es definir las actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los componentes antes de que se produzcan las fallas. Adicionalmente se identifican actividades de mantenimiento u otras acciones de mitigación de riesgo que puedan ser aplicadas.

La concepción de una estrategia de reducción de riesgo de equipos estáticos a través de la metodología inspección basada en riesgo,

sólo surtirá efecto si las actividades que han sido identificadas como las de mejor efecto de reducción de riesgo, son aplicadas. Para lo cual se recomienda establecer un mecanismo de control de las recomendaciones derivadas de los análisis a fin de garantizar su cumplimiento.

La Tabla 2 y la Tabla 3, muestran un plan de inspección recomendado para equipo de proceso y tanque de almacenamiento de hidrocarburo, respectivamente; mientras que la Tabla 4 muestra un análisis costo-riesgo-beneficio (ACRB), de la forma en que se puedan realizar las actividades de inspección y las acciones de mantenimiento, mediante la cuantificación y asignación de los recursos, para tanques de almacenamiento de hidrocarburos (HC), que muestra el beneficio al considerar la extensión de los intervalos de inspección controlando adecuadamente el riesgo.

Component	Comp. Descripción	2010 Risk	2011 Risk	2012 Risk	2013 Risk	2014 Risk	2015 Risk	2016 Risk	2017 Risk	2018 Risk	2019 Risk	2020 Risk	2021 Risk	2022 Risk	2023 Risk	2024 Risk	2025 Risk	2026 Risk	2027 Risk	2028 Risk	2029 Risk	2030 Risk	2031 Risk	2032 Risk	2033 Risk	2034 Risk	2035 Risk	2036 Risk	2037 Risk	2038 Risk	2039 Risk	2040 Risk	2041 Risk	2042 Risk	2043 Risk	2044 Risk	2045 Risk	2046 Risk	2047 Risk	2048 Risk	2049 Risk	2050 Risk	Comments
E-242 H-Q-10	E-242 H	8180000.00	4953.000	4275440.00	5000.000	20138.145	13.861	827948.000	500.000	7042.800	40.170	201348-00	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	No inspection for H/C	
E-242 H-Q-10	E-242 H	8180000.00	4953.000	4275440.00	5000.000	20138.145	13.861	827948.000	500.000	7042.800	40.170	201348-00	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	HIGH (E)	No inspection for H/C
E-241 Q-10	Q-201	4438.587	2.560	9719.598	5.889	403.877	2.794	2009.946	12.584	1029.200	9.280	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	High Cal Low-Prof	
E-244 H-Q-10	E-244 H	208.414	1.893.800	203.347	5000.000	3.844	82.272	209.347	5000.000	3.844	82.272	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	No inspection for H/C	
E-244 H-Q-10	E-244 H	181.842	1.893.800	183.545	5000.000	3.387	82.272	183.545	5000.000	3.387	82.272	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	No inspection for H/C		
E-242 H-Q-10	E-242 H	76.200	2.560	103.870	5.889	79.594	2.794	387.801	12.584	202.200	9.280	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	High Cal Low-Prof		
E-242 H-Q-10	E-242 H	141.189	5.889	87.273	2.794	382.716	12.584	222.169	9.280	9.280	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	High Cal Low-Prof		
E-241 SS-Q-10	E-241 SS	20.343	495.300	21.989	536.440	0.344	3.888	25.253	814.919	1.138	27.107	201348-00	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	MED-HIGH (E)	No inspection for H/C		
E-252A Q-10	Q-202A	18.000	800.000	20.070	910.100	10.477	481.153	27.417	389.398	11.071	481.153	201348-00	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	Opening below tank. There is not flaring.		
E-252B Q-10	Q-202B	17.193	592.071	18.710	825.910	8.539	375.978	27.723	375.788	7.707	389.897	201348-00	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	Opening below tank. There is not flaring.		
E-241A TS-Q-8	E-241A TS	14.821	495.300	15.022	536.440	0.201	3.888	19.338	814.919	0.029	27.107	201348-00	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	MEDIUM (E)	No inspection for H/C			
Average Risk reduction		0.316		0.330		0.338		0.328		0.328																																	
Average Risk greater than 5		149122		1305581		464		136628		15333																																	
Risk increase by hand III		0%																																									
Risk increase by Order Hand III		0%																																									
Equipment Risk Drivers		20%																																									

Tabla 2. Plan de Inspección recomendado - Equipos de Proceso.

Unit	Tank	Last Inspection Date	Next Inspection Date (10 yrs)	Date to Risk Target (years) HAZOP, P&ID, or OHS	Current Risk	Calculated at Insp Date		Calculated at Risk Target Date		Timing Inspection Category (JAH/MS)	Inspection Plan Date	Inspection Recomm.	Recommendation
						Risk	DF	Risk	DF				
TF1	T-1	Aug 1, 2003	Jul 29, 2013	Jun 25, 2013	770.076.4	1.0	770.076.4	1.0	770.076.4	1.0	Jul 29, 2013	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-2	Jun 13, 2004	Jun 11, 2014	Jun 25, 2013	770.076.4	1.0	770.076.4	1.0	770.076.4	1.0	Jun 11, 2014	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-3	Apr 4, 2004	Apr 1, 2014	Oct 24, 2009	115.4	1.0	163.000.0	13.010	115.4	1.0	Apr 1, 2014	Special Extension	Till as per EIS
TF1	T-4	Jul 31, 2007	Jul 31, 2017	Jun 25, 2013	43.610.9	1.0	43.610.9	1.0	43.610.9	1.0	Jul 28, 2017	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-5	Jul 4, 2007	Jul 1, 2017	Jun 25, 2013	50.306.6	1.0	50.306.6	1.0	50.306.6	1.0	Jul 1, 2017	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-6	May 15, 2007	May 12, 2017	Jun 25, 2013	42.122.4	1.0	42.122.4	1.0	42.122.4	1.0	May 12, 2017	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-7	Aug 1, 2007	Jul 29, 2017	Jun 25, 2013	763.547.1	1.0	763.547.1	1.0	763.547.1	1.0	Jul 29, 2017	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-8	Mar 9, 2009	Mar 9, 2019	Jun 25, 2013	85.458.4	1.0	85.458.4	1.0	85.458.4	1.0	Mar 9, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF1	T-9	Jan 1, 2011	Dec 29, 2019	Jun 25, 2013	23.5	4.0	2.798.8	47.9	23.5	4.0	Jan 1, 2011	Special Extension	Base on thickness measurement, to confirm extension
TF2	T-10	Nov 4, 2009	Nov 3, 2019	Jun 25, 2013	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	Nov 2, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-11	Nov 3, 2009	Nov 3, 2019	Jun 25, 2013	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	Nov 3, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-12	May 13, 2009	May 11, 2019	Jun 25, 2013	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	May 11, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-13	Nov 4, 2009	Nov 2, 2019	Jun 25, 2013	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	Nov 2, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-14	Dec 3, 2009	Dec 2, 2019	Jun 25, 2013	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	65.963.8	1.0	Dec 1, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-15	Jun 1, 2009	May 30, 2019	Jun 25, 2013	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	May 30, 2019	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF2	T-16	Mar 9, 2006	Mar 9, 2016	Jun 25, 2013	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	187.547.0	1.0	Mar 9, 2016	No Extension	As per EIS: VT + Floor Scan + UT inspection
TF3	T-17	Oct 10, 2012	Oct 2, 2022	Nov 9, 2013	10.067.1	1.0	10.067.1	1.0	10.067.1	1.0	Oct 7, 2022	5 year Extension	Till as per EIS

Tabla 3. Plan de Inspección recomendado - Tanques de almacenamiento de HC.

Plant	Componentes				Total	Estimado Ahorro por Extensión (USD/año)
	Monitoreo Especial	Reducción Intervalo Inspección	Actual Intervalo Inspección	Ampliación Intervalo Inspección		
TF-1	2	1	61	16	80	250,000
TF-2	1	4	82	0	86	0
TF-3	1	1	6	6	7	45,000
TF-4	1	1	58	20	79	27,500
TF-5	2	1	20	12	34	350,000
TF-6	2	2	14	14	16	200,000
TF-7	1	1	24	16	40	225,000
TF-8	6	5	82	18	111	240,000
TF-9	3	1	24	74	101	500,000
TF-10	1	1	37	0	37	0
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>388</b>	<b>176</b>	<b>591</b>	<b>2,085,000</b>
	<b>2.4%</b>	<b>2.2%</b>	<b>65.7%</b>	<b>29.8%</b>		

Tabla 4. ACRB extensión intervalo de inspección - Tanques de almacenamiento de HC.

## 2.6. Análisis de Resultados.

Como producto de las experiencias obtenidas durante la aplicación de la Inspección Basada en Riesgo, se muestran a continuación imágenes de los diferentes productos y resultados obtenidos haciendo uso de programas y herramientas computacionales licenciatarios y propios, basado en la normativa aplicable.

La Figura 14 muestra el resultado del análisis de riesgo, donde se observa la cantidad de componentes para cada nivel de riesgo dentro de la Matriz. Así mismo, se observa una proyección de la distribución de los niveles de riesgo de los componentes si el plan de inspección es o no es ejecutado implementado, que en conjunto con la distribución porcentual de los niveles de riesgo y el efecto de la ejecución o no del plan de inspección recomendado (Ver Tabla 6), facilitan la adecuada toma de decisiones para la implementación del plan de inspección resultante de la aplicación de la Inspección Basada en Riesgo para Equipos Estáticos.



Figura 14. Distribución cantidad de equipos de acuerdo con su nivel de riesgo.

Risk Level	All Components			
	Current Risk	Without Inspection	With Inspection	% Change
High	82	9.94%	40	4.85%

La Figura 15 muestra un caso específico de la evaluación de riesgo para tanques de Almacenamiento de hidrocarburos, en donde se puede ver los niveles de riesgo financieros y su ubicación de acuerdo con un límite de riesgo aceptable para el propietario de los activos y que en conjunto con los resultados mostrados en la Tabla 3 y la Tabla 4, permiten recomendar extensiones en los periodos de inspección y sus consecuentes beneficios financieros mostrados.

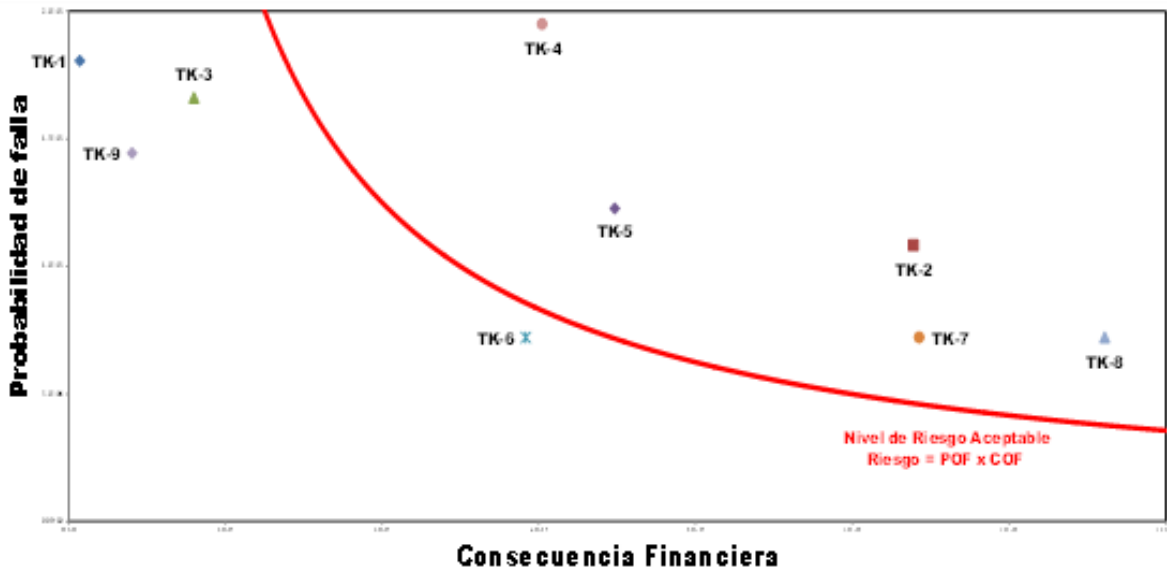


Figura 15. Ubicación nivel de riesgo aceptable para tanques.

La Figura 16 muestra en forma general una lámina de la presentación de final de resultados de la aplicación de la Inspección Basada en Riesgo.

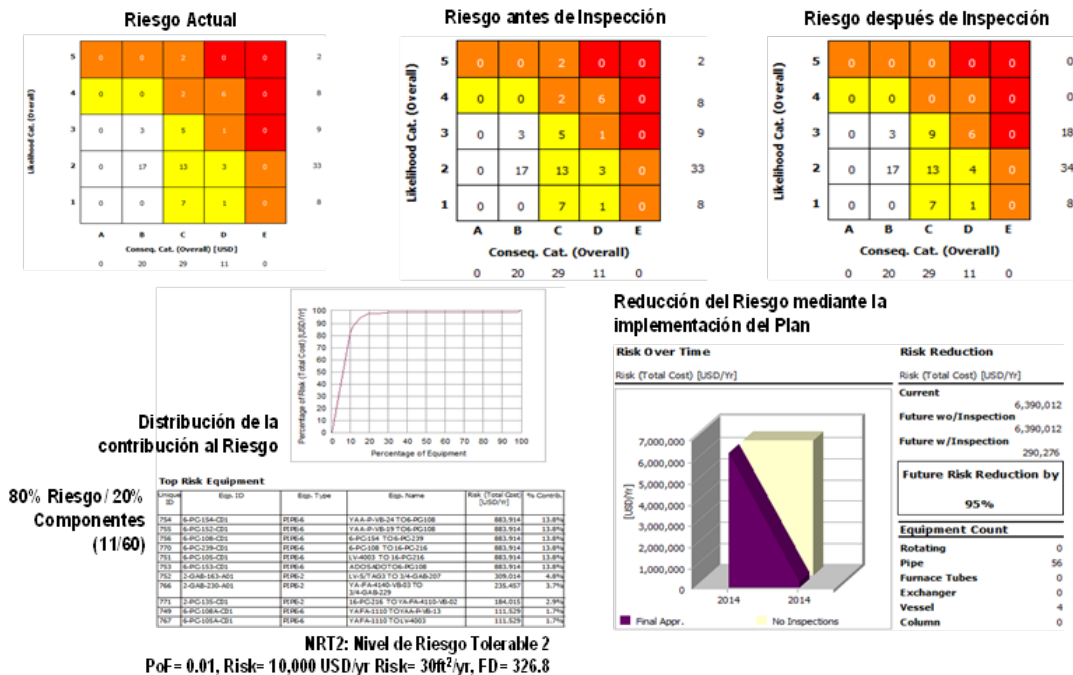


Figura 16. Resumen de Resultados.

## 2.7. Optimización de los Programas de Inspección en Marcha.

Una vez desarrollado los planes de inspección para cada uno de los equipos o tuberías y dependiendo del cliente se ejecuta la optimización del Programa de Inspección en Marcha, el cual consiste en optimizar la cantidad de puntos de inspección (CML's) para cada

componente (equipo o circuito de tubería), de acuerdo con los mecanismos de deterioro presentes y niveles de riesgo.

Este proceso se realiza de acuerdo con los procedimientos de ingeniería establecidos por los clientes, en particular los del Medio Oriente.

En tal sentido, la Tabla 6 muestra un resumen de los resultados del proceso de Optimización como referencia.

Consolidate EQ Type	Equipment_Type	Actual No. of CML's	No. of CML's Added	No. of CML's Reduced	No. Of CML's Definitive
COLUMN	COLBTM	7	2		9
	COLMID	58	4	-12	50
	COLTOP	6	3		9
<b>Total COLUMN</b>		<b>71</b>	<b>9</b>	<b>-12</b>	<b>68</b>
DRUM	DRUM	128	13	0	141
	<b>Total DRUM</b>	<b>128</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>141</b>
FILTER	FILTER	12	0		12
	<b>Total FILTER</b>	<b>12</b>	<b>0</b>		<b>12</b>
FINFAN	FINFAN	518	120	-9	629
	<b>Total FINFAN</b>	<b>518</b>	<b>120</b>	<b>-9</b>	<b>629</b>
HEAT EXCHANGER	HEXTUBE	0	0		0
	HEXSS	186	45	-12	219
	HEXTS	0	0		0
<b>Total HEAT EXCHANGER</b>		<b>186</b>	<b>45</b>	<b>-12</b>	<b>219</b>
KODRUM	KODRUM	18	2		20
	<b>Total KODRUM</b>	<b>18</b>	<b>2</b>		<b>20</b>
PIPE	PIPE-10	33	17	-1	49
	PIPE-12	38	17	-4	51
	PIPE-16	19	15	-5	29
	PIPE-2	22	21	-5	38
	PIPE-4	48	15	-11	52
	PIPE-6	68	28	-10	86
	PIPE-8	16	12	0	28
	PIPEGT16	13	31	0	44
	<b>Total PIPE</b>		<b>257</b>	<b>156</b>	<b>-36</b>
<b>Total general</b>		<b>1190</b>	<b>345</b>	<b>-69</b>	<b>1466</b>
<b>Percentage (%)</b>			<b>29.0%</b>	<b>-5.8%</b>	<b>23.2%</b>

Tabla 6. Resultados de la Optimización del Programa de Inspección en Marcha.

## 2.8. Ejecutar Planes de Inspección.

Se deben ejecutar los planes de inspección detallados para cada equipo y tubería de proceso, incluyendo:

- Método de inspección (VT, UT, RT, etc.)
- Alcance de la aplicación de los métodos de inspección (% total de área examinada, etc.)
- Fecha próxima de inspección (indicado en el plan de Inspección).

De igual manera las técnicas de inspección normalmente se refieren a la evaluación de la calidad de alguna característica en relación con un estándar o una especificación, considerando:

- Equipo:
  - \* Inspección visual (VT),
  - \* Medición de espesor aleatorio por ultrasonido (UT).
  - \* Prueba de partículas magnéticas fluorescentes húmedas (WFMPPT).



se usan comúnmente para verificar la corrosión localizada y el agrietamiento ambiental.

b. Tubería de Proceso se usan varias técnicas para medición de espesor por:

- \* Ultrasonico aleatorio (UT).
- \* Onda de corte UT (UTSW) de soldaduras.
- \* Radiografía (RT).

Se utilizan para detectar pérdida de metal, corrosión preferencial de soldadura y agrietamiento fino.

Ejemplo de las recomendaciones para la inspección son:

c. Para internos: Realizando 10% MFL de tubos, 100% VT con mediciones aleatorias de UT o 50% VT y UT aleatoria.

d. Para externos: 50% UTT de CML's, El 100% de las LMC utilizan UTSW manual, AUT o radiografía.

e. Para CUI: inspección visual 100% externa y 100% perfil o radiografía en tiempo real de daño o área sospechosa.

## 2.9. Monitoreo y Mejora Continua.

Para cerrar el ciclo y continuar con la mejora continua, una vez se obtengan los resultados de implantar los planes de inspección y acciones de mantenimiento recomendadas, se deben evaluar y revisar los indicadores claves de desempeño y retroalimentar el proceso.

En resumen, los principales productos de la aplicación de la metodología de IBR, se tienen:

- La Jerarquización del riesgo de todos los equipos evaluados.
- La descripción de otras actividades de mitigación (reparaciones, reemplazos o mejoras en la seguridad).
- Métodos, alcance y fechas aproximadas de inspección
- Los niveles de riesgo de todos los equipos y tuberías de proceso antes y después que la inspección y otras actividades de mitigación han sido implementadas.
- Equipos con posibilidades de extender su intervalo de Inspección.

## 3. Beneficios.

Entre los principales beneficios obtenido, se encuentran:

- Definir y calificar los niveles de riesgo de los equipos y tuberías de proceso, antes y después que la inspección.
- Identificar potencial reducción de pérdidas de producción durante las inspecciones en marcha.

- Aumentar confianza en la integridad y confiabilidad de los equipos y tuberías de proceso.
- Minimizar riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente.
- Maximizar utilización de recursos y optimización de puntos de inspección.
- Mejorar eficiencia operativa.
- Métodos, alcance y fechas aproximadas de inspección
- Componentes con posibilidades de extensión del intervalo de Inspección.
- Recomendación de otras actividades de mitigación (reparaciones, reemplazos o mejoras en la seguridad).

## 4. Conclusiones.

Con base en lo documentado previamente para generar planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso, con base en la metodología de Inspección Basada en Riesgo (IBR), se tienen las principales conclusiones son:

a. La Inspección Basada en Riesgo (IBR), permite determinar los niveles de riesgo de los equipos y circuitos de tuberías, así como evaluar las posibilidades de reducción de riesgo de estos y también determinar los beneficios económicos de la implementación de los planes de inspección recomendados por estos análisis.

b. Esta metodología permite el direccionamiento de los recursos a las áreas, plantas, sistemas o equipos en donde se encuentra los mayores niveles de riesgo de la instalación analizada.

c. La metodología de IBR permite integrar las evaluaciones económicas en conjunto con los análisis de riesgos de los equipos evaluados en estos estudios, facilitando así la toma de decisiones para determinar la mejor estrategia de inspección de los equipos.

d. La metodología de IBR tiene la facilidad de realizar estudios de análisis costo-riesgo-beneficio de los planes de inspección para aplicaciones específicas como tanques.

e. Como aspecto innovador con estos estudios se logran optimizar los programas de inspección en marcha y así determinar la cantidad de puntos de inspección requeridos para cada equipo o circuito de tubería analizado.

## 5. Referencias Bibliográficas y Abreviaturas.

Las principales referencias bibliográficas y abreviaturas a considerar para generar planes óptimos de inspección a equipos estáticos y tuberías de proceso, con base en la metodología de Inspección Basada en Riesgo (IBR), son las siguientes:

1. API-510.- Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration
2. API-570.- Piping Inspection Code Inspection, Repair, Alteration, and Rating Of In-Service Piping Systems.
3. API-571.- Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.
4. API-574.- Inspection Practices for Piping System Components.
5. API 579.- Fitness-for-Service.
6. API-RP-580.- Risk-Based Inspection
7. API-RP-581.- Risk-Based Inspection Base Resource Document
8. API 650.- Welded Steel Tanks for Oil Storage.
9. API 653.- Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction.
10. API 1160.- Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines.
11. ASME Secc. VIII Div. I.- Boiler And Pressure Vessel Code.
12. ASME B31.3.- Process Piping.
13. ASME B31.G.- Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines.
14. ASME B31.4.- Pipeline transportation system for liquid hydrocarbons & other liquids.
15. ASME B31.8.- Gas Transmission And Distribution Piping System
16. ASME B31.8S.- Supplement to B31.8 on Managing System Integrity of Gas Pipeline.
17. DNV-RP-G101.- Risk Based Inspection Of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment.
18. DS/CWA-15740: Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry (RIMAP)
19. UNE-16991: Marco de la Inspección Basada en el Riesgo.

CML	“Condition Monitoring Location” o Localización de Monitoreo de Condición.
CL	“Corrosion Loop” o Lazos de Corrosión.
CoF	“Consequence of Failure” o Consecuencia de Falla.
ACRB	Análisis Costo-Riesgo-Beneficio.
CUI	“Corrosion Under Insulation” o Corrosión bajo el aislamiento.
DFP	Diagrama de Flujo de Procesos o PFD: “Process Flow Diagram”.
DM	“Damage Mechanics” o Mecanismo de daño.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación o PID: “Process and Instrumentation Diagram”.
HAZ	“Heat Affected Zone” o Zona afectada por el calor de soldadura.
IBR	Inspección Basada en Riesgo.
IG	“Inventory Group” o Grupo de inventario
MCC	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
OSI	“On Stream Inspection” o Inspección en Marcha
PLG	Plano de Localización General.
PoF	“Probability of Failure” o Probabilidad de Falla.
SCC	“Stress Corrosion Cracking” o Agrietamiento por corrosión bajo tensión.
TML	“Thickness Monitoring Location” o Localización de Monitoreo de Espesor.

# Propuesta de adopción de modelos de optimización de alcance, duración y costo en paradas de planta



**Jaime Trujillo**  
Planeador y Programador Integral de Mantenimiento  
ECOPETROL S.A



## Resumen

Las paradas de planta (mantenimiento mayor) en las refinerías de petróleo son actividades de alto impacto para el negocio, su gestión adecuada es relevante para obtener los resultados esperados y por tanto la industria ha adoptado metodologías, métodos, herramientas y buenas prácticas para mejorar su gestión, muchas de estas, provenientes de la gestión de proyectos. En este artículo se proponen algunas buenas prácticas de la industria, en el marco de la gestión de proyectos, para mejorar el desempeño de las paradas de planta (mantenimiento mayor), específicamente los asociados a la gestión de la triple restricción clásica: alcance, duración y costo.

Se realiza una revisión de los resultados históricos de paradas de planta en la organización (premisas vs. resultados finales); como también el referenciamiento internacional con refinerías similares que también participan de estos estudios en el área de la costa del golfo. Se utilizan listas de verificación de cumplimiento para validar el desempeño de las áreas de gestión frente a los resultados del mantenimiento de dos eventos ejecutados en 2021.

Se exploran los factores de éxito de una parada de planta asociados al cumplimiento de las premisas definidas de alcance, duración y costo, identificando como variables incidentes principales para su desempeño, la calidad de la planificación y la materialización de trabajos emergentes como catalizadores del incremento en alcance, duración y costo.

A partir de la data analizada se relacionó el efecto de las desviaciones con la baja gestión en el enfoque organizacional y a la necesidad de formas diferentes de abordarlos, y de allí surge la propuesta de adopción de buenas prácticas tendientes a la optimización. La propuesta presenta dos enfoques, el primero, abordando temática organizacional: creación de una PMO de apoyo; y un segundo enfoque asociado a la incorporación de buenas prácticas y herramientas específicas que mejoren el desempeño, tales como la definición de alcance bajo RBWS, la gestión de duración bajo cadena crítica y la gestión de estimación de costo bajo buenas prácticas de la AACE, entre otras, todas bajo un contexto de gestión del riesgo.

**Palabras Clave:** Parada de Planta, PMO, Triple Restricción, Gestión del Riesgo, RBWS, CCPM.

## Abstract

Plant shutdowns (turnaround) in oil & gas refineries are activities with a high impact for the business, their proper management is relevant to obtain the expected results and therefore the industry has adopted methodologies, methods, tools, and good practices to improve their performance management, many of these, coming from project management. This article proposes some good industry practices, within the framework of project management, to improve the performance of plant shutdowns (major maintenance), specifically those associated with the management of the classic triple constraint: scope, duration, and cost.

A review of the historical results of turnaround in the organization (premises vs. results) is carried out; as well as international benchmarking with similar refineries that also participate in these studies in the Gulf Coast area. Compliance checklists are used to validate the performance of the management areas against the maintenance results of two events executed in 2021.

The success factors of a turnaround associated with compliance with the defined premises of scope, duration and cost are explored, identifying as main incident variables for its performance, the quality of planning and the materialization of emerging works as catalysts for the increase in production, scope, duration, and cost.

From the data analyzed, the effect of the deviations was related to poor management in the organizational approach and the need for different ways to address them, and from there the proposal for the adoption of good practices aimed at optimization arises. The proposal presents two approaches, the first, addressing organizational issues: creation of a support PMO; and a second approach associated with the incorporation of good practices and specific tools that improve performance, such as scope definition under RBWS, duration management under critical chain and cost estimation management under good practices of the AACE, among others. others, all in a risk management context.

**Key words:** Turnaround, PMO, Triple Constraint; Risk Management, RBWS, CCPM.

## 1. Introducción

Una parada de planta (mantenimiento mayor) es un evento de impacto superlativo sobre los resultados del negocio de refinación y de manera general sobre la organización y, por tanto, se consideran factores determinantes de este impacto aspectos como: el alcance, la duración, y el costo, entre otros. Así pues, una gestión adecuada sobre estos aspectos influenciará positivamente los resultados de la organización, desde la disponibilidad operacional, pasando por la confiabilidad de sus activos y finalmente su impacto positivo en la producción y los resultados económicos del negocio. Para efectos de este artículo, se usará de manera intercambiable el término mantenimiento mayor y parada de planta como equivalentes.

En algunas organizaciones, las paradas de planta son consideradas como un proyecto, desde la perspectiva de su gestión, sin embargo, existen otras corrientes que discrepan de esta definición, no obstante, para efectos de este artículo, se acepta que una parada de planta obedece, de manera general, a la definición de lo que es un proyecto de acuerdo con el Project Management Institute (PMI) en su guía PMBOK, en su sexta edición [1].

En este orden de ideas, es importante reconocer que la relación existente entre la gestión de activos industriales y la gestión de proyectos, presentan diversos puntos en común lo que acentúa la posibilidad de hacer uso de algunas de sus metodologías, herramientas, procesos, estándares y buenas prácticas entre ambos.

Por su definición, bajo la norma internacional ISO 55000 – Gestión de Activos – Aspectos generales, principios y terminología: “Un sistema de gestión de activos es un conjunto de elementos de una organización interrelacionados y que interactúan cuya función es establecer la política y los objetivos de la gestión de activos y los procesos necesarios para alcanzar dichos objetivos” [2]. Puntualmente para la organización base de este artículo, la gestión de activos industriales tiene como propósito incidir en el ciclo de vida del activo, primando la perspectiva de la confiabilidad operacional, la administración rentable y gerenciamiento del riesgo mediante la aplicación de las mejores prácticas integradas existentes, garantizando la integridad de las personas, el medio ambiente, la infraestructura, en armonía con el entorno y la continuidad de las operaciones, bajo criterios de eficiencia, eficacia y efectividad [3]. Para el modelo de la organización el ciclo de vida del activo se desarrolla a través de diferentes fases (5): a) Incorporación, b) Operación de Mantenimiento, c) Operación Estructurada, d) Optimización del Activo y e) Desincorporación. Dentro de la fase de operación de mantenimiento (rutinario y mayor), se encuentra circunscrito el proceso de mantenimiento mayor también conocido como parada de planta, y que es objetivo en este artículo.

Por otra parte, la gestión de proyectos puede entenderse como un conjunto de metodologías, herramientas, estándares, entre otros, con el propósito de crear un producto, servicio, o resultado único [1]. Bajo este contexto es importante comprender que todo proyecto

o la gestión de este viene limitado por restricciones inherentes como suelen ser, el alcance, la duración, el costo, entre otros, lo cual es denominado bajo el PMBOK como la triple restricción. Es importante aclarar que existen múltiples interpretaciones asociadas a este concepto que consideran no solo estos tres factores, sino que incluye otros como calidad, riesgos, interesados, etc., y tiende a denominarse múltiple restricción. Si bien la múltiple restricción es un concepto ampliado, para los efectos de este artículo, el enfoque será sobre la triple restricción original.

Ahora bien, aceptando que una parada de planta posee las características de un proyecto, se puede evidenciar que la gestión de estos tipos de mantenimiento se enmarca en modelos que claramente difieren de una organización a otra debido fundamentalmente a su naturaleza, a su frecuencia o a su alcance, es decir, la manera como se gestiona una parada de planta obedece fundamentalmente a las necesidades y requerimientos propios de cada organización. No obstante, esas diferencias, la mayoría de estos modelos converge en aspectos tales como: un inicio, la planificación, la ejecución, monitoreo y control, y el cierre. El modelo por considerar en este artículo [3] está orientado en gran medida en las áreas de gestión (conocimiento) manifestadas por el PMI en su guía PMBOK.

Las mejores prácticas de la industria y los datos de referenciamiento consultados, plantean cifras inquietantes que deben ser gestionados por su impacto negativo en los resultados de las paradas de planta: desviaciones en el alcance, debido a incremento de este, con valores por encima de un 15% al planeado; en duración, debido a extensión del mantenimiento, del orden del 10% al planeado; y en costo por encima del 25%, debido a las desviaciones precedentes [4].

Estas cifras generales de la industria muestran como un factor potencial de mejora disminuir estas desviaciones a través de diversos métodos. En este sentido, este artículo presenta un análisis y diagnóstico de los resultados obtenidos en un conjunto de paradas de planta como también datos de referenciamiento de la industria, construido alrededor de resultados históricos recientes.

Para este análisis y diagnóstico partimos de la premisa de optimizar a través del uso de metodologías conocidas y probadas bajo los estrictos estándares internacionales que rigen el que hacer de la organización, considerando como factor de éxito de la parada de planta, el cumplimiento de los objetivos planificados en alcance, duración y costo.

Así pues, a través de proponer métodos que integren la gestión de la parada de planta, se pretende identificar e incidir positivamente en los tres aspectos focales de alcance, duración y costo de esta, a través de la potenciación de los factores internos de la organización. Para esto se propone un referenciamiento interno y externo del proceso de parada de planta (mantenimiento mayor), con énfasis en su fase de planificación y su impacto final en el resultado y cumplimiento de las premisas de este.

## 2. Contexto del proceso de mantenimiento mayor (parada de planta) en la organización

A continuación, se desarrolla una descripción del proceso de mantenimiento mayor (parada de planta) en la organización, considerando sus objetivos y metas (premisas); siguiendo por un entendimiento de la manera actual en que se desarrollan los aspectos del alcance, la duración y el costo de cada parada de planta, como también, un repaso sobre la manera en que se aborda la planificación de las paradas de planta y finalmente describiendo el contexto organizacional actual.

### Proceso de mantenimiento mayor (parada de planta)

El proceso de mantenimiento mayor (parada de planta) considerado en este artículo es el adoptado por la organización [3], el cual está en vigencia desde hace más de 25 años y fue un modelo transferido por buenas prácticas y convenios realizados con referentes internacionales del negocio oil & gas.

El objetivo del proceso es: “Llevar a cabo la reparación programada de una unidad productiva para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que la compone en su ciclo de corrida, cumpliendo eficiencia, eficacia y efectividad, asegurando la integridad de las personas, el medio ambiente, la infraestructura, la armonía con el entorno” [3].

Si bien el objetivo de un mantenimiento mayor (parada de planta) se describe claramente en el párrafo anterior, es muy importante comprender algunas de las razones principales por las que se incurre en estas actividades de mantenimiento. En principio se debe considerar que un mantenimiento mayor (parada de planta) corresponde a una serie de actividades que de no estar la planta fuera de servicio, no se podrían ejecutar y habitualmente corresponden a actividades como cambio de partes, piezas, repuestos o de componentes que superan su ciclo de vida, que han sufrido obsolescencia o mal funcionamiento, para inspeccionar los equipos, también para gestionar cambios en las unidades a través de proyectos de mejora, modificación y/o corrección de fallas, sin olvidar el cumplimiento de regulaciones y contratos de licenciamiento, etc.

Considerando lo anterior, se puede entender bajo el criterio de definición que “un mantenimiento mayor es el que se hace a la unidad operativa (sistema de activos industriales), cuando esta se encuentra fuera de servicio, después de haber cumplido su ciclo de corrida definida a partir de las metodologías de confiabilidad (RCM, RBI, IPF, entre otras). Adicionalmente, este mantenimiento debe cumplir las fechas establecidas en el plan de hitos de los mantenimientos mayores, y cumplir cada una de las fases descritas en este proceso: Planear actividades de largo plazo, Precisar el alcance del mantenimiento mayor, Planificación del mantenimiento mayor, Realizar actividades de alistamiento, Ejecutar

el mantenimiento mayor, Cerrar el mantenimiento mayor” [3].

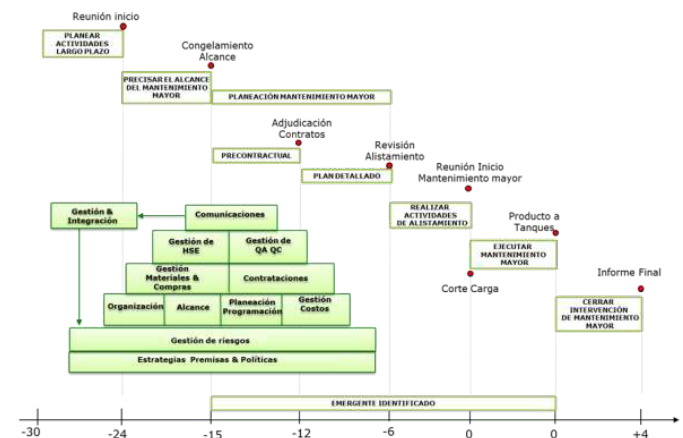


Figura 1. Modelo del proceso de mantenimiento mayor (parada de planta) [3]

La figura 1 describe la relación entre las fases del mantenimiento mayor de la organización y los procesos de gestión o áreas del conocimiento necesarios y considerados para gestionarlo. Igualmente muestra una línea de tiempo donde se recomienda iniciar y finalizar de cada una de las fases del proceso (desde 30 meses antes hasta 4 meses después de la ejecución), como también los hitos principales de inicio y cierre de cada una de ellas. Cada una de las fases descritas y representadas en la figura 1 anterior, se gestionan a través de diferentes áreas del conocimiento que coinciden en su mayoría con las áreas de gestión referenciadas en el PMBOK del PMI. Esto es importante ya que permite establecer un relacionamiento entre el impacto de las áreas de gestión y cada una de las fases del mantenimiento mayor, eso sí, tomando como referencia el criterio base de las premisas del mantenimiento enfocadas en el alcance, la duración y el costo.

Las entradas de las diferentes fases obedecen a hitos bien definidos del proceso y son determinantes para el éxito de la parada de planta, entre otros son: Premisas del mantenimiento, Congelamiento de alcance, Paquetes de Trabajo (Planificación / Programación), Talleres de Alistamiento, Ejecución, Corrida de desempeño, Informe final.

### Objetivos y metas de una parada de planta

Las premisas de la parada de planta consisten en la definición de los objetivos y metas a través de un documento con los lineamientos para el alcance, la duración, el costo, el desempeño HSE, de calidad, y productividad durante la ejecución de la parada, como también la eficiencia y la confiabilidad esperada para la planta intervenida, los niveles de riesgo aceptados, entre otros. En dicho documento se establecen las métricas necesarias para validar el éxito del mantenimiento mayor y contra esta línea base se realizan las comparaciones del desempeño del mantenimiento.

Como característica clave, las premisas deben ser un documento validado y aprobado oportunamente por todos los interesados requeridos y sustentado en los niveles necesarios, en resumen, es el compromiso entre las partes para el mantenimiento mayor bajo el cual se cobijan el negocio, su estrategia y los aspectos particulares del mantenimiento mayor y es validado y aprobado por los niveles superiores de la organización.

### **Alcance de una parada de planta**

El alcance para una parada de planta surge de diferentes escenarios, requerimiento y necesidades como se describió previamente. Sin embargo, no todo el alcance “propuesto” es incluido finalmente. Previo a su precisión, se realizan diversos talleres de revisión y validación bajo las metodologías propias y derivando finalmente en lo que se denomina el alcance congelado, o en otros referenciamientos como la lista de trabajos (work list).

El alcance congelado es un registro que corresponde al listado priorizado de ordenes de mantenimiento (CMMS), donde se identifican los activos industriales a intervenir durante el mantenimiento mayor con un alcance definido, así como las que fueron removidas del alcance (taller de cuestionamiento), diferidas a otro mantenimiento mayor o redireccionadas a mantenimiento rutinario, todo esto con el fin de garantizar la confiabilidad mecánica y operación de las plantas. Este listado esta priorizado bajo los criterios de Factor de riesgo (Factor J) - Valoración RAM (metodologías transferidas por Shell Global Solution).

De manera general se puede encontrar tres tipos de alcances durante el ciclo de un mantenimiento mayor. El que se denomina alcance conocido, asociado al alcance precisado y congelado, también llamado original; el alcance de previsión, el cual es una estimación probable de su ocurrencia y de sus cantidades (podría o no materializarse o ser en una cantidad mayor o menor del estimado); y finalmente el alcance emergente que puede surgir antes de la ejecución, pero que surge en mayor medida durante la ejecución una vez abiertos e inspeccionados los equipos intervenidos.

El impacto de los alcances de previsión y en especial el emergente, son considerables en términos del riesgo de mayor duración, costo y por tanto la afectación del mantenimiento integral. Pero, de otra parte, es probable que este alcance emergente sea indispensable para garantizar la integridad, confiabilidad y finalmente la disponibilidad del activo, por tanto, cada caso y cada alcance emergente debe ser evaluado y cuestionado bajo las metodologías establecidas para este fin y así tomar la decisión óptima para cada caso.

### **Duración de una parada de planta**

La duración de una parada de planta está supeditada a su alcance, al proceso de planificación y a la optimización de la programación. La principal salida de esta fase del proceso es el programa detallado de trabajo y la(s) ruta(s) crítica(s) derivadas de la programación de actividades, entendiéndose por ruta crítica el camino o el conjunto de

actividades con mayor duración del mantenimiento y por tanto con una holgura cero. Así pues, estas rutas críticas establecen la duración nominal del mantenimiento mayor. Es importante reconocer que existen múltiples métodos para gestionar el cronograma y su duración, como por ejemplo el método CPM (Critical Path Method), anteriormente descrito; el método PERT (Program Evaluation and Review Techniques) Técnica de Revisión y Evaluación de Programas; el de Cadena Crítica, entre otros.

La principal diferencia entre PERT y CPM radica en que el diagrama de PERT se utiliza, generalmente, al necesitarse determinar el tiempo necesario para la finalización de un proyecto, en contraste con el CPM que se utiliza en proyectos con características predecibles. En otras palabras, los diagramas de PERT son un método para planificar y gestionar el tiempo, mientras que el CPM se encamina más para controlar costos y tiempo [5].

El programa detallado de trabajo vincula una secuencia lógica con unas duraciones y recursos necesarios, como también la interrelación entre ellos. La gestión del cronograma es realizada a través de aplicativos informáticos especializados como Primavera P6, Microsoft Project, ente otros.

Es importante comprender que la duración es sensible a los cambios de alcance y esto mismo deriva en posibles impactos en los costos del mantenimiento mayor. La gestión de la duración del mantenimiento mayor no solo obedece al monitoreo y control del cronograma, sino más bien a la integración y la relación entre el alcance, duración y costo (triple restricción clásica).

### **Costos de una parada de planta**

Si hay un factor relevante en el desempeño de una parada de planta se puede resumir en el costo de esta. Esta afirmación se fundamenta en que cualquier otra de las restricciones contempladas (alcance y/o duración), dan como resultado una desviación sobre el costo del mantenimiento.

El proceso de costeo de una parada de planta se inicia en fases tempranas del mismo ya que debe surtir diferentes etapas y momentos de acuerdo con el plan de hitos establecido, por ejemplo, las compras de muy largo plazo, la solitud del presupuesto plurianual, etc.

La gestión de costos es un proceso gradual que considera una progresión, especialmente en su precisión asociada, la cual en la medida que avanza el proceso de mantenimiento mayor, ofrece mayor certeza y detalle para realizar las estimaciones respectivas. Un ejemplo de esto es que para la fase de largo plazo el presupuesto tiene una precisión de +/- 50%, en la de planificación detallada del +/- 30% y para la ejecución está en el orden del +/-10%.

Teniendo en cuenta esto, dentro del proceso de mantenimiento mayor se siguen las diferentes etapas para gestionar los costos: planificar, estimar, determinar presupuesto, controlar costos, nótese que son los mismos procesos sugeridos por la guía del PMBOK.

Durante la ejecución del mantenimiento mayor, los costos se gestionan bajo los parámetros del monitoreo y control, haciendo uso de herramientas como la línea base de costos, el valor ganado, análisis de tendencias, de variación, etc.

Como fue tratado en el apartado de alcance, la influencia de este sobre los costos es preponderante, y su gestión resulta prioritaria para mantener el presupuesto alineado con las metas y objetivos especificados en las premisas. Por tanto, recordando que el presupuesto debe responder por el alcance conocido, el de previsión y el emergente y ya que estos tipos de alcance tiene momentos del tiempo particulares, resulta ser un factor para considerar en la estimación y presupuestación de los costos del mantenimiento (variación de la precisión en función de las fases del mantenimiento mayor).

En resumen y utilizando las expresiones acuñadas en la gestión del riesgo, aparecen de manera general dos grupos de alcances para desarrollar la estimación de costos, los conocidos-desconocidos: incluyen el alcance conocido y los trabajos emergentes previos a la ejecución y los desconocidos-desconocidos: los cuales incluyen el trabajo emergente identificado durante la ejecución y producto de la inspección detallada de los equipos y que corresponde a trabajos que no pudiesen ser previstos hasta no abrir e inspeccionar.

### **Planificación de una parada de planta**

Dentro de las fases del proceso de mantenimiento mayor (parada de planta), indudablemente el corazón de este se halla en la planificación, entendida esta, bajo el contexto del mantenimiento mayor, como las actividades de planeación necesarias para asegurar la ejecución del mantenimiento, e incluye entre otros, la planeación detallada de la ejecución, la logística, el plan de contratación y compras, etc.

Los principales hitos que se deben desarrollar en esta fase son: elaborar y consolidar programas y paquetes de trabajo; realizar talleres de cuestionamiento de ruta crítica; definir estrategia de ejecución; planear ordenes de trabajo; compras y contratos; revisión de alistamiento; entre otros.

La entrada principal para esta fase del mantenimiento mayor es el alcance congelado y su principal salida es el taller de revisión del alistamiento. El entregable principal son los paquetes de trabajo, y el programa detallado de trabajo.

Para el análisis y diagnóstico de este artículo, se tendrá como unidad de gestión comparable los paquetes de trabajo y su efecto sobre las premisas del mantenimiento mayor: alcance, duración y costo.

Un paquete de trabajo es un conjunto de entregables producto de la planificación, el cual incorpora todo lo necesario para ejecutar la acción de mantenimiento. Incluye desde la gestión a través del CMMS de la organización de las ordenes de mantenimiento, gestión

de materiales y repuestos, planos, referencias técnicas, controles de calidad, procedimientos específicos, planes de izaje etc.

En la planificación hay dos factores relevantes que se deben destacar, el primero asociado a estimaciones (personas, equipos, materiales, herramientas, duración de actividades, etc.) y el segundo asociado a la programación y a dar la secuencia lógica de las actividades y la optimización de los recursos estimados (histogramas).

Para efectos de estimaciones, se incorporan buenas prácticas de la industria a nivel internacional como el uso de normas labor (estudios de actividades y sus duraciones y recursos medidos en diferentes organizaciones a nivel mundial); el juicio de expertos; históricos de mantenimiento. Por otra parte, para la gestión del cronograma, se realiza la integración de las estimaciones y su secuencia lógica en el cronograma y se realizan talleres de optimización del alcance donde se identifican, gestionan y optimizan las actividades y su secuencia, los recursos (nivelaciones) arrojando la duración final esperada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pone de manifiesto la relevancia de esta fase y su impacto sobre la triple restricción original tomada como referencia para este artículo.

### **Marco contextual de una parada de planta en la organización**

En la actualidad, la gestión de un mantenimiento mayor (parada de planta) obedece a varios esfuerzos relativamente aislados ya que de acuerdo con la estructura orgánica y la naturaleza del proceso (frecuencia), la asignación de recursos para su gestión (en algunos casos de más de 24 meses previos a la ejecución), requiere que se asignen Líderes de Parada (Gerentes de Proyecto), Planeadores, etc. a múltiples y simultáneos eventos. Igualmente, si bien el proceso está claramente establecido, maduro y en realimentación de mejora continua, se observan adaptaciones no convenientes como el uso de plantillas y formatos diferentes, el uso de repositorios documentales diversos, rigurosidad y competencia en el desarrollo de los talleres que soportan el proceso (cuestionamiento del alcance, optimización del alcance, alistamiento, etc.), etc.

Es claro que estas variaciones podrían obedecer más a la forma que al fondo, pero finalmente el efecto sobre los resultados podría ser básicamente en optimización. Por otra parte, los hechos particulares descritos, se potencian al ser dos refinerías de características diferentes que aplican el mismo proceso y además con estrategias que obedecen en algunos momentos a condiciones puntuales de mercado o estrategia. Es importante aclarar, que actualmente existe un proceso de alineación estratégica que busca integrar las dos refinerías y transferir las mejores prácticas entre sí y ser adecuadamente gestionadas desde lo operacional, la gestión de activos, y de resultados del negocio.

Actualmente para la planificación de la para de planta, se cuenta con una unidad integral y centralizada de planificación que posee profesionales divididos por especialidades y coordinados a través



de un líder de planificación. Esta unidad recibe las solicitudes de planificación, las gestiona bajo los entregables establecidos para las mismas y finalmente entrega unos paquetes de trabajo con todo lo requerido para la ejecución de la parada de planta y un plan detallado de trabajo.

### 3. Revisión de resultados de la gestión del mantenimiento mayor (parada de planta) en eventos de la organización y de referenciamiento

Durante el año 2021 se ejecutaron varias paradas de planta a diversas unidades de proceso de la refinería, de los cuales se seleccionó dos eventos particulares que se consideran dentro del alcance de este artículo.

A estos dos eventos se les realizó un análisis y diagnóstico de los resultados obtenidos (comparativamente con las premisas) [6], y, además, a través de referenciamiento, principalmente con los estudios internacionales sobre confiabilidad y mantenimiento (RAM) de Solomon Inc. [4, 7, 8, 9, 10, 11].

Los eventos considerados corresponden a unidades de proceso principales, las cuales se interviene por bloques operacionales relacionados, los cuales están conformados por un total de 5 plantas intervenidas. Estos mantenimientos cumplieron el proceso completo de las 6 fases en los tiempos establecidos y cumpliendo los hitos definidos para cada fase.

#### Premisas de la parada de planta

Para los eventos constituyentes de este artículo, fueron establecidas unas premisas, las cuales surtieron el proceso de validación por la línea organizacional responsable. Las premisas integraron y alinearon el negocio, la estrategia y los factores particulares de los eventos.

Así pues, se extractan de estas premisas las referentes a las metas del alcance, la duración y el costo de los mantenimientos mayores.

Los valores referenciados en las premisas como desviación permisible y valores de referenciamiento se muestran en la tabla 1.

Restricción	Desviación Permisible	Solomon 1Q (2018) (MUSD)/ Días	
		Evento 1	Evento 2
Alcance	≤ 10%	NA	NA
Duración	≤ 5%	45	49
Costo	≤ 10%	26,9	20,74

Tabla 1. Desviación permisible establecida en las premisas del mantenimiento mayor [6]

#### Resultados de los eventos de parada de planta 2021

Los resultados analizados en este artículo se centran en las desviaciones frente a las premisas establecidas para el alcance, la duración y el costo de los mantenimientos mayores.



Figura 2. Desempeño de los eventos en función de la triple restricción [6]

Claramente se observa una desviación en el alcance, la duración y el costo de los eventos. El análisis y propuesta serán desarrollados a continuación de manera independiente para cada factor y finalmente se realizará la integración de las diferentes causalidades y efectos encontrados y la propuesta de optimización.

Mediante el uso de listas de verificación de cumplimiento para cada una de las áreas de gestión del mantenimiento mayor, se realizó una valoración y ponderación de dicho cumplimiento siendo 5 el máximo resultado posible (100% de cumplimiento) y 1 el mínimo resultado posible (0% de cumplimiento). Igualmente se estableció una valoración cualitativa como se describe a continuación.

Sin Cumplimiento	Cumplimiento bajo	Cumplimiento medio	Cumplimiento parcial	Cumplido
1	2	3	4	5

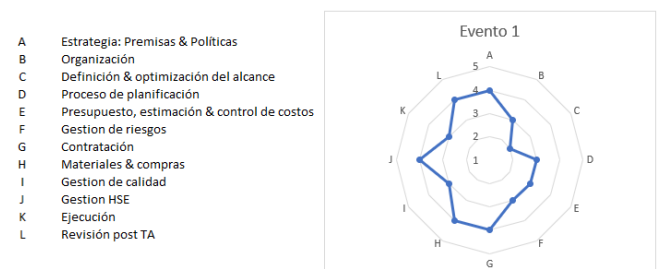




Figura 3. Desempeño de los eventos en función de las áreas de gestión del mantenimiento mayor

De acuerdo con los resultados presentados en la figura 3, se establecen las áreas de gestión del mantenimiento mayor con un menor desempeño la definición & optimización del alcance; el proceso de planificación, Presupuesto, estimación & control de costos y en menor medida la gestión de la calidad y la gestión de riesgos.

Clave	Área de gestión mantenimiento mayor	Triple Restricción Impacto 1	Triple Restricción Impacto 2	Triple Restricción Impacto 3
C	Definición & optimización del alcance	Alcance	Costo	Duración
D	Proceso de planificación	Costo	Duración	NR
E	Presupuesto, estimación & control de costos	Costo	NR	NR
F	Gestión de riesgos	Costo	Duración	NR
I	Gestión de calidad	Costo	Duración	NR

Tabla 2. Relación del desempeño con las definiciones de la triple restricción original. NR=No Relevante.

Se infiere que el costo representa el mayor impacto y su relación con la definición del alcance, la gestión de la duración representa una oportunidad de optimización.

Ahora bien, los resultados analizados muestran que el proceso de planificación tiene un desempeño con cumplimiento medio y por tanto requiere un análisis más detallado.

El modelo de planificación actualmente empleado utiliza tres esquemas de planificación: cien por ciento la organización; cien por ciento aliados y finalmente mixtas. Este análisis se realizará bajo el criterio de una planificación 100% de la organización.

Si bien existen unos modelos generales para la elaboración, la completitud y calidad de los paquetes de trabajo, se ha identificado variaciones considerables entre las planificaciones y entre los eventos, además, también existen variaciones dependiendo del esquema de planificación.

Componente Paquete de Trabajo	Organización	Aliado	Mixto	Promedio
Alcance (CMMS)	91	83	89	87,67
Estimación duración	87	83	83	84,33
Estimación costos	93	89	91	91,00
Información técnica	96	91	97	94,67
Materiales & Repuestos	94	87	91	90,67
Equipos & Herramientas	92	86	93	90,33
Procedimientos	91	88	90	89,67
Planes de Izaje	91	94	94	93,00
QA/QC	91	86	89	88,67
<b>Promedio</b>	<b>91,78</b>	<b>87,44</b>	<b>90,78</b>	<b>90,00</b>

Tabla 3. Desempeño por componente de paquete trabajo vs. Esquema de planificación

La tabla 3 representa que los esquemas de planificación inciden en la calidad de los entregables, también se infiere que las principales brechas del paquete de trabajo se encuentran en las estimaciones y la información técnica mínima requerida. En resume, la calidad de cumplimiento de los paquetes de trabajo está en promedio 90% bajo los tres esquemas.

En la tabla 4 se presenta una comparación histórica entre los resultados de los mantenimientos mayores en los últimos años, relacionando las premisas comprometidas para estas y los resultados reales obtenidos.

En este sentido, se observa una desviación importante en los resultados comprometidos en las premisas de cada evento, y su bajo nivel de cumplimiento. Los datos con los que se cuenta demuestran principalmente desviaciones asociadas a trabajos emergentes y contingentes que afectan drásticamente los valores de alcance, duración y costo. Esto nos lleva a considerar la necesidad de revisar la calidad de cumplimiento de la planificación, como uno de los factores influyentes en las desviaciones a las premisas comprometidas.

PREMISA	2010	2012	2021	
			Evento 1	Evento 2
<b>Cumplimiento del cronograma (Alcance)</b>	70%	72%	52%	17%
Trabajo Emergente	18%	28%	48%	83%
Trabajo contingente	37%	47%	37%	49%
<b>Cumplimiento en tiempo de ejecución (Duración)</b>	75%	63%	20%	0%
<b>Cumplimiento en costos (Costo)</b>	82%	73%	51%	92%

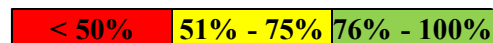


Tabla 4. Histórico de cumplimiento de las premisas del mantenimiento mayor.

Desde el punto de vista de la calidad de la planificación, específicamente lo asociado a mayor alcance, se debe analizar el contexto bajo las siguientes condiciones. La primera, asociada a la planificación, es determinar la calidad de esta, lo cual incluye básicamente constatar si lo planeado fue suficiente para cumplir el alcance o hay alguna desviación que haya generado la necesidad de

realizar más trabajo no planeado.

Como segunda medida, es probable que la desviación de alcance sea consecuencia del estado natural de deterioro del equipo o que solo fue posible evidenciarlo una vez abierto e inspeccionado. Este factor se sale del análisis que se pretende, ya que el mismo no pudiese determinarse previamente. Sin embargo, presenta un alto impacto sobre los costos y la duración del mantenimiento.

Por tanto, se requiere establecer un indicador de cumplimiento de los paquetes de trabajo planificados. Este indicador debe permitir visualizar las diferentes condiciones adoptadas desde el congelamiento del alcance y de la planificación en sí mismas. Esta es la principal variable de comparación con el criterio de éxito, que se define como el cumplimiento de las premisas comprometidas.

Continuando con el diagnóstico, se presenta una comparación general de cumplimiento de las fases del proceso para eventos históricos ejecutados que permiten visualizar los puntos focales de atención para obtener los resultados positivos que busca la organización.

De las fases de un mantenimiento mayor, las desviaciones más representativas se encuentran fundamentalmente en la de planificación y de allí se deriva específicamente el impacto de los paquetes de trabajo como unidades de comparación de éxito. Es decir, como las unidades mínimas de trabajo completadas y planificadas y que son la base para las estimaciones de duración y costo. Así pues, se establece dentro de este diagnóstico una relación entre la calidad de la planificación (paquetes de trabajo), su implementación y uso.

En resumen, para una parada de planta, la cual muestra desviaciones al cumplimiento de sus premisas, y enfocándonos solamente en el efecto de la planificación sobre ellas, se correlaciona inicialmente que la calidad de la planificación (uso de estándares, coherencia y uniformidad), podrían incrementar la probabilidad de éxito y cumplimiento de las premisas comprometidas en el evento. De esto, se deriva la promesa de valor esperada, en una estandarización que promueva su cumplimiento y uso.

## 4. Propuesta de optimización

Si bien la implementación de modelos de optimización surte diferentes aspectos asociados a la estrategia organizacional y la manera de abordar las necesidades propias de su gestión de proyectos, existen modelos propuestos que, de manera general, describen la manera como se adoptan desde la evolución de la madurez organizacional y la gobernanza de esta.

La propuesta derivada de este análisis subyace en un enfoque que, en primera instancia, está asociado al modelo organizacional (la forma de hacer las cosas) y el siguiente enfoque es la incorporación y/o mejora de técnicas y herramientas propias para gestionar los

diferentes aspectos de alcance, duración y costo.

### **Enfoque 1: del modelo organizacional – Implementación de una Oficina de Proyectos PMO**

La planificación en una parada de planta ejerce un gran impacto en los resultados de esta. En este sentido, ordenar, organizar, estandarizar este proceso, es una alternativa de mejora continua que ofrece ventajas claras en dicha optimización.

En esta primera parte de la propuesta de optimización, se pretende establecer los posibles lineamientos y beneficios que podría generar la implementación de una Project Management Office - PMO de Apoyo para la gestión del mantenimiento mayor (Parada de Planta), en función de la literatura y definiciones consultadas.

De acuerdo con el PMBOK en su sexta edición, una Project Management Office - PMO es una estructura de gestión que estandariza los procesos de gobernanza relacionados con el proyecto y facilita el intercambio de recursos, metodologías, herramientas y técnicas [1]. En este sentido, y haciendo un paralelo a la estructura actual de gestión de un mantenimiento mayor en la organización, se tienen recursos diseminados, metodologías combinadas y uso indiscriminado de herramientas y técnicas en función de las necesidades de cada líder de parada (gerente de proyecto) y por tanto surge la oportunidad de integrar, a través de una PMO de Apoyo, las ventajas inherentes a esta estructura con vista a incrementar la eficiencia y eficacia de los resultados de los mantenimientos mayores y por ende en los resultados sobre el negocio de refinación.

Si bien determinar el impacto del valor generado por una PMO representa un desafío importante en sí mismo, es claro que desde la perspectiva del objetivo de este artículo se podrá obtener una primera aproximación de este impacto en términos del uso de los beneficios de esta estructura mas no de la eficiencia y eficacia en los resultados de la gestión de un mantenimiento mayor, este complemento será desarrollado en posteriores estudios utilizando mediciones significativas de la relación directa de las variables del proceso sobre los resultados [12].

Dentro de este artículo, se permeará la visión del PMI en su modelo, sin desconocer la existencia de otros modelos importantes [13,14], por tanto, se adopta que existen varios tipos de PMO y que cada una varía en función del grado de control e influencia que ejerce sobre los proyectos de apoyo, de control y directiva.

Siguiendo la revisión de la literatura realizada, por su definición, por su alcance y beneficios, para el caso de los mantenimientos mayores, una PMO de Apoyo cubrirá de manera general los aspectos de mejora identificados previamente.

Una PMO de Apoyo, de acuerdo con la definición del PMBOK, es la que desempeña un rol consultivo para los proyectos (mantenimientos mayores), suministrando plantillas, mejores prácticas, capacitación, acceso a la información y lecciones aprendidas de otros proyectos.

Amendola plantea la gestión de paradas de planta mediante una PMO, pero complementado la gestión de la parada de planta desde el modelo: Risk-oriented Project life-cycle [15], el cual difiere en algunos aspectos al modelo de la organización estudiada. sin embargo, coincide en la búsqueda de nuevas formas de dirección y gestión de las paradas de planta con el objetivo final de recuperar la integridad, la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

Por otro lado, es importante reconocer que la implementación y uso de una PMO de Apoyo en sí misma no garantiza la obtención de los beneficios esperados, ya que también los resultados estarán enmarcados en cómo sobre la organización influye su cultura organizacional, su madurez, la gobernanza, entre otros aspectos limitantes [16, 17].

El otro aspecto para considerar es la medición de variables de desempeño que contrasten la generación de valor de la implementación de una PMO en la gestión de mantenimiento mayor. Estas mediciones en diferentes referencias consultadas establecen métodos cualitativos y cuantitativos, con resultados disímiles, sin embargo, aportan una contribución a los aspectos particulares que debe desarrollar cada organización en sus métricas y así poder referenciarse y determinar los beneficios obtenidos.

## **Enfoque 2: Incorporación de buenas prácticas**

### **Optimización del Alcance en una parada de planta**

La definición del alcance es la entrada determinante para los demás factores acá contemplados y por tanto requiere una especial atención.

Dentro de las buenas prácticas de la industria y considerándola como una alternativa complementaria a los talleres de cuestionamiento del alcance que se desarrollan habitualmente en el proceso, se propone el uso de la optimización del alcance basado en riesgo – Risk based work scope optimization y sus siglas en inglés RBWS [18, 19, 20]. Igualmente, buscando mayor eficiencia y efectividad en la definición de los alcances, se propone reestructurar la estrategia de RBI – Risk Based Inspection [21, 22]. que se emplea actualmente.

Para la optimización del alcance basado en riesgo – RBWS, se debe entender su alcance y limitaciones. La metodología RBWS proporciona una base rigurosa para justificar la inclusión o el rechazo de elementos de la lista de trabajo (alcance propuesto), si estos no mitigan los riesgos o no satisfacen los criterios de costo/beneficio que se establecen para la evaluación, los cuales son definidos por la organización (apetito al riesgo).

La aplicación de la toma de decisiones basada en el riesgo – RBWS, elimina discrecionalmente las tareas del mantenimiento mayor y retiene tareas que mitigan los riesgos inaceptables o que proporcionarían un beneficio desde un punto de vista financiero. El resultado de una evaluación de RBWS genera un alcance de trabajo

más estricto que conduce a una reducción significativa en la duración y los costos del mantenimiento mayor. La aplicación de la metodología aplica para todos los tipos de equipos principales (equipos estáticos, tuberías, equipos rotativos, instrumentos, electricidad, calentadores, sistemas de TEA, etc.) programados para un mantenimiento mayor.

La metodología RBWS, cuando se usa con equipos estáticos, utiliza datos de inspección basada en riesgos (RBI), cuando es necesario, para validar o rechazar tareas del mantenimiento mayor que están incluidas en la lista de trabajo. Las evaluaciones de RBI se enfocan en la integridad del equipo y la pérdida de contención, mientras que la metodología RBWS complementa estas evaluaciones con la consideración de fallas y consecuencias en los componentes internos de los recipientes a presión que pueden causar una parada no programada y un impacto en la integridad y confiabilidad del equipo.

Alineado con lo anterior, en cuanto a la reestructuración de la estrategia en la aplicación de la practica recomendada de API 580, inspección basada en riesgo – RBI, es importante definir de manera general lo que esta metodología considera y aporta al proceso. La metodología Inspección Basada en Riesgo está fundamentada en las practicas recomendadas API RP-580 y API PUB-581 y su premisa es caracterizar el riesgo asociado a los equipos estáticos (intercambiadores de calor, recipientes a presión, tuberías, etc.) bajo un lazo común de corrosión (mecanismos de daño y modos de falla), usando el análisis del comportamiento histórico de: las fallas, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas organizacionales, considerando simultáneamente la calidad y efectividad de la inspección realizada, así como las consecuencias asociadas a las fallas potenciales [21, 22].

El objetivo fundamental del RBI es definir planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelamiento probabilístico de la consecuencia de una falla (caracterización del riesgo) [21, 22].

Existe una “Metodología RBI mejorada para la Integridad Mecánica de Activos” se basa en la integración de las metodologías de Inspección Basada en Riesgos, “Valoración del Riesgo por Corrosión” (VRC), Integridad Mecánica (IM) y modelamiento probabilístico del deterioro, lo cual permite ampliar el espectro de cobertura de mecanismos de deterioro considerados en el enfoque clásico del RBI [23, 24].

El mayor impacto que puede ofrecer el RBI es el asociado a los trabajos emergentes, en especial los generados durante la apertura e inspección de equipos. Si se considera el alcance emergente bajo estas características, se podría dividir este en alcance previsible y alcance imprevisible, ambas circunstancias asociadas a la predictibilidad que a su vez depende de la frecuencia y alcance de las inspecciones, de las violaciones a las ventanas operativas (API RP584), al estado de las corridas (ejecución de la corrida de desempeño), etc. Finalmente, realizando el seguimiento detallado de estas, se podrá tener mayor

control sobre los mecanismos de daño, los modos de falla y la probabilidad de falla asociados y por tanto optimizar alcances a través de la anticipación.

### **Optimización de la duración de una parada de planta**

En cuanto a la duración, la propuesta se enfoca en adoptar complementariamente a los métodos tradicionales de CPM/PERT, el método de la cadena crítica (CCPM), pero con el valor añadido del análisis de riesgo simultáneo [25, 26, 27].

La cadena crítica (CCPM), está basada en la teoría de las restricciones que tiene por objetivo identificar la causa principal de los problemas (cuellos de botella) y poder ser corregidos y así optimizar la manera de gestionar las duraciones, estableciendo de manifiesto lo más eficaz en la ejecución a la vez que se minimiza el uso de recursos disponibles. Por tanto, el método CCPM puede definir la duración mínima en que el mantenimiento puede finalizar e impone las restricciones que logran no perder la alineación con esa secuencia de actividades de menor duración. De esta forma, se evitan los obstáculos que, con mayor frecuencia, pueden conducir un mantenimiento al fracaso o al bajo desempeño.

La metodología se compone de cinco pasos [25]:

- a. Identificar las restricciones del sistema.
- b. Diferenciar las restricciones físicas de las organizacionales para, por ejemplo, diferenciar entre las limitaciones de recursos materiales y entre las reglas empresariales.
- c. Superar las restricciones del sistema: Los esfuerzos deben centrarse en aquellas tareas que formen parte de la cadena crítica, que son las que determinarán la finalización del proyecto.
- d. Subordinar todas las demás tareas a la decisión tomada en la cadena crítica.
- e. Si se rompe una restricción, no volver a la rutina y regresar al primer paso.

### **Optimización del costo de una parada de planta**

Asociado al costo, las buenas prácticas complementarias sugeridas pasan por dos acciones. La primera relacionada con las estimaciones y la segunda asociada al control del presupuesto [28, 29].

Complementario a los métodos y técnicas de estimaciones actualmente utilizados, se sugiere el uso de prácticas recomendadas como las de la AACE (American Association of Cost Engineering), tales como AACE RP112R-20, “Cost Estimate Classification System - As Applied in Maintenance Turnarounds for the Process”. Las estimaciones deben ser debidamente soportadas con su respectivo BOE (Basis of Estimate) que no es otra cosa que unas premisas y

detalles de la manera como se realizó la estimación. Igualmente, importante es tener estandarizada la EDT, tanto de programación, como riesgos y obviamente costos.

De manera general una buena estrategia de estimación de costos debe incluir la mejora en los procesos de estimación (procesos conocidos y trazables); la competencia del personal estimador y el uso de tecnología que permite gestionar las estimaciones más eficientemente y lograr una línea base de costos confiable y estructurada.

Por otra parte, lo relacionado al control de costos de la parada de planta, surge como herramienta el uso del valor ganado – “cantidad de trabajo ejecutado a la fecha, expresado en términos del presupuesto autorizado para ese trabajo” [1]. Usar el valor ganado involucra tanto las áreas de planificación, de programación, costos y dirección. En resume es una técnica que permite cierto control y seguimiento a la interrelación del cronograma y el presupuesto y proporciona información muy útil para la toma oportuna de decisiones. No obstante, también hay que reconocer las limitaciones (meramente operativas) de esta técnica y los niveles de confiabilidad de la información con la cual se constituye.

Es evidente, que lo descrito en los párrafos anteriores corresponde a la preparación previa de la parada de planta y si bien el control de costos se materializa principalmente en la ejecución, es vital comprender que dentro de los resultados que se pretende impactar para optimizar los costos obedece a la gestión de su principal enemigo el trabajo emergente. En ese orden de ideas, se relacionan estrechamente las tareas descritas en la optimización del alcance, relacionado al RBI y al control de ventanas operativas, como también a la anticipación de mecanismos de daño y modos de falla.

## **6. Conclusión**

La gestión de un mantenimiento mayor (parada de planta) puede aceptarse como un proyecto y por tanto puede hacer uso de las diferentes metodologías, métodos, técnicas, herramientas, buenas prácticas que dicha gestión ofrece bajo los diferentes aspectos considerados. Así pues, entendiendo el impacto de un mantenimiento mayor sobre los resultados del negocio de refinación, se hace evidente que la adecuada gestión de este puede incidir positivamente en aspectos como: alcance, duración, costo, calidad, riesgos, seguridad, etc.

La mejora continua y la adopción de diversas metodologías, métodos, técnicas, herramientas, buenas prácticas, etc. para obtener los resultados esperados en un mantenimiento mayor, permite inferir que reconociendo las falencias actuales del proceso adoptado y desarrollado en la organización, una gestión del mantenimiento a través de una PMO de Apoyo, podría brindar los beneficios, al menos desde la perspectiva de la literatura consultada: integrar y apoyar a gestión a través del suministro de buenas prácticas, capacitación,

acceso a la información, plantillas, lecciones aprendidas, etc. Sin embargo, también es claro que la dificultad inherente a la medición de beneficios entregados por una PMO de apoyo limita los resultados y hace necesario establecer un marco particular para el análisis dependiendo de cada organización y sus expectativas.

La propuesta de optimización sugiere dos enfoques integrados, por una parte, está la estructura o modelo organizacional sugerido (PMO de apoyo) y, por otra parte, la incorporación y/o mejoras de buenas prácticas, técnicas, métodos y herramientas.

Un factor común en el desarrollo de los enfoques propuestos es la gestión del riesgo, la cual está presente en todas las propuestas desarrolladas y ofrece un complemento en la identificación y evaluación de los riesgos para permitir que estos se entiendan claramente y se gestionen de manera efectiva. El aspecto vinculante para la identificación/evaluación de riesgos con su gestión es la comprensión detallada de cada riesgo. Estas técnicas de identificación, sin embargo, tienden a producir una lista no estructurada de riesgos que frecuentemente no ayuda a determinar dónde centrar la atención de la gestión de riesgos. De alguna manera, la evaluación cualitativa de riesgos puede ayudar a priorizar sistemáticamente los riesgos identificados a raves de estimar la probabilidad y los impactos, exponiendo así los riesgos más significativos; pero esto trata los riesgos de uno en uno y no como un conjunto interactivo e interrelacionado y por tanto no considera los posibles patrones de exposición al riesgo subyacentes, por lo que tampoco proporciona una comprensión general del riesgo que enfrenta el mantenimiento en su conjunto. Por ello, el paso significativamente lógico, es mudar y complementar el análisis cuantitativo con las técnicas cuantitativas y asociadas a la visualización de riesgos integrales.

Es posible a través de las buenas prácticas y/o de herramientas particulares, acompañado de una fuerte disciplina, incidir positivamente en el alcance, la duración y el costo de una parada de planta. Las desviaciones que usualmente se describen frente a las premisas y el referenciamiento, obedecen en gran medida a una baja o pobre definición de alcances y/o a trabajo emergente mal gestionado (identificación inoportuna). Evidentemente, la condición antes descrita guarda una fuerte relación con la calidad y oportunidad de gestión de los entregables principales de la planificación: que son los paquetes de trabajo y el programa detallado de trabajo.

Un detalle relevante para considerar es mejorar la capacidad de anticipación a los alcances emergentes, en especial los definidos como desconocidos y que requieren los equipos abiertos e inspeccionados. La manera de gestionar los alcances a través del RBI y siendo muy disciplinados con el cumplimiento de las ventanas operativas específicas de cada planta, ofrece una oportunidad de anticipación a los probables mecanismos de daño o modos de falla inducidos por la operación y que usualmente se evidencian una vez abiertos los equipo pero que podrían diagnosticarse frente a las variaciones identificadas en las violaciones de las ventanas operativas (cambio

de variables en operación). Esto requiere un reporte y seguimiento oportuno para así constituir una extensión de la inspección previa a la parada, conociendo los probables efectos de dichas violaciones operacionales sobre los mecanismos de daño esperados.

En resumen, un marco organizacional favorable y que integre efectivamente los requerimientos, considerando el qué y el cómo, apoyado en una fuerte disciplina de cumplimiento del proceso a través de la implantación y uso de buenas prácticas, como las sugeridas en este artículo, podrán tener un alto impacto positivo en los resultados del mantenimiento mayor y del negocio de refinación en general (alineación estratégica).

Para validar estos resultados y los enfoques sugeridos, es necesario realizar investigaciones más profundas y desarrollar técnicas de investigación que modelen el impacto (generación de valor) del uso de una PMO de apoyo para la gestión del mantenimiento mayor, junto con la implementación de las buenas prácticas acá sugeridas y su impacto en los objetivos y metas del mantenimiento mayor: alcance, duración y costo. Ese estudio deberá construirse alrededor de los resultados de los mantenimientos mayores históricos, frente a pilotos propuestos para los desarrollos bajo el nuevo modelo.

## REFERENCIAS

- [1] Project Management Institute. (2017). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute.
- [2] Serie ISO 55000/1/2 Gestión de activos
- [3] Ecopetrol S.A., RFN-G-5127 Guía gestión de mantenimiento mayor. Ecopetrol S.A. 2019.
- [4] Solomon Inc. International, “Worldwide fuels refinery performance analysis for operating year 2018”.
- [5] Lucidchart – Diagrama de PERT: Definición y cómo hacerlo: <https://www.lucidchart.com/>
- [6] Ecopetrol S.A. Informes de cierre de paradas de planta 2021, Informe presentado a la junta directiva – Refinería de Cartagena.
- [7] Solomon Inc. International Study of Plant Reliability and Maintenance Effectiveness Performance Analysis (RAM Study) 2018.
- [8] Solomon (2017). Achieving World’s Best Refinery Status.
- [9] IPA. (2011) ‘IPA’s Turnaround Evaluations’
- [10] A. Poling, “Reliability and maintenance: the path to world class performance”, Hydrocarbon Processing, Dec 2012.
- [11] J. Stroup, “What characteristics define the world s best refineries?”, Hydrocarbon Processing, May 2014.
- [12] V. Juhani, C. Arndt, J.P. Bergman, J. Hallikas, and J. Kaaja, “Impact of the PMPs roles on project performance”, International Journal of Information Technology Project Management, vol. 9, Issue 4, October-December 2018
- [13] J. Valdés. “La PMO ágil: un enfoque súper rápido para crear una PMO efectiva para su organización = The agile PMO na super fast approach to create an effective PMO for an organization”. Paper presented at PMI®

Global Congress 2008—Latin America, São Paulo, Brazil. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

[14] T. Le Dinh, T. Ho Van, T. Nomo. “A framework for knowledge management in Project management office”. *The Journal of Modern Project Management*, January-April 2016.

[15] L. Amendola. “Gestion de las paradas de planta mediante Project portafolio management office”

[16] E. Too, P. Weaver, “The management of project management: a conceptual framework for project governance”, *International Journal of Project Management*, 32 (2014) 1382-1394.

[17] M. Parchami Jalal, S. Matin Koosha, “Identifying organizational variables affecting project management office characteristics and analyzing their correlations in the Irani project-oriented organizations of the construction industry”, *International Journal of Project Management*, 33 (2015) 458-466

[18] A. Radhakrishnan, “Risk Based Work Selection (RBWS) – An Essential Step for Turnaround Work Scope Optimization”, *Inspectioneering*, October 2019.

[19] A. Radhakrishnan, “Risk Based Work Selection (RBWS) – A Focused Process for Achieving Turnaround”, *Inspectioneering*, September 2019.

[20] A. Radhakrishnan, “Risk Based Work Selection (RBWS) – An Essential Step for Turnaround Work Scope Optimization in Refining”, *Becht*, December 2016.

[21] American Petroleum Institute, “Recommended Practice: Risk Based Inspection – API 580”, API, November 2016.

[22] American Petroleum Institute, “Recommended Practice: Risk Based Inspection Methodology – API 581”, API, November 2019.

[23] F. Elfeituri, S. Elemnifi, “Optimizing turnaround maintenance performance”, *PPCOE 2007*, October 2007.

[24] R. Vichich, “Turnaround excellence – key success factors”, *AICHE 2012*, April 2012.

[25] E. Goldratt, “Cadena Critica”, *Granica* 2008.

[26] M. Bevilacqua, F. Ciarapica, G. Giacchetta, “Critical chain and risk analysis applied to high-risk industry maintenance: A case study”, *International Journal of Project Management* 27 (2009) 419-432.

[27] O. Zwikael, R. Dutt Pathak, G. Singh, S. Ahmed, “The moderating effect of risk on the relationship between planning and success”, *International Journal of Project Management* 32 (2014) 435-441.

[28] AACE RP112R-20, “Cost Estimate Classification System – As Applied in Maintenance Turnarounds for the Process”, AACE, 2020.

[29] G. Lawrence, “Cost Estimating for turnarounds”, *Petroleum Technology Quarterly* Q1 2012.

[30] R. Gort, Huw Morgan, (2003). *Guía para el Gerenciamiento de Paradas de Planta*. Shell Global Solutions International B.V., La Haya.

[31] Pockarel, S & Jiao, J.R. (2008) ‘Turnaround maintenance management in a processing industry: A case study’, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 109-122.

# Catálogo Cursos 2022

## Mantenimiento

- Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento
- Sistemas de Indicadores (KPI) para Evaluar la Gestión del Mantenimiento
- Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento
- Gerencia de Proyectos de Mantenimiento con énfasis en Paradas de Planta
- Gestión de Costos de Mantenimiento
- Estrategias de Gestión de Mantenimiento ABC/ABM y TOC
- Estándares de Planeamiento y Control de Mantenimiento
- Administración de Mantenimiento
- Gestión del Mantenimiento
- Optimización de Recursos de Mantenimiento
- Autoevaluación de Mantenimiento
- Mantenimiento Productivo Total
- Inspecciones Rutinarias Autónomas

## Confiabilidad

- Introducción a la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad
- Taxonomía de acuerdo con ISO 14224
- Monitoreo Basado en Condición (CBM) para equipos dinámicos y estáticos
- Taller de Análisis de Criticidad (Detección de Oportunidades)
- Generación de Planes Óptimos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- Análisis RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad)
- Análisis de Costo-Riesgo-Beneficio, Costos en Ciclo de Vida, Vida Útil Remanente y Obsolescencia
- Gestión Óptima de Inventario de Repuesto
- Confiabilidad Humana
- Fundamentos de Evaluaciones Económicas
- Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCC)
- Planes de Inspección Basados en Riesgo (IBR)
- Gestión de Riesgo
- Análisis HAZOP







# Lubricación de motores estacionarios a Gas



**Diego Cabrera**  
Asesor técnico y comercial  
Productos de petróleo



## Introducción

La utilización de los motores de combustión interna alimentados con gas, especialmente gas natural, para la generación combinada de energía térmica y eléctrica y cogeneración, ha aumentado en los últimos años. Son una fuente eficiente de energía y amigables con el medio ambiente en una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas, alcanzando niveles de eficacia superiores al 90%. Son equipos similares a los motores de combustión interna con relaciones de compresión desde 4:1 a 12:1 y ciclos de operación de 2 y 4 tiempos.

Su operación requiere una vigilancia estrecha ya que se ubican en localidades aisladas o de difícil acceso y de allí la importancia a de un buen servicio de análisis de lubricantes.

La cogeneración y nuevas tecnologías hacen posible el uso de gases residuales provenientes de diferentes procesos de fermentación y han traído consigo gran desarrollo de motores estáticos de tamaño medio y grande entre 300 y 1000KW. Principales fabricantes y afiliadas: Clark, Caterpillar, Guascor, Waukesha, Wartsila, Superior, Cooper Bessemer, Dresser Rand, Fairbank Morse, Ajax, Jenbacher, Man.

## Combustibles para motores a gas

En su gran mayoría son combustibles gaseosos, compuesto de hidrocarburos y otros compuestos, pueden obtenerse de una amplia variedad de fuentes:

- Gases Licuados de Petróleo: Basado en propano y butano o por gas natural, constituido por metano, etano, propano, butano, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. Puede ser dulce o agrio; contener H<sub>2</sub>S, muy corrosivo, además de pequeñas cantidades de sílice. (gas natural de tipo seco o húmedo / dulces o agrios)
- Degradación biológica de materias orgánicas: Gases de la digestión anaeróbica o bioquímica de materias orgánicas presentes en desechos industriales o domésticos, aguas fecales, desechos agrícolas y alimenticios. Constituido por metano, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de agua, y componentes agresivos como H<sub>2</sub>S, hidrocarburos halogenados y otros así como sílice, humedad y arsénico. (biogás, gas de digestión o gas de relleno)
- Productos de proceso industrial o como productos derivados del mismo: Obtenidos como derivados de un proceso industrial (gas de madera de refinería, de cabeza de pozo de petróleo). Pueden contener azufre. (gases fabricados).

## Composición típica del gas según su fuente u origen

GAS	%S	%CH <sub>4</sub>	%CO <sub>2</sub>	%N <sub>2</sub>	%H <sub>2</sub>	%C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	%C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	%C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	PCI (MJ/Nm <sup>3</sup> )
Natural	< 0.001	93.2	—	1.4	< 0.1	3.6	0.8	0.5	31-35
Del digestor	0.01-0.04	35-65	30-40	1-2	—	—	—	—	22-26
De vertedero	0-0.02	25-55	45-75	—	—	—	—	—	18-22
De cabeza	0.001-15	8-98	10-92	10-85	0.2-4.2	—	1-5	1-5	

PCI: Energía equivalente a la energía del gas natural.

La diferencia en la composición y contenido del combustible ha obligado a desarrollar una tecnología específica para este tipo de motores. La selección de los lubricantes viene determinada por estas diferencias de composición y por la presencia o no de componentes agresivos en la misma. Los motores de gas trabajan a temperaturas muy altas lo que promueve la formación de óxidos de nitrógeno (Nox) al combinar nitrógeno con oxígeno procedente del aire de combustión. No hay producción de hollín (no contienen HC pesados).

## Lubricantes para motores a gas

los motores de gas utilizados en aplicaciones industriales funcionan de forma regular bajo altas cargas y temperaturas, durante largos periodos de tiempo, en ubicaciones inaccesibles y supervisión mínima. Por ello se necesita un alto grado de fiabilidad y calidad en lo que a las prestaciones del motor y el aceite se refiere. Las altas cargas y las temperaturas presentes en los motores promueven la oxidación, haciendo imprescindible la utilización de aceites con gran estabilidad a la oxidación, a fin de prevenir el aumento de la viscosidad por polimerización del aceite, el desgaste corrosivo por formación de ácidos y la formación de lodos y barnices. Los motores de gas son más propensos al desgaste de las válvulas y de sus asientos. Esto se debe a la naturaleza seca y limpia de la combustión dentro del motor y a la carencia de hollín o compuestos de plomo que normalmente lubrican las válvulas. El nivel de ceniza sulfatada es mucho más crítico que en motores gasolina o diésel.

Altos niveles de depósito de ceniza pueden causar un encendido prematuro y la presencia de suciedad en las bujías podría provocar encendidos defectuosos, válvulas quemadas, etc. La recesión o golpeteo o hundimiento de las válvulas es una condición donde la cara de la válvula y su asiento se desgastan aceleradamente.

La formación de cenizas es beneficiosa en la mayoría de los

MCI. Sin embargo su exceso sobre las superficies de las válvulas, en motores a gas, puede no proporcionar la protección contra la exposición a elementos dañinos en el gas combustible y a las altas temperaturas. Debido a que quemar gas, mucho más limpio, los aceites formulados para para motores a gas, no requieren el mismo nivel de detergencia que los motores diésel o gasolina, por esto, se emplean aceites con sin cenizas (2T) o con bajo contenido en cenizas (4T), para evitar depósitos en las lumbreras (2T) y lubricar los asientos de las válvulas y reducir su recesión (4T), en especial cuando está funcionando con gas natural o biogás no agresivo.

Por exigencias ambientales (quemado limpio) se ha obligado a algunos fabricantes de motores de gas a la utilización de catalizadores para la eliminación y/o control de las emisiones. La utilización de catalizadores limita el contenido y tipo de aditivos que debe llevar el aceite de motor en su formulación, sin embargo, no existen especificaciones de desempeño en aplicaciones industriales y por tanto, se sugieren aceites con certificación API con niveles específicos de cenizas sulfatadas.

## Funciones del lubricantes para motores a gas

Las características propias de estos motores, el empleo de gases livianos que no producen dilución, las altas temperaturas y las velocidades de operación constantes, resultan en particulares exigencias de desempeño del lubricante, como son:

- **CONTROL DE LA OXIDACIÓN Y DE LA NITRACIÓN:** Las temperaturas más altas, experimentadas por los motores de gas, promueven la formación de óxidos de nitrógeno que al reaccionar con el aceite, dan lugar al aumento de la viscosidad, causada por la polimerización del aceite, desgaste corrosivo causado por productos ácidos (ej. ácido nítrico), formación de depósitos en el motor, causados por lodos y barnices y el bloqueo del filtro causado por lodos.
- **REDUCCIÓN DE LA FRICCIÓN Y EL DESGASTE:** Los motores de gas operan a niveles de carga y velocidad constantes; de manera continua sin paradas, sin puestas en marcha o variaciones de carga, el desgaste de las válvulas y de sus asientos es lo más notorio, debido a la naturaleza seca y limpia de la combustión y por la carencia de hollín o compuestos de plomo, que normalmente lubrican las válvulas en otros Motores de combustión interna, un alto nivel de depósitos de cenizas pueden causar encendidos prematuros y válvulas quemadas por la suciedad en las bujías de encendido.
- **PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN Y DEL ÓXIDO:** Los aceites de motor de gas deben impedir la corrosión y la formación de óxido, especialmente cuando el motor

funciona con gas de vertedero, gas obtenido de aguas fecales u otros gases más corrosivos. Estos gases pueden contener altos niveles de hidrocarburos halogenados, ácidos orgánicos y compuestos sulfúricos que pueden formar ácidos fuertes y provocar corrosión. Es importante no solo utilizar aceites con un TBN elevado, sino aceites con la composición química correcta para neutralizar los diferentes tipos de especies ácidas.

- **LIMPIEZA DEL MOTOR:** El aceite se formula, especialmente cuando se utilizan gases húmedos (El gas húmedo, aparte de metano, contiene cantidades apreciables de hidrocarburos líquidos como etano, propano y butano, más pesados y condensables que pueden barrer la película lubricante). No tiene nada que ver con el contenido de vapor de agua); por otro lado, el gas seco es básicamente metano o gas agrio (El gas agrio contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno, muy corrosivo; mientras que el gas dulce es aquel que no contiene sulfuro de hidrógeno.), con aditivos detergentes y dispersantes para mantener en suspensión la suciedad y productos de oxidación e impedir la adherencia de los aros, la formación de lodos y de depósitos en el motor.

## Clasificación de los lubricantes para motores a gas

no hay estándares para clasificar los aceites para motores de gas, ni tampoco hay pruebas homologadas para la evaluación de su rendimiento. Los fabricantes de motores de gas tienen requisitos que varían ampliamente y solo se homologan aceites después de que se hayan realizado pruebas de campo, cuya duración puede variar entre 3000 y 10000 horas (entre uno y dos años), dependiendo del fabricante original del equipo y son de altísimo costo, lo cual requiere un completo control del aceite y del motor durante la realización de las pruebas, así como una inspección del motor (por regla general de uno o dos cilindros) a la finalización de las mismas.

## Clasificación astm d-874 para los lubricantes para motores a gas

De acuerdo al contenido de cenizas los aceites se clasifican en cuatro categorías:

### Especificaciones De Fabricantes

TIPO DE ADITIVO	% p	MOTOR
Sin cenizas	0,1% <	BN 1-3
Bajo contenido de cenizas	0,1% - 0,5%	BN 3-6
Contenido medio de cenizas	0,5%-1,0%	BN 5-10
Alto contenido de cenizas	> 1,0%	BN 10+

De acuerdo al contenido de cenizas los aceites se pueden observar variabilidad en sus requerimientos, por ejemplo:

## Recomendaciones generales de los lubricantes para motores estacionarios a gas

FABRICANTE	NIVEL DE CENIZAS
Caterpillar	0,45%
Cooper-Bessemer	0,3% - 0,4%
Mirless	1% max
MWM	0,25%-0,75%
Waukesha	0,35%-1,2%

En motores de dos tiempos se recomienda el uso de lubricantes sin cenizas para prevenir el taponamiento de las lumbreras (API SB/CB SAE 30/40). En motores de cuatro tiempos se deben utilizar productos con bajo o medio nivel de cenizas para prevenir desgastes y para neutralizar los compuestos ácidos formados (API CD/CF SAE 30/40). En determinadas aplicaciones es necesario el uso de detergentes especiales e inhibidores de la corrosión para los gases de vertedero.

## Tendencias en lubricantes

Se pueden resumir en:

- Productos con bajo contenido en cenizas.
- Exigencias superiores a API CD.
- Los aceites convencionales de gasolina y diésel no son adecuados.

## Selección del lubricantes

Se deben considerar varios factores:

- TIPO DE GAS: Un gas natural dulce y seco arde bien y generalmente no tiene elementos corrosivos por lo que en este caso un aceite con bajo nivel de ceniza y bajo TBN sería adecuado. En el caso de gases agrios o biogás, este puede contener niveles elevados de compuestos sulfúricos y haluros, los cuales son muy corrosivos, por lo que se requieren aceites con un TBN mayor.
- CAPACIDAD DEL CARTER Y CONSUMO DE ACEITE:

Un cárter pequeño y un bajo consumo de aceite pueden imponer grandes tensiones al aceite y reducir su vida útil; Motores con un mayor cárter de aceite ayudan a aumentar la vida útil del aceite pero pueden contribuir a la formación de depósitos, desgaste de las válvulas y suciedad en las bujías, especialmente si se utilizan aceites con un elevado contenido de cenizas.

- TEMPERATURA DE OPERACIÓN: Motores que funcionan a temperaturas bajas (0°C a 40°C) funcionan satisfactoriamente con aceites tipo SAE 30, mientras un funcionamiento a temperaturas más altas (5°C a 50° C) requieren aceites SAE 40.
- NIVEL DE CENIZAS SULFATADAS: Es la cantidad de materia incombustible cuando se quema una cantidad de aceite y es criterio muy importante a la hora de seleccionar los aceites en los motores de gas. Casi todos los aceites contienen aditivos organometálicos que se requieren para proporcionar detergencia y protección contra el desgaste y la oxidación. Estos detergentes, principalmente sulfatos y fenatos constituyen la fuente principal de ceniza en el lubricante; El uso de aceites con bajo contenido en cenizas puede provocar corrosión térmica, retroceso de las válvulas, quemado de las válvulas, etc. La utilización de un aceite con alto contenido en cenizas, podría causar la formación de cenizas en la cámara de combustión y el pistón lo que daría lugar a encendidos prematuros, suciedad en las bujías, quemado de las válvulas y adherencia de aros.
- ESPECIFICACIONES OEM S: Siempre es importante consultar a los fabricantes de equipos con el fin de conocer sus recomendaciones actualizadas en cuanto al grado de viscosidad, nivel de cenizas y otros requisitos Hay fabricantes que tienen homologados aceites en función del tipo de gas como Guascor, Caterpillar, Jenbacher mientras que otros como Deutz solo tienen homologados aceites, independientemente del gas utilizado.



## Ejemplos de algunos motores a gas



**GUASCOR**



**JENBACHER**



**WAUKESHA**



**WHITE SUPERIOR**



**CATERPILLAR**

### Analisis de lubricantes del motor a gas

Un programa analítico de rutina de aceite de motor a gas debe incluir los siguientes parámetros:

- Viscosidad cinemática.
- Número Basico (BN).
- Número Acido (AN).
- pH.
- Contaminación por glicol.
- Contaminación por agua.
- Insolubles.
- Partículas de desgaste.
- Contenido en aditivos.
- Contenido en contaminantes.
- Nitración / Oxidación.
- Contenido en Cloro.
- Contenido en Azufre.

### Limites condenatorios

Van a depender del fabricante y de su historial o experiencia técnica particular; adicionalmente cada motor debe ser controlado

ENSAYO	Valores típicos de la mayoría de los fabricantes	Waukesha	Caterpillar
Viscosidad	+/- 20% aceite nuevo	-20%/+30% aceite nuevo	+ 3 cst aceite nuevo a 100°C
B.N.	50% aceite Nuevo y >2	50% aceite Nuevo y >2	50% aceite nuevo
A.N.	+2,5 del aceite Nuevo	+2,5 del aceite Nuevo	+2 aceite nuevo
PH	>4,5		
Nitración	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Oxidación	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Insolubles	> 1%	>1%	
Glicol	>200 ppm	indetectable	indetectable
Agua	>1000 ppm	>1000 ppm	>5000 ppm
Fe	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cr	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Sn	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Al	10 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ni	3 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cu	15 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Pb	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Mo	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Si	4-7 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Na	25 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ca	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Mg	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
B	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Zn	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
P	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Cloro	>800 ppm	> 900 ppm	

independientemente, ya que todos poseen diferentes tendencias.

## Frecuencia de muestreo

Inicialmente tomar muestras cada 100 horas al objeto de establecer las tendencias de los parámetros analizados, posteriormente, tomar muestras cada 200 horas para motores a gas con gases reactivos - biogás y muestras cada 400-500 horas con gas natural.

## Frecuencia para cambio de lubricante

No existe un periodo preestablecido de cambio de aceite en motores de gas. La vida del aceite está condicionada a la capacidad del cárter, condiciones de trabajo, carga, temperatura, relación aire y gas, características del aceite y los límites condenatorios establecidos por el fabricante. Por ejemplo, CATERPILLAR recomienda cambios cada 750 horas, mientras que otros como GUASCOR, con combustible del tipo gas natural recomienda cambio cada 1200 horas y con combustible del tipo biogás recomienda cambios cada 700 horas. El cambio del lubricante se basa mas, que en número de horas, en el resultado de los análisis de rutina.

## Conclusiones

- El aceite es un elemento vital de la máquina y es la mejor herramienta de mantenimiento predictivo - proactivo desde el punto de vista coste-beneficio.
- Es una extraordinaria herramienta para controlar los periodos de cambio del lubricante y para la detección temprana de los fallos.
- Cada motor debe ser controlado independientemente, ya que todos poseen diferentes tendencias. Se deben mandar muestras de aceite con una frecuencia determinada para poder establecer las tendencias de cada uno de los parámetros.

## Bibliografía y/o cibergrafía consultada con los respectivos autores.

- Lubricación de Motores a Gas Natural - Ing. Antonio J. Ciancio Servicio Técnico Américas ExxonMobil, Lubricantes y Productos Especiales
- Consejo de la semana: Lubricación de compresores de gas con aceites a base de poli glicoles - Marcelo E. Martins Ingeniero de Lubricación Senior
- Consejo de la semana: Recesión de válvulas en motores a gas estacionarios - Marcelo E. Martins Ingeniero de Lubricación Senior
- Los lubricantes- definiciones, usos y aplicaciones - Diego Cabrera Ediciones Z, C.A. Caracas ISBN 980-6599-10-1
- Los Lubricantes - Características, propiedades, Aplicaciones Ediciones Ceac, S.A. Barcelona ISBN 84-239.3414-3
- Principles of Lubrication - Exxon Corporation 1992
- <http://alsinacomercial.com/informes/00000022/stt15-lubricacion-de-motores-a-gas>
- Lubricación y mantenimiento de motores de gas (lubrication-management.com)
- Lubricación de instalaciones de gas - ¿vale la pena? - Digitronic Autogas (digitronicgas.com)
- <https://www.digitronicgas.com/do/lubricacion-de-instalaciones-de-gas>.
- [www.oilanalysis.com](http://www.oilanalysis.com)
- [www.texaco.com](http://www.texaco.com)
- [www.infenium.com](http://www.infenium.com)
- [www.total.com](http://www.total.com)
- Otras páginas WEB

# Modelo de operación y mantenimiento de activos para parques eólicos y fotovoltaicos.



**Strobinger Mesa Herrera**

Consultor en planeación estratégica  
Nifersa Information Technology S.A. de C.V.  
smesa@nifersa.com.mx



En este momento en Latinoamérica está floreciendo la industria de energías renovables, especialmente están naciendo nuevos parques eólicos y fotovoltaicos, de lo cual se espera un crecimiento exponencial en la participación del mercado de la generación de energía para los próximos 5 años, estimulado por las políticas que están adoptando los diferentes países en materia de transición energética. Este momento es el apropiado para reflexionar acerca del modelo de operación y mantenimiento que deben adoptar las empresas, que sea totalmente acorde con el modelo de negocio, para alcanzar el éxito en la generación de valor que se espera de esta industria en nuestra nueva realidad.

## RETOS EN EL INICIO DE OPERACIONES:

Después de hacer importantes inversiones y pasar por un gran proyecto de instalación de activos se está iniciando con la fase operativa dentro del ciclo de vida de los activos, la cual se caracteriza por presentar a las organizaciones diferentes retos, principalmente una de las mayores razones es porque las empresas se encuentran muy concentradas en estabilizar los equipos de tal manera que cumplan con su función, para lo que fueron diseñados e instalados, descuidando el contexto operacional donde se encuentran riesgos que pueden impactar significativamente la gestión de los activos y su desempeño. Dentro de los más destacados retos tenemos

Es de vital importancia que las empresas fortalezcan sus capacidades para diagnosticar de manera metodológica y audaz las múltiples situaciones que se les pueden presentar. De igual manera deben

fortalecer sus capacidades para realizar una planeación estratégica exitosa para obtener una declaración de acciones que los lleven a una verdadera solución en el tiempo correspondiente.

Se requiere madurar la capacidad para implementar procesos estándar y mejores prácticas realmente actualizadas a la realidad de la industria, que permita lograr el cumplimiento de los objetivos organizacionales.

Los equipos de estas empresas fueron diseñados y construidos con una alta tecnología que requiere que se les adopte a través de un ecosistema informático y tecnológico personalizado. Es de vital importancia incorporar en la medida de lo posible todas aquellas tecnologías de la industria 5.0 que permitan combinar los roles de los humanos y máquinas con el fin de apoyarse y complementarse para garantizar una gestión ágil y eficiente. Dentro de ellas se pueden considerar las plataformas EAM (Enterprise Asset Management), APM (Asset performance Management), IoT (Internet de

las cosas), inteligencia artificial, etc.

En esta industria es muy natural que se presenten en poco tiempo cambios fuertes en el mercado, nuevos desarrollos tecnológicos de los equipos, exigiendo a las empresas una preparación para el cambio continuamente donde se aprenda como organización a ser flexibles y resilientes.

Siendo una industria muy eficiente, la estructura organizacional que es muy ajustada a las actividades propias del negocio, requiere ser apoyada con servicios contratados que cubran las actividades de apoyo de la cadena de valor de la gestión de operación y mantenimiento y para ello las empresas deben fortalecer su relacionamiento comercial con las empresas de servicios disponibles en el mercado Latinoamericano.

## EL NORTE ESTRATÉGICO:

Para el modelo de operación y mantenimiento que se implemente en las empresas se debe buscar un norte estratégico para



trazar una ruta que permita cumplir con las expectativas de las partes interesadas y lograr la generación de valor esperada por la industria. Este norte estratégico se caracteriza particularmente por

Gestionar los activos con un modelo que busca la excelencia operacional, pero que ese modelo nazca de las entrañas de la organización teniendo en cuenta su contexto operacional y las características de cada uno de los activos. Especialmente en las empresas eólicas donde cada aerogenerador puede tener condiciones muy particulares.

El aseguramiento integral de los niveles de producción de todo el portafolio de activos. Es muy importante especialmente para aquellas empresas que administran varios parques en diferentes lugares.

Las organizaciones han hecho grandes esfuerzos para lograr hacer inversiones en CAPEX y a futuro en OPEX, que deben ser cuidadosamente controladas siempre buscando maximizar el retorno de los planes de inversión.

Como toda empresa eficiente se debe buscar la optimización del rendimiento de los activos y la gestión de operación y mantenimiento, sin embargo, debe hacerse un especial énfasis en buscar la sostenibilidad en cada una de las actividades por desarrollar.

En todos los niveles de la organización el personal debe ser plenamente consciente de la necesidad del crecimiento en sus competencias y evolucionar continuamente nuestra manera de hacer operación y mantenimiento, porque esta industria cambia velozmente.

## ELEMENTOS ESTRATÉGICOS DE GESTIÓN:

El estándar ISO 55000 de gestión de activos, les permite a las empresas de parques eólicos y fotovoltaicos tener como orientación el considerar los elementos fundamentales de gestión que este estándar nos presenta, pero más allá de eso, se debe tener muy presente para las empresas de energías renovables los puntos relevantes de interés que nos conducen por el camino hacia la excelencia operacional en la gestión de activos.

Contexto de la organización es fundamental tener una comprensión holística y dinámica del contexto operacional tanto interno como externo y del impacto que tiene cada evento que se presenta en cada una y todas las dimensiones de la gestión, de la empresa, del activo y en los diferentes procesos logístico, abastecimiento, talento humano, seguridad, entre otros.

**Liderazgo** En toda organización se ha planteado un propósito, unos principios y unos objetivos, que no deben quedar en el papel, por tanto, se hace vital, hacer un verdadero esfuerzo de toda la organización y de cada persona para hacerlos realidad.

**Planificación estratégica** La organización se debe caracterizar por tener plenamente establecido y como parte del ADN cultural los principios con los que se alcanzarán los objetivos a través de unas políticas que promuevan su implementación, digitalización y sustentabilidad. Así mismo se debe caracterizar por una continua planeación para la realización de las actividades de operación y mantenimiento.

**Apoyo** Contemplando todas las áreas de gestión que complementan con actividades secundarias a la gestión de activos y

mantenimiento es muy importante que se establezcan herramientas y equipos de trabajo verdaderamente interrelacionados y con un fundamental enfoque en la colaboración.

**Operación** Como esencia dentro de toda actividad operativa siempre se debe buscar un fortalecimiento de las capacidades para formar competencias, gestionar el riesgo integralmente, ejecutar sosteniblemente, gestionar el cambio y siempre evolucionar a través de la transformación cultural.

**Evaluación del desempeño** Como elemento debe existir como una cultura en todo momento durante el ciclo de vida de los activos y del negocio y debe estar presente en todas las dimensiones de la gestión, para medir la eficacia y eficiencia del desempeño de los activos y el sistema de gestión.

**Mejora** Es el elemento que debe caracterizarse para tomar todas las acciones necesarias que buscan lograr una continuidad en todas las dimensiones que impactan la gestión de activos y O&M.

Como se puede apreciar en lo que se busca y los retos que enfrentan hoy las jóvenes empresas eólicas y fotovoltaicas, realmente le presenta al sector industrial, a los empresarios y a los líderes de la gestión de activos, un escenario de desafío en materia de operación y mantenimiento que desde ya debemos afrontar con el mayor profesionalismo, para iniciar el recorrido por el camino de la implementación de un verdadero modelo de gestión que sea respuesta exitosa al cambiante contexto operacional, y que le permita a las organizaciones evolucionar hacia una gestión ágil, de calidad y precisión muy eficiente y característica de esta interesante industria.

[eam.nifersa.com.mx](http://eam.nifersa.com.mx)



**Con HxGN EAM gestiona tus activos bajo el enfoque de la NOM ISO 55000 incrementando la productividad, confiabilidad y disponibilidad de tus equipos**

**Conoce las ventajas de HxGN EAM con nosotros**

[eam.nifersa.com.mx/demo](http://eam.nifersa.com.mx/demo)

[contacto@nifersa.com.mx](mailto:contacto@nifersa.com.mx)



# Vacas sagradas y abejas asesinas

## El desafío de comportamientos destructivos en la empresa



**Pepe Villacis**  
MBA, ActionCOACH  
[josevillacis@actioncoach.com](mailto:josevillacis@actioncoach.com)



# Vacac sagradas

Entre los miembros de su equipo, especialmente si la empresa ya tiene algunos años de funcionamiento, puede tener una vaca sagrada. Si el número de asociados es grande, es posible que tenga más de una. Las vacas sagradas son personas que pueden (y generalmente lo hacen) destruir la moral y causar la partida de buenos empleados. Son venenosos para el entorno de su equipo. Y a menudo se disfrazan engañosamente de empleados de confianza y aparentemente indispensables.

Una vaca sagrada no nace así. Él o ella es alguien creado por un conjunto particular de acciones y circunstancias en la empresa. Comienza siendo empleados brillantes y competentes que se convierten en soporte indispensable de un directivo importante de la empresa. Poco a poco, el desempeño, el logro de resultados y el reconocimiento que ese directivo recibe, dependen cada vez más de los servicios de ese empleado.

Por supuesto, el directivo hace todo lo posible para comunicarle al empleado lo importante que es. Y el reconocimiento, claro, es una buena práctica. Pero cuando el empleado es una persona inmadura profesional o personalmente, y con autoestima débil, se convierte en un problema.

Gradualmente, el empleado comienza a encontrar formas de probar su importancia desafiando las reglas de la oficina o buscando excepciones a ellas. O quizás sus demandas de compensación se vuelven poco realistas. O, su trato a personas dentro de su equipo se vuelve escasamente colaborativo. Hay que rogarle que haga las cosas. Y apoyo poco las ideas de los demás, incluido de los jefes que no le gustan. A veces, terminan tratando con poca empatía a sus propio equipo y a sus clientes y proveedores internos (e incluso externos). Se convierten, pues, en “divas” o “vacas sagradas”.

Cualesquiera que sean las tácticas utilizadas, estas personas buscan la validación permanente de su importancia. Desarrollan la necesidad de demostrar a todos los que los rodean que son especiales y que las reglas no se aplican a ellos. Y fiel a su estilo y presa del miedo de que la persona se vaya o deje de ayudarlo, el directivo viene continuamente al rescate del empleado para mantenerlo feliz. Así, se perpetúa la vaca sagrada.

Si la vaca sagrada tiene un gerente o jefe, el trabajo de esa persona se vuelve cada vez más difícil. Primero, las acciones del directivo generalmente socavan la autoridad de dicho gerente o jefe, cuyo trabajo es vigilar a todos los empleados y asegurarse de que las reglas de la oficina y la compensación se apliquen de manera uniforme y justa. El resto del equipo empieza a considerar que ese gerente es ineficaz, lo que hace aún más difícil que gestione correctamente a su área. La efectividad y la moral del gerente sufren. Pero aún más peligroso es el impacto en la moral de los demás miembros del equipo.

Cuando el personal ve que las reglas no se aplican de manera uniforme y justa, se sienten decepcionados y subestimados. También se promueve la desconfianza y el resentimiento hacia la empresa. Cualquier posibilidad de desarrollar una atmósfera de equipo sólida se evapora en el ambiente venenoso resultante (y no hay que subestimar la importancia de tener un entorno de equipo funcional como fundamento para poder brindar un buen servicio a los clientes internos y externos).



Los empleados que trabajan para otros directivos clave también comenzarán a competir por un trato especial. Esto coloca a esos directivos en un dilema incómodo: hacer lo correcto para la empresa o hacer lo que alivie la presión que tienen de su equipo al ver los privilegios de las vacas sagradas. Si los directivos optan por aliviar la presión, crean nuevas vacas sagradas. Se convierte en una situación injusta y sin salida para los demás. Se desarrolla fricción entre áreas. El trabajo en equipo y la comunicación entre directivos se deteriora. Tarde o temprano, la empresa sufrirá consecuencias severas y reales de crear o tolerar una o más vacas sagradas. La gestión del personal se vuelve caótica. Las reglas ya no se aplican o su aplicación se vuelve prácticamente imposible.

¿Cómo puede la empresa disciplinar a un empleado por llegar tarde, por ejemplo, cuando uno o más otros parecen tener sus propios horarios, de acuerdo con lo que mejor les parezca? Los directivos para quienes trabajan las vacas sagradas suelen negarse a ver el problema, pero el grupo gerencial y el área de Recursos Humanos lo sabe muy bien.

Mientras tanto, a medida que aumentan las desigualdades en la gestión y la disciplina, la empresa suele experimentar un aumento en la rotación de personal. Especialmente en los gerentes nuevos y empleados de reciente ingreso. ¿Por qué? Sin un personal confiable y estable que los apoye, los gerentes tienen cada vez mayores dificultades al tratar de mantener un alto nivel de productividad en condiciones adversas. Algunos también comienzan a desconfiar de la empresa de una empresa que no puede retener a su personal.

## ¿Qué se debe hacer con la vaca sagrada?

Primero y por sobre todo, evite crear vacas sagradas de hoy en adelante. Eso significa que todos los directivos se comprometen a transmitir constantemente el mensaje de que todos los miembros de su personal -incluidos ellos mismos- tienen que ser congruentes, y vivir los valores y las reglas establecidas, sin excepciones a la regla. Significa que todos los directivos enseñarán a sus equipos el respeto y apoyo a su gerente, y que se exigirá a los jefes y supervisores que no generen un trato desigual e injusto. Significa también que la empresa debe tener un manual de políticas y reglas claras que todos deben seguir, que incluya consecuencias y que se apliquen de manera pareja.

Cuando ya se ha creado una vaca sagrada, se requiere la total cooperación del directivo clave para cambiar la situación. El directivo debe transmitir que su visión de un miembro de equipo exitoso es uno que no solo el capaz y trabaja de manera efectiva, sino que también actúa como un modelo a seguir para los demás.

Si el directivo ha estado socavando al gerente del área en cuestión, en un intento excesivo de proteger al empleado, él o ella debe trabajar para restaurar la autoridad de esa persona. Por lo general, esto significa advertir al empleado que el gerente está haciendo su trabajo y que el directivo ya no interferirá en esa área. Y si ese cambio en el mensaje y el comportamiento no produce el cambio deseado en un período de tiempo razonable, el directivo puede tener que considerar en cambiar a la persona que se comporta como vaca sagrada, incluso si es temporalmente doloroso o inconveniente para la operación del negocio, puede ser el único camino para restaurar la paz y trabajo en equipo en el entorno de la empresa.

### **Abejas asesinas: personas problemáticas recién contratadas**

Las abejas asesinas se diferencian de las vacas sagradas en muchos aspectos. Primero, generalmente no se fabrican; la mayoría ya son abejas asesinas cuando son contratadas. Si bien en ocasiones un empleado relativamente normal puede amargarse en la empresa y convertirse en una abeja asesina, la mayoría de las veces la persona llega a la empresa equipada con su actitud negativa. Una abeja asesina es alguien que nunca está satisfecho con la empresa. Estos individuos son abiertamente críticos de casi cualquier cosa que la empresa haga. También son extremadamente rápidos en hacer comparaciones con otras empresas. El principal problema con las abejas asesinas es que simplemente no hay forma de satisfacerlas. Siempre encontrarán abiertamente fallas en la empresa y tratarán de convencer a otros



empleados para que apoyen sus críticas. Si la empresa intenta satisfacerlos, nunca será suficiente. Si la empresa trata de silenciarlos, los otros empleados lo interpretan como una validación de las quejas de la abeja asesina. Con frecuencia, el resultado es que otros miembros del personal comienzan a pensar que realmente hay deficiencias en la empresa. Se sienten cada vez más insatisfechos y, a veces, incluso abandonan la empresa como resultado.

La mejor manera de lidiar con una abeja asesina es ser directo. Escuche lo que tiene que decir. Si hay mérito en la crítica, que a veces es el caso, haga correcciones de rumbo que sean fácilmente evidentes para el personal o incluso comuníquelas. Trate de resaltar las características positivas de la empresa para la abeja asesina y para cualquiera que esté siguiendo su ejemplo, y ayúdelos a comprender que todas las empresas tienen aspectos positivos y negativos. La realidad es que no existe una empresa perfecta.

Sin embargo, cuando la abeja asesina se niega a ser razonable, la empresa debe ser aún más directa. Termine la discusión por parte de la empresa, en lugar de dejarla abierta a un debate continuo. Por lo general, la abeja asesina no cambiará, por lo que la empresa debe tomar decisiones firmes. Cuando un empleado indica con frecuencia que está descontento en el entorno actual, una discusión directa y franca sobre eso y cómo eso perjudica a todos en el equipo, a menudo producirá una salida voluntaria de la abeja asesina. ¡Buen viaje!

De lo contrario, es posible que la empresa tenga que acabar con la abeja asesina. La capacidad y rapidez para hacerlo dependerá de si la posición de la abeja asesina es compartida por otros empleados o -por el contrario- si la abeja asesina se encuentra en un estado constante de insatisfacción que los demás no comparten.

De por sí, mantener una atmósfera de trabajo en equipo y alto espíritu de cuerpo no es fácil en una empresa que emplea a personas que son muy inteligentes y que exigen excelencia en el desempeño en sí mismas y en los demás. Por lo tanto, no hay que hacerlo todavía más difícil creando o tolerando vacas sagradas o permitiendo que las abejas asesinas envenenen la atmósfera.

Apóyese en el área de Recursos Humanos y apoye a los niveles gerenciales que están queriendo resolver estas situaciones, que no son fáciles. Hay que enfrentarlas, con paciencia y entereza se terminarán solucionando. Y tendrá menos dolores de cabeza, mayor rentabilidad y bienestar para todos a largo plazo.

**¿Qué acciones tomarás  
en tu negocio y en tu vida,  
en este sentido?**



**Alirio Morón**  
Petróleos de Venezuela (PDVSA)  
[moronaj23@gmail.com](mailto:moronaj23@gmail.com)

# Optimización del sistema de venteo de empaquetadura (packing) de los Compresores Reciprocantes



El hombre siempre ha buscado la forma de un mejoramiento continuo que sea productivo, pero en la actualidad y con el crecimiento indetenible de la tecnología muchos son los beneficios, las organizaciones están enfrentando el enorme reto de producir más gastando menos, es por ello la búsqueda constante de estrategias que les puedan mejorar sus procesos de una manera que les permita llegar a ser industrias más automatizadas, reduciendo los costos, entre otros beneficios.

Este trabajo está relacionado con la optimización y la confiabilidad operacional, donde podamos cada vez tener mayor control de los escenarios por alguna falla sobrevenida, sobre todo en aquellas instalaciones donde no cuentan con equipos tecnológicos para diagnosticar alguna falla en condición dinámica, en este caso en los compresores recíprocos, perteneciente a la industria petrolera, los especialistas de mantenimiento y sus ingenieros a menudo se integran por la necesidad de resolver algún modo de falla, aportando sus ideas mejorando el desenvolvimiento de sus procesos, estas mejoras permiten apartar las incertidumbres en la toma de decisiones en las áreas de vital importancia tales como diseño y desarrollo.

Por esta razón se plantea esta optimización, que tiene como finalidad reducir o eliminar la pérdida de tiempo y sus recursos, gastos innecesarios, obstáculos y errores, llegando a la meta del objetivo, es por ello que a continuación presentamos esta excelente propuesta para los compresores recíprocos de la industria de hidrocarburo en su etapa de producción y refinación.



Mapa mental N° 1, resumen visual del ciclo de análisis dinámicos, fuente propia.

## Objetivo

Propuesta para optimizar el venteo de packing, a través de un lazo sistema cerrado, para los compresores recíprocos de cualquier marca.

## Objetivo específico

- Estudiar qué es un packing.
- Analizar comportamiento de un packing.
- Elaboración del diseño para la propuesta de optimización del sistema de venteo de packing.
- Estimación de costo del proyecto.
- Conclusión.

## Planteamiento del problema

Para diagnosticar cuando un packing está dañado en un compresor recíproco tenemos que detener la operatividad del compresor, para que los mantenedores puedan realizar las pruebas y poder diferenciar cuál de ellos está dañado, esto mayormente es una parada no planificada perdiendo operatividad y manejo de gas, por ende incrementa costos asociados, en el ámbito de seguridad se generan emisiones de gases comprimidos a la atmósfera, lo cual incrementa los riesgos asociados, sin embargo los estudios de campo nos permitieron comprender los niveles críticos de operación es por ello que se propone la optimización en cuestión.

## 1. ¿Qué es una empaquetadura de barra pistón (packing)?

El pase de la barra pistón a través del cilindro debe estar efectivamente sellado para evitar que el gas se escape de la cámara de compresión. El sellado es llevado a cabo por anillos de sellado flotantes segmentados, estos son retenidos en tazas las cuales a su vez son apiladas dentro del sello completo.

El número de anillos por taza está limitado a la obtención de una unidad única de sellado conformada por anillos cortados radio-tangencialmente sin perder la resistencia mecánica total, el trabajo completo de sellado es realizado por un número variable de tazas, por lo que sellos de baja presión tienen pocas tazas, mientras que sellos de alta presión tienen muchas tazas y son muy largos.

Es enfriado para aplicaciones de alta presión, este enfriamiento para aplicaciones de alta presión, este enfriamiento se lleva a cabo circulando agua de enfriamiento del cilindro por los conductos en las tazas. En las máquinas lubricadas se hace una conexión adicional en el sello para el aceite lubricante, dependiendo el número de puntos



de lubricación dentro del sello, de su largo y del diámetro de la barra pistón.

El empaque de la barra es el segundo componente más crítico del compresor (después de las válvulas compresoras) siendo un elemento que recibe constante investigación y desarrollo para mejorar su confiabilidad, sin embargo, la correcta aplicación de un diseño particular puede alargar la vida del empaque hasta tres años.



Fig N° 1, imagen digital venteo de packing, fuente propia.

## 2. Analizar mecanismos de fallas packing

El desgaste en los anillos de la barra después de un largo periodo de operación se puede observar que el desgaste se acentúa en los anillos tangenciales, razón por la cual en algunos casos se puede reutilizar los anillos radiales, otros de los mecanismos de falla esta en las tazas ya que las misma presentan deformidad por el desgaste.

El estudio del comportamiento operacional del packing se llevo a cabo a través de cámara infrarroja marca flir modelo E64501 Sensor infrarrojo N/P W-A6045-01-06 del equipo de medición de vibración windrock modelo 6320 y pistola pirometrica marca sovarcate, modelo HS980E, también se analizó el procedimiento de fuga de packing realizado por el personal de mantenimiento. Por esta razón el monitoreo de la temperatura del venteo del packing es clave, basado en los resultados de campo se presenta esta optimización para el diagnostico de la empaquetadura, evitando las emisiones de gas comprimido en el sitio, dando lugar a establecer patrones de alarma antes que llegue al punto más crítico.

Este tema cobra gran importancia para aquellas instalaciones que no cuentan con equipos tecnológicos para el diagnostico de falla, por ultimo evitar paradas no planificadas de la máquina, acortando

el tiempo de afectación sobre el manejo de gas y costos asociado, utilizando eficazmente las horas hombres y al final evitar el daño de otro componente mecánico.

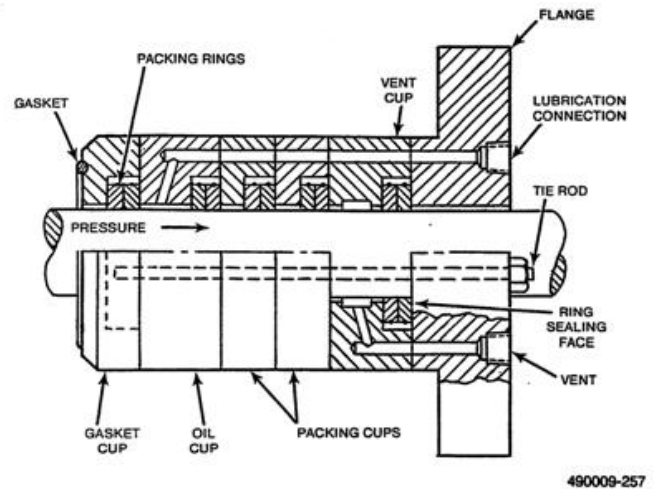


Fig 2. Dibujo mecánico del packing, fuente manual Dresser rand.

### Identificación de componentes en una empaquetadura (packing)

1. Tazas
2. Sellos tangenciales y radiales
3. Oring

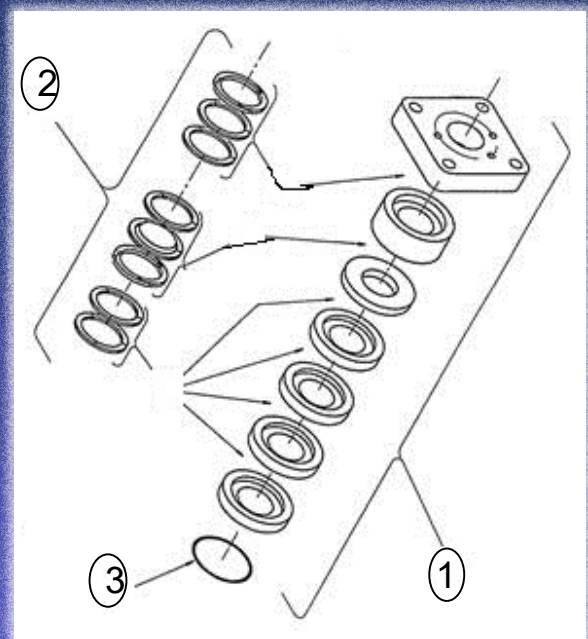


Fig 3. Dibujo mecánico del packing, fuente manual Dresser rand.

### 3. Elaboración, diseño para la propuesta de optimización del sistema de venteo de packing

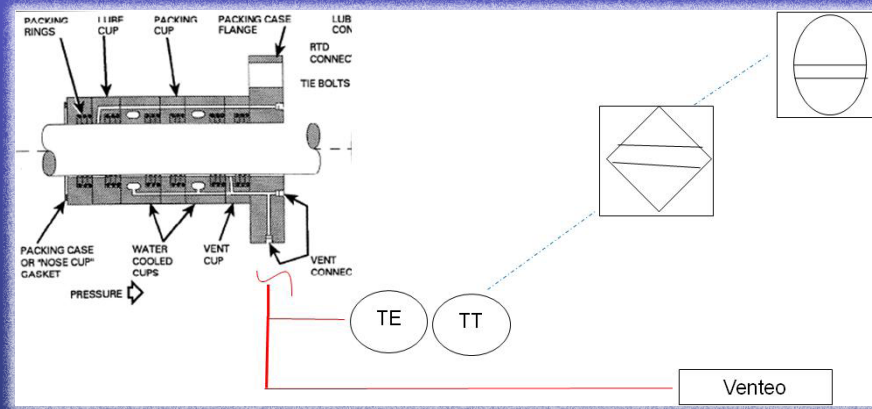


Fig 4. Diseño lazo cerrado del packing, fuente propia.

SIMBOLOIA	DESCRIPCION
	Control Lógico Programable
	Panel de control
	Elemento de temperatura
	Transmisor de temperatura
	Cable ( Cable de señal del transmisor 4-20 ma, 1 par # 16)
	Tubing 3/8

Tabla N°1. Descripción de materiales necesarios para instalar el sistema lazo cerrado, Fuente propia.

### Estimación de costo

Tabla N°2. Estimación de costo para un sistema lazo cerrado de venteo de packing, para un compresor Dresser Rand modelo 6HOS6, fuente propia.

Estimacion de costo del proyecto					
ITEM	HRS	RECURSO	CANTIDAD	VALOR (\$)	TOTAL (\$)
1	40	Tec instrumentista	2	3,6	288
2		Transmisor de temperatura	3	600	1800
3		RTD	3	570	1710
4		Cable	40mt	300	300
5		PLC		980	980
TOTAL					5078

# Conclusión

Con la optimización planteada lograríamos las siguientes condiciones operacionales:

- Control absoluto de la operatividad del packing.
- Minimizar el tiempo de perdida en función al manejo de gas por daños de packing.
- Este diseño aplica para cualquier compresor reciprocantes.
- Con una baja inversión obtendríamos grandes logros, sobre todo al poder planificar la parada para realizar el correctivo.
- Evitaríamos las paradas no planificada por daños en packing.
- Evitaríamos emisiones de gases comprimidos en el área, reduciendo los riesgos asociados.
- Es una alternativa para aquellas áreas operacionales que no cuenten con equipos tecnológicos para el análisis dinámico que facilite el diagnostico de falla.

# ¡Anúnciate con nosotros!

Incluye	PREDICTIVA21 \$1199 USD	PREDICTIVA21 \$2799 USD
Publicidad para 6 ediciones	✓	✓
Artículo comercial/Noticia en Revista para 6 ediciones	✓	✓
1 Correo publicitario a audiencia de Predictiva21	✓	✓
3 publicaciones en todas las redes sociales de Predictiva21	✓	✓
Anuncio publicitario en 3 correos de Newsletter de Predictiva21	✓	✓
6 publicaciones en todas las redes sociales de Predictiva21	✗	✓
Publicidad de Sitio Web por 12 meses	✗	✓

Pago a 100% por adelantado. Precio no incluye IVA en caso de aplicar. La información de insumo requerida para prestar los servicios deberá ser suministrada por el cliente. Predictiva21 no se encuentra obligada a compartir información de estadísticas de resultados.



## Anunciantes en Predictiva21



# ¡Publica tu artículo técnico en nuestra siguiente edición!

### Pautas para publicar:

- Enviar archivo word en editable.
- Máximo de páginas 10
- Incluir resumen del artículo de 1 párrafo
- Las ilustraciones y gráficos deben tener buena resolución y con el texto legible identificados respectivamente (fuente propia o de tercero).
- Incluir biografía del autor autor: nombre, direcciones de correo electrónico, empresa o institución donde trabaja, profesión y cargos, país de origen del autor y una síntesis curricular de un máximo de cuatro líneas.
- El artículo no debe tener corte comercial (promoción de productos y servicios específicos).

# +200

## Articulistas actualmente

Envíanos tu aportación a [articulos@predictiva21.com](mailto:articulos@predictiva21.com)

# Alejandro Godoy

Director de Mercadeo y Operaciones  
de Predictiva21 y Predyc

**PREDICTIVA21**

[alejandro.godoy@predictiva21.com](mailto:alejandro.godoy@predictiva21.com)



## 1. Compártenos una breve biografía introductoria de tu persona y cómo lograste el desarrollo de negocios y ventas en 2 empresas internacionales

Mi nombre es Alejandro Jose Godoy Rodriguez, tengo 27 años y soy ingeniero industrial egresado en Venezuela, mi país de origen.

Desde el 2015, tuve mis primeros acercamientos al área laboral en actividades de gestión de proyecto, sin embargo mis inicios laborales formales comenzaron en México, donde realicé mis practicas profesionales y Tesis de grado las cuales posteriormente presente en Venezuela.

Durante estos ultimos años pasé por diferentes departamentos e industrias que me permitieron obtener una visión global de los procesos productivos y comerciales que busca el mercado actual. Esto de la mano con una constante capacitación me ha permitido llevar la visión y mensaje alineado a los nuevos retos, tanto tecnologicos como organizacionales que enfrenta cualquier empresa en la actualidad. Objetivos logrados con el apoyo de un equipo joven, con ideas frescas, que en estos tiempos de cambio nos permite ser flexibles para adaptarnos y progresar en los nuevos retos que recibimos cada día.

El ser parte de Predictiva21, una revista internacional, ha ampliado enormemente mi panorama. Han sido constantes retos que hemos enfrentado para llevar la empresa adelante, pero lo que nos mueve es la visión de lograr difundir conocimiento con toda la comunidad de habla hispana. Eso es algo que me motiva todos los días a realizar mi trabajo.

Igualmente el área de capacitación es crucial para las industrias, me gusta pensar que nuestra manera de crear un futuro mejor es darle las herramientas y conocimientos a los profesionales de la industria para que puedan efectuar su trabajo con la información más completa y actualizada. De esta ultima tarea, nos encargamos en los cursos en vivo de Predictiva21 Learning y los cursos grabados de Predyc.

## 2. ¿Cuál es tu rol y actividades en Predictiva21 y Predyc?

Actualmente manejo el rol de Director de Mercadeo y Operaciones para las empresas Predictiva21 y Predyc, estoy al frente de las actividades comerciales siendo, por así decirlo, la conexión entre los clientes, estudiantes y empresas a los servicios que ofrecemos en ambas organizaciones.

De igual forma, me encuentro en la búsqueda constante de nuevos temas y profesionales que quieran unirse al proyecto, por lo que mantengo una interacción permanente con nuevas personas que me permiten conocer una perspectiva diferente y oportunidades de mejora en lo que hacemos. Todo esto en conjunto con todo el equipo y colegas, con el que día a día afrontamos los retos de llevar a la comunidad un material de valor para la formación en las áreas de capacitación industrial.



### 3. ¿Cuáles son los mayores retos a los que te enfrentas como Director de Mercadeo y Operaciones de P21 y Co-fundador de Predyc?

El principal reto y considero el más grande dentro de mis actividades, es la diversidad de consultas y organizaciones a las que hoy por hoy tenemos alcanza. Gracias a Dios y al trabajo realizado alrededor de los años hemos tenido una gran aceptación en toda Latinoamérica, lo que nos ha permitido trabajar en temas de capacitación en la mayoría de los procesos productivos e industrias de todo tipo (Minera, alimenticia, oil and gas, automotriz, farmacéutica, entre otras). Lo que implica tener un conocimiento holístico sobre cada uno de sus diversos procesos, algo que me invita a seguir formándome cada día en las nuevas metodologías y las aplicaciones prácticas en las que estas tienen cavida.

Otro de los retos es el crecimiento constante de nuestra comunidad y visitantes en nuestro sitio web y redes sociales, ya que en la actualidad contamos con mas de 2 millones de vistas anuales en el sitio [www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com) y a la fecha nuestra comunidad es de 20 mil seguidores en la red social para profesionales por excelencia (LinkedIn). Proyectamos un crecimiento del 30% al 40% para finales de este 2022, llevando nuevo contenido de valor a todas las áreas y sectores industriales para posicionar a Predictiva21 como el referente en temas de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de activos para Latinoamérica.

### 4. ¿Hacia dónde se dirige Predyc?, ¿cuáles son las metas para este año?

El proyecto Predyc nace el año 2021 como una idea conjunta de mis socios Andrés González, Guillermo Morán y mi persona de llevar la capacitación industrial a una modalidad que ha tenido un rápido

crecimiento estos últimos años: la capacitación asincrónica.

Decidimos desarrollar una plataforma donde la comunidad pudiera obtener formación a un costo accesible y con los beneficios de capacitarse cuando y donde quieran. Este año 2022 presentaremos la nueva fase del proyecto, presentando cadenas de estudios donde el usuario podrá decidir y ver en un orden lógico el tema en el cual desee formarse, así como una herramienta para que las organizaciones puedan tener el control total de la formación de sus trabajadores mediante un Sistema de Gestión del Aprendizaje. Todo esto integrando la facilidad de acceder a todo el material técnico y educativo a través de un modelo de suscripción muy conocido en las actuales plataformas de entrenamiento como Netflix, Disney+, entre otras.

Desde mi perspectiva veo a Predyc convertirse en la plataforma asincrónica de capacitación industrial #1 de Latinoamérica, siendo un espacio donde instructores, profesionales y organizaciones puedan presentar sus conocimientos y habilidades a las nuevas generaciones que estamos formándonos en las diversas áreas industriales. Obteniendo además beneficios económicos y un amplio reconocimiento como especialistas en sus temas de ingerencia ante toda la comunidad.



### 5. ¿Cómo es que llegas a Predictiva21?, ¿cómo te vuelves parte de este proyecto?

Retomando mis inicios laborales en el año 2017, tuve la oportunidad de trabajar en el grupo de empresas E&M Solutions, organización especializada en consultoría y proyectos de ingeniería, Mantenimiento y Confiabilidad, la cual uno de sus fundadores es el Ing. Enrique Gonzalez también fundador de Predictiva21. En el año 2018 Enrique y su hijo Andres Gonzalez, actual CEO de Predictiva21, llegan a México para actividades de un proyecto de confiabilidad,

donde empieza una grata amistad.

Desde un inicio Andres y yo compartimos el sueño o visión de crear soluciones de capacitación en los temas de ingeniería, específicamente en Mantenimiento y Confiabilidad. Ya que aunque existe una amplia cartera de temas y opciones en el mercado, no se encuentra una guía o programa de formación que indique los pasos que debe tomar un profesional para convertirse en un especialista en estas áreas.

Por esto decidimos proponer a Enrique y el resto de los socios de Predictiva21 tomar la dirección de la organización y llevarla al siguiente nivel, creando la dirección de capacitación de la mano con profesionales de E&M Solutions y consultores especialistas formamos un catálogo de capacitación orientado en 3 áreas fundamentales: área de ingeniería de Mantenimiento, Ingeniería de Confiabilidad y área de Desarrollo técnico. Lo que nos ha permitido capacitar a +800 profesionales y +50 empresas de toda LATAM desde el año 2019.

De igual forma este inicio de año 2022 presentamos nuestro diplomado en Confiabilidad y próximamente en Octubre presentaremos el Diplomado de Ingeniería de Mantenimiento que llevan como objetivo reafirmar la visión de brindar a la comunidad un programa de formación que contenga un hilo lógico de aprendizaje de las principales técnicas, herramientas y metodologías en estas 2 áreas.

## 6. ¿Cuál es tu mayor sueño?

Uno de mis sueños o metas profesionales es poder crear en conjunto con nuestro equipo y aliados, la principal comunidad de capacitación industrial de latinoamérica. Utilizando los medios con los que hoy contamos como lo es Predictiva21, así como creando nuevas vías de difusión con el nuevo proyecto Predyc, nace la visión de llevar un nuevo modelo de capacitación.

Estos últimos años hemos vivido experiencias y retos muy grandes, y durante todo este camino he tenido la oportunidad de conocer y hoy llamar colegas y amigos a muchos referentes en este medio, donde he aprendido muchas cosas. Resaltando una frase que a lo largo de nacionalidades, profesiones, pensamientos y opiniones diferentes siempre prevalecen *“Enseñar es la mejor forma de seguir aprendiendo”* y con esto en mente si podemos aportar con nuestros conocimientos e ideas al crecimiento de otros profesionales sin duda veré con creces una meta cumplida.





**COSENTINO**<sup>®</sup>

**Digitaliza su  
Mantenimiento Predictivo**  
**Claves y Aprendizajes**



**Pedro Caparrós**  
Responsable Mantenimiento Predictivo  
COSENTINO





Grupo Cosentino es una empresa española global que produce y distribuye superficies tecnológicamente avanzadas e innovadoras, de alto valor para el mundo del diseño y la arquitectura. En su parque de máquinas tienen más de 3000 activos bajo mantenimiento predictivo.

Al asumir el cargo de responsable de mantenimiento predictivo, incorporamos nuestro modelo estratégico de gestión en I+D+i, gracias al cual Cosentino ganó Premio Nacional de Innovación 2021, que concede el Ministerio de Ciencia e Innovación en España. En ese contexto, entendimos que la forma de innovar en mantenimiento predictivo era mediante su digitalización. Así, la digitalización debería ayudarnos a gestionar los procedimientos de mantenimiento predictivo y a medir el impacto que el predictivo tiene en la empresa.

## El inicio de la digitalización

Una de las claves de nuestro proceso fue partir de lo que ya teníamos rutas hechas por personal y equipos propios de Cosentino, así como por empresas de servicio externas. Antes de pensar en sensores online, procesamiento de datos, Machine Learning y otras técnicas, era importante digitalizar nuestros procedimientos actuales. Es así como documentamos los procedimientos de análisis predictivos, diagnóstico, avisos de mantenimiento, órdenes de trabajo y retroalimentación.

Hicimos pruebas con varios softwares en el mercado. Después de considerar diferentes opciones, decidimos hacer el plan piloto con 30 máquinas en Power-MI. Empezamos a gestionar el mantenimiento predictivo bajo una metodología intuitiva y gestionada con un software en la nube. Los resultados del plan piloto fueron:

- Los analistas tardan menos de la mitad del tiempo para hacer informes.
- Implementación de un catálogo de fallos que nos permite llevar un registro.
- Mejora de la gestión documental de informes e información de máquinas.
- Los avisos se generan automáticamente a partir de las recomendaciones de los analistas.

Una vez terminado el plan piloto y ver que era factible tener nuestra gestión del mantenimiento predictivo digitalizada, comenzamos la implementación de Power-MI en sus diferentes fases.

En la implementación nos suscribimos a Power-MI y empezamos a dar de alta a todos los analistas y al personal de mantenimiento y producción para que puedan ver el estado de los activos y su historial de diagnósticos. Empezamos con 400 activos hasta llegar paulatinamente a los 3000. Una de las claves de la digitalización es la implementación gradual. Igualmente, fuimos integrando más funcionalidades de Power-MI como las estadísticas de fallos, cálculo de ahorros por mantenimiento predictivo y análisis de causa raíz.

Al darle visibilidad al mantenimiento predictivo en la empresa, surgen sinergias que anteriormente eran impensables como la renegociación de nuestros contratos de seguros de maquinaria crítica ya que evidentemente estábamos disminuyendo la siniestralidad de los activos. De la misma manera fuimos capaces de demostrar el ahorro generado por mantenimiento predictivo de una forma documentada y auditable.

## La interconectividad

A pesar de los pasos dados, había partes de nuestros procedimientos que no habían sido automatizados: la transferencia automática de los avisos de mantenimiento desde Power-MI a SAP-PM.

Los proveedores de ambas plataformas de software siempre nos dijeron que la interconexión es posible dado que ambas tenían APIs para transferir avisos. No obstante, nunca llegamos a definir a qué esfuerzo y costo. Sobre la marcha nos dimos cuenta de que la integración debía ser un proyecto y no algo que se hace en pocos días.

Si bien tanto Power-MI como SAP-PM eran compatibles y aptas para conectar, el hecho de conectar un servicio en la nube con un software local en planta requiere algo que hasta entonces era ajeno al predictivo: la ciberseguridad.

El departamento de informática de Cosentino tiene lógicamente altos estándares de seguridad informática y el abrir un interfaz con un servicio en la nube conlleva implementar protocolos y métodos de autenticación entre otras obligaciones. Esto es un punto clave en todo proceso de digitalización. Siempre debemos ir de la mano de nuestros compañeros de TI para evitar sorpresas relacionadas con la ciberseguridad en el camino.

Después de conectar Power-MI con SAP PM completamos nuestros procesos de mantenimiento predictivo de forma automatizada. Las recomendaciones que hacen los analistas pasan automáticamente como avisos a SAP PM. Hemos agregado a nuestros proveedores de servicios a Power-MI lo que nos evita procesar información duplicada.

## Los próximos pasos en la transformación digital

Según nuestra hoja de ruta de transformación digital, en el 2022 arrancamos con monitorización online de maquinaria crítica. Ya hemos hecho el proceso de validación técnica de sensores online de vibraciones y de aceite. Comenzaremos con planes piloto de los sensores, pero ahora sí considerando desde el inicio la integración de las alarmas generadas a partir de los datos de sensores en Power-MI y SAP PM.

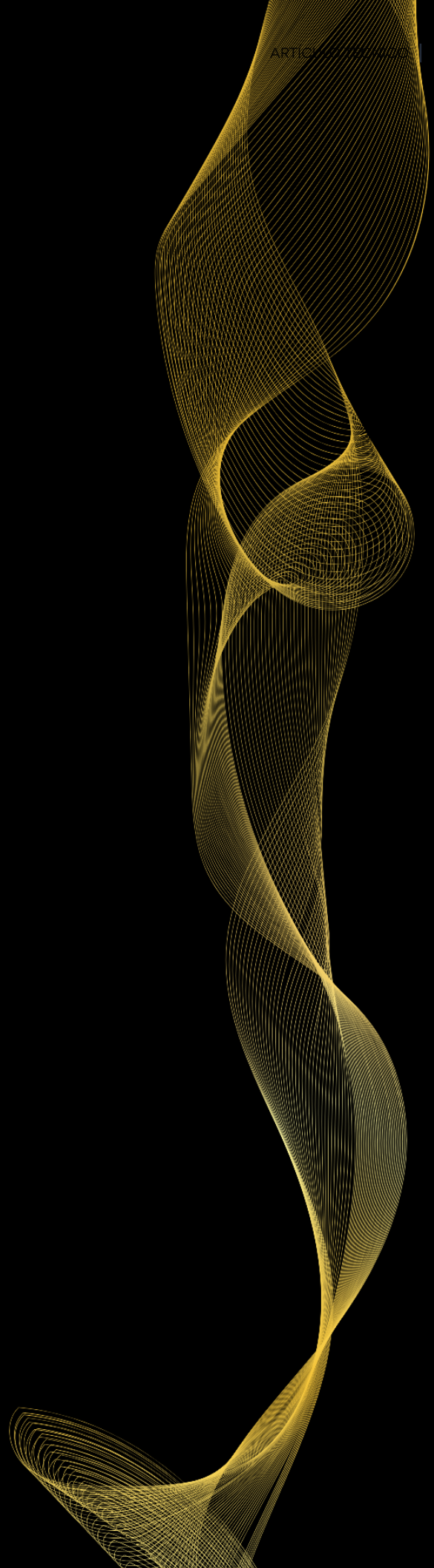
Tenemos ya una política de gobierno de datos de salud de activos bajo la cual definimos el uso que se les dan a las señales de sensores que gestionamos bajo protocolo OPC UA y Modbus, las alarmas que se generan irán a Power-MI mediante API, nuestros analistas comprueban la salud del activo en alarma y, si el analista lo determina, se hace un aviso de mantenimiento que automáticamente va mediante API a SAP PM.

En el mediano y largo plazo hay dos pasos importantes a darnel Machine Learning y el uso de la salud de nuestros activos para la toma de decisiones de inversiones de la empresa. Sinceramente, no tenemos claro qué tecnologías vamos a utilizar para llegar ahí, pero esa es nuestra visión.

## Aprendizajes útiles para departamentos de mantenimiento

A partir de la experiencia que hemos tenido, recomendaríamos a otros departamentos de mantenimiento, que van a iniciar procesos de digitalización, lo siguiente:

- Establecer objetivos alineados con la estrategia de la empresa.
- Iniciar digitalizando la gestión de lo que ya se hace, que probablemente sean también rutas con equipos portátiles.
- Cuando se evalúen herramientas de software, siempre involucrar al departamento de informática. La ciberseguridad es crítica.
- Una digitalización debe facilitar y automatizar nuestras tareas de monitorización y no complicarlas.
- La clave es ir siempre paso a paso.
- Se debe tener una estrategia de difusión interna de los resultados de mantenimiento predictivo que incluye ahorros, historial de fallos y casos de estudio.
- Adoptar tecnologías que sean fáciles de integrar, actualmente el protocolo de interfase más común son APIs Restful.





# Comprendiendo las economías de escala



**Raúl Quintana**  
Chief Technology Officer



Las economías de escala permiten que una empresa se expanda, al reducir los costes de producción, sabiendo que los productos son mayores que el coste de los insumos ya que el “coste medio por unidad de los productores” disminuye, mientras que las operaciones de la empresa aumentan. Cualquier empresa en expansión emplea las economías de escala a través de los procesos de compra, gestión, servicios financieros o de marketing, evidentemente, cuanto menores sean los costes de producción, mayores serán los beneficios, por lo que las economías de escala generan más beneficios ya que promueven el establecimiento de monopolios.

Las economías de escala permiten aumentar la productividad de determinadas empresas al tiempo que se reducen los costes de dicha productividad, por ejemplo, AT&T utiliza la misma infraestructura para cientos de teléfonos, lo que le permite a la empresa reducir las tarifas de servicio y, por tanto, crecer con más facilidad. Sin duda, tanto AT&T como los clientes se benefician de las economías de escala, aunque de esta manera se lleguen a frenar los mercados competitivos o, peor aún, que la producción en masa baje los precios y sacrifique la calidad. La industria de la comida rápida es un gran ejemplo de lo anterior: McDonald's y otras franquicias ofrecen productos poco saludables a cambio del precio más económico posible. De esta manera es como las industrias interpretan las economías de escala ya que cumplen la ley de la demanda para aumentar los beneficios y, así, tienen en cuenta que el factor más determinante de la demanda es el precio.

Los servicios públicos también se benefician de las economías de escala, de hecho, las «reservas masivas» en sectores energéticos y de gas pueden utilizar los mismos recursos para toda una zona. Así, las economías de escala contribuyen también a potenciar la eficiencia financiera; los servicios públicos son más fiables, cuando una sola empresa controla un área específica, por lo tanto, existe una mejor organización y un uso más competente de los recursos empleados. Además, las economías de escala han demostrado ser beneficiosas en las residencias de ancianos, en donde “el aumento del número de residentes reduce los costes por persona que necesita cuidados”. En consecuencia, el tamaño de las instalaciones aumenta, lo que permite que más personas logren acceder a un mejor servicio.

Del mismo modo, la industria de desarrollo de software, específicamente Microsoft, ha empleado las economías de escala para hacerse de la exclusividad de un mercado más rentable. Para lograr tal éxito, Microsoft ha comprado acciones en Google y Apple, lo que le ha permitido mejorar su infraestructura y poder operativo, mientras nombra, a su vez, a nuevos directivos y abogados que cuentan con una gran formación y experiencia en áreas de trabajo específicas. Microsoft también ha tenido contratos con diferentes bancos y ejerce una influencia considerable en el mercado de valores al invertir millones de dólares al año para promocionar sus productos

y, a la par, crear anuncios negativos contra la competencia, que en este caso, es Apple y Linux.

En resumen, las economías de escala pueden ser perjudiciales para el libre mercado y, al mismo tiempo, peligrosas para la competencia, aún así, aumentan los beneficios y permiten a las empresas expandirse. Las economías de escala pueden considerarse un objetivo primordial para cualquier empresa seria, ya que busca disminuir los costes de producción para llegar a más clientes.

### Bibliografía:

Economies of scale. (27 de febrero de 2022). En Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Economies\\_of\\_scale&oldid=1074356630](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Economies_of_scale&oldid=1074356630)

Idem.

Economy of scale. (16 de mayo de 2009). En Wikinvest. <http://www.wikinvest.co/wiki/Economiesofscale>

Farsi, M., Fetz, A., and Filippini, M. (2008). Economies of Scale and Scope in Multi-Utilities. *The Energy Journal*, 29(4), 123-143.

Hoess, V., Bachler, A., Ostermann, H., and Staudinger, R. (2009). Nursing Economics. *Pitman*, 27(1), 45.





# ENETOR

## Energy Engineering Simulators

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

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

**Nuestra visión es ser el simulador de ingeniería de proyectos de inversión de capital más confiable del mundo.**



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



# ¿Realiza los Mantenimientos Preventivos a sus Robots con personal interno? Entonces debe saber esto...

Diferentes marcas líderes en robótica recomiendan que se realice un Mantenimiento preventivo al menos cada 12 meses o dependiendo de un número de horas determinado que el Robot ha estado trabajando, esto para evitar que sufra algunos daños o paros de línea por no realizar dicho servicio.

Muchas empresas cuentan con personal interno encargado de realizar los mantenimientos a los Robots que tienen en planta, pero... ¿Cómo realizan estos mantenimientos, el procedimiento que usa es el adecuado, y realmente detectan posibles fallas que puedan presentar antes de que suceda un paro de línea?

El objetivo de realizar este tipo de Mantenimientos es como su nombre lo dice prevenir fallos en los robots, identificando, corrigiendo y hasta reemplazando piezas que no permitan al robot cumplir su objetivo o desempeñarse de manera correcta.

Por esto mismo le presentamos a continuación un listado de actividades que por lo regular no se realizan en Mantenimientos internos y que son de suma importancia para poder cumplir con éxito el servicio preventivo de estas máquinas.



**Nubia Vessi**  
Directora Comercial  
InnoAdap



**Victor Valdés**  
Ingeniero de Robótica  
InnoAdap



**Uzziel Fonseca**  
Gerente de Operaciones  
InnoAdap



## Pruebas de repetibilidad y Backlash.

Si no se atiende este procedimiento puede suceder lo siguiente:

- Un mal funcionamiento imperceptible en la repetibilidad de los ejes, puede derivar daños incrementales en sus reductores.
- Afectación en la precisión del proceso.
- No se detectarán daños en reductores en tiempo oportuno.



## Realizar una Validación de la correcta configuración del TCP.

Si no se realiza este procedimiento puede suceder lo siguiente:

- En procesos de soldadura puede presentar cordones de soldadura irregulares.
- Puede provocar dificultades al momento de retocar puntos grabados y/o modificar programación.



# 2

# 3

## Realizar una Validación de la correcta configuración de Payload.

Si no se realiza este procedimiento puede suceder lo siguiente:

- Provoca desgaste prematuro de reductores.
- Provoca una baja eficiencia en el Robot en cuanto a la velocidad del mismo y por ende tiempos de ciclo elevados.
- Puede provocar alarmas por falsa colisión.
- La herramienta del robot puede perder precisión.

## Pruebas de temperatura en servomotores.

Si no se realiza este procedimiento puede suceder lo siguiente:



# 4.

- No se detectará si hay un sobrecalentamiento en servomotores. Si esto sucede puede provocar que el aislante protector del devanado se dañe y provoque afectación en el mismo.





## Mala aplicación de grasa y/o aceite

Se deben aplicar a una presión correcta y con la herramienta adecuada.

Al término de la aplicación se debe liberar presión.

En caso de no hacer esto adecuadamente puede suceder lo siguiente:

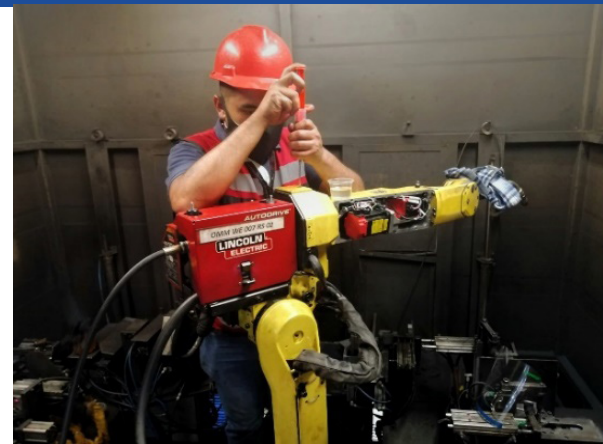
- Daños en retenes y sellos.
- Provoca fugas de grasa o aceite.
- Causa daños en reductores.

# 5.

# 6.

## Mala selección de grasa y/o aceite.

Se debe conocer perfectamente si el robot al que se le hará mantenimiento usa grasa y/o aceite. En caso de introducir un material por otro o de una marca que no es la recomendada, provocará daños graves en reductores.



## Monitoreo de perturbación en los ejes.

En caso de no atender esta actividad puede suceder lo siguiente:

- No detectar un consumo de corriente en cada servomotor fuera de los límites del rango aceptados.
- Un consumo de corriente fuera de los rangos admitidos provocará desgaste en reductores.

Un mantenimiento preventivo/predictivo permite identificar señales tempranas de un defecto para minimizar el riesgo de averías no programadas y reducir la necesidad de realizar mantenimiento correctivo.

Es muy común ver situaciones en las que se realiza un mantenimiento preventivo a un robot sin realizar todos los procedimientos que este requiere o hacerlos de una manera incorrecta.

# 7.



# Predyc

## Entrenamiento en línea para el sector industrial

Tlf / Whatsapp: +52 993 287 2551  
contacto@predictiva21.com



# ¡Capacítate cuando quieras y donde quieras!



## La Plataforma de Capacitación Industrial #1 en Latinoamérica te ofrece:

- 1 Cursos Asíncronos**  
(Capacitación personalizada  
24/7 al ritmo deseado)
- 2 Suscripción a todos los cursos**  
(Pago único anual con acceso  
a todos los cursos de Predyc)
- 3 Software Gestión de  
control de aprendizaje**
- 4 Capacitación en Vivo  
Personalizada (Adicional)**

## +50 Cursos para Ingenieros de la Industria



**Gestión de Paradas de Mantenimiento**  
Rodolfo Stonner




**Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento**  
José Contreras




**AutoCAD para Gestión de Proyectos**  
David Rivas




**Análisis de Lubricantes y Mantenimiento Basado en Condición**  
Diego Cabrera




**Modelos y Estrategias de Gestión de Inventarios**  
Alex Vidal




**Gestión de Mantenimiento en SAP**  
SEPPAT SAS





## Website

<https://predictiva21.com/>

<https://predyc.com/>

## Contacto de empresa

+52 993 287 2551

+52 993 234 5284

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

Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos

