

ÍNDICE

- 03** Editorial
- 04** Celebrando 50 Ediciones de Predictiva 21: Una historia de innovación y colaboración

Lisset Chávez
- 08** Entrevista: "Líderes de Mantenimiento"

Lisset Chávez
- 12** Reportaje: PRECONLUB 2024. Congreso Internacional de Mantenimiento Predictivo, Confiabilidad y Lubricación

Lisset Chávez
- 17** Mantenimiento y Gestión de Activos Físicos

Luis Felipe Sexto
- 24** Análisis Weibull: Ejemplos Básicos de como usarlo para los Análisis de Confiabilidad

Arquímedes Ferrera
- 29** Análisis RAM como Herramienta para la Gestión de Activos Físicos: Caso de Aplicación Industrial

Osberto Díaz
- 37** Gestión de Costos del Mantenimiento

Lourival Augusto Tavares
- 43** Taxonomía de Activos Físicos

Geovanny Solorzano Torres
- 56** ¿Varios tipos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)?

Autor: John Mitchell Moubray IV
Traducción: Carlos Mario Pérez Jaramillo
- 64** Hablemos de Mantenimiento Productivo Total

Enrique Dounce Villanueva
- 71** Análisis de Criticidad Integral de Activos

Edwin Gutiérrez, Miguel Agüero, Ivaneska Calixto
- 85** Maximizando la Efectividad de Equipos con OEE: Estrategias Avanzadas para la Industria 4.0

Leonardo Vieira
- 90** Calculando la cantidad óptima de repuestos de alta rotación

Edgar Fuenmayor
- 99** El Entrenamiento como Pilar de la Operación y Mantenimiento en la Industria

Víctor D. Manríquez
- 102** Introducción al Análisis de Fallas Múltiples

Arquímedes Ferrera
- 108** Certificaciones y Diplomas en Mantenimiento y Confiabilidad

Ernesto Primera
- 119** Caso de éxito ICAFLUOR O&M

Lisset Chávez
- 121** ¡Felicitaciones Predictiva21!

EDITORIAL



Andrés Enrique González Giraldo
 Editor y CEO de Predictiva21
 andres.gonzalez@predictiva21.com

Enrique Javier González Henríquez
 Fundador y Chairman de Predictiva21
 enrique.gonzalez@predictiva21.com

Lisset Chávez González
 Directora Editorial
 lisset.chavez@predictiva21.com

Alejandro José Godoy Rodríguez
 Director de Operaciones
 alejandro.godoy@predictiva21.com

Montserrat Sánchez González
 Diseñadora Gráfica
 montserrat.sanchez@predictiva21.com

Con gran entusiasmo y orgullo les damos la bienvenida a la **50ª edición de Predictiva21**, un hito significativo en nuestra trayectoria que celebra nuestro compromiso continuo con la excelencia en el mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos. Este logro no solo marca un momento especial para nosotros, sino que también es un reflejo del apoyo y la confianza que ustedes, nuestros lectores y colaboradores, han depositado en nosotros a lo largo de los años.

Desde nuestros inicios en 2013, **nuestra misión** ha sido clara: **proporcionar contenido de alta calidad que informe, inspire y capacite a los profesionales de nuestra industria**. A lo largo de estos años, hemos visto cómo Predictiva21 ha evolucionado y se ha convertido en una fuente de referencia, gracias al valioso aporte de expertos y profesionales de todo el mundo.

Para conmemorar este hito, hemos querido hacer algo especial en esta edición. Hemos entrevistado a varios líderes de mantenimiento, quienes son fieles lectores de Predictiva21, para que nos compartan los retos actuales a los que se enfrentan en sus respectivas áreas. Sus perspectivas no solo enriquecen esta edición, sino que también nos brindan una visión clara de los desafíos y oportunidades que tenemos por delante en el sector.

Además, en honor a estas 50 ediciones, estamos republicando algunos de los artículos más influyentes de nuestra historia. Estos artículos han dejado una huella significativa en nuestra revista y han proporcionado conocimientos valiosos que siguen siendo relevantes en la actualidad. Nos llena de orgullo ver cómo estos escritos han ayudado a nuestros lectores a lo largo de los años y esperamos que sigan siendo una fuente de inspiración y aprendizaje.

El corazón de **Predictiva21** siempre ha sido la creación de una comunidad sólida y colaborativa. Es esta comunidad la que nos inspira a seguir innovando y mejorando, a explorar nuevas fronteras y a proporcionar contenido que realmente haga una diferencia. Nuestro compromiso es seguir siendo una fuente confiable y actualizada de información, y para ello, estamos constantemente buscando nuevas formas de expandir nuestro alcance y mejorar nuestra oferta.

Aprovechamos esta oportunidad para agradecer a cada uno de ustedes por su apoyo incondicional. A nuestros colaboradores, por su dedicación y esfuerzo; a nuestros lectores, por su lealtad y confianza; y a todos aquellos que han contribuido de alguna manera a hacer de Predictiva21 lo que es hoy. Estamos emocionados por lo que el futuro nos depara y confiamos en que, con su apoyo, seguiremos alcanzando nuevas alturas.

Un abrazo grande.

Andrés González

Editor y CEO de Predictiva21

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

Celebrando

50 Ediciones **PREDICTIVA21**

Una Historia de Innovación y Colaboración



Nos encontramos en **un momento histórico para Predictiva21**, al cumplir **50 ediciones de nuestra revista**. Lo que comenzó como un proyecto personal se ha convertido en una referencia en el ámbito del mantenimiento, confiabilidad y la gestión de activos. Queremos compartir con nuestros lectores la fascinante historia de nuestros inicios y el recorrido que nos ha llevado hasta aquí.

El sueño de tener una revista técnica se gestó muchos años antes del nacimiento de Predictiva21. **En 2013**, Enrique González tuvo la suerte de encontrarse con Alimey Díaz, una amiga periodista con amplia experiencia en la edición de revistas, aunque en un ámbito diferente. Su experiencia y habilidades fueron la chispa que se necesitaba para poner en marcha este ambicioso proyecto.

Durante las primeras semanas, Enrique y Alimey intercambiaron ideas sobre los temas que cubriríamos, la frecuencia de publicación y cómo estructuraríamos la revista. Uno de los momentos más cruciales fue elegir el nombre. En una sesión de brainstorming en la que Alimey mencionó que las revistas más exitosas suelen tener un nombre



femenino y de una sola palabra, así nació **"Predictiva21"**, un nombre que encapsula nuestro enfoque en el mantenimiento predictivo en el siglo XXI.

Con el nombre decidido, pasamos al diseño gráfico. Dos diseñadores gráficos trabajaron en múltiples propuestas de logotipos, y tras una votación entre el personal en México, España y Venezuela, elegimos el logotipo que nos representa hasta hoy.

El proceso de conceptualización y preparación tomó alrededor de seis meses. En diciembre de 2013, lanzamos la primera edición de Predictiva21. Desde entonces, ha sido una experiencia enriquecedora, con un equipo diverso que ha contribuido a la revista, abarcando desde comunicación y diseño gráfico hasta ingeniería y mercadeo.



Al principio, éramos un equipo pequeño y sin experiencia previa en el sector. Sin embargo, nuestro entusiasmo y dedicación nos permitieron aprender y mejorar continuamente. Trasladamos nuestra sede de Venezuela a México, donde renovamos completamente nuestro equipo. Este nuevo grupo, compuesto por jóvenes talentosos, ha traído una perspectiva fresca y una comprensión profunda del mundo digital, lo que ha sido clave para nuestro crecimiento y éxito.



Predictiva21 no solo se ha mantenido fiel a sus objetivos de difusión del conocimiento, sino que también ha ampliado su oferta a la formación, colaborando con instructores e instituciones para impartir cursos tanto grabados, en línea y presenciales. Esta expansión ha sido posible gracias a un equipo directivo dinámico, que entiende perfectamente cómo operar en el mundo moderno.

Nuestra revista se ha transformado en una plataforma de formación además de un medio de comunicación. Muchos de nuestros colaboradores, reconocidos profesionales en el sector, ahora también forman parte de nuestra iniciativa de formación, compartiendo su conocimiento y experiencia con nuevos profesionales.



Una de las experiencias más gratificantes ha sido nuestra participación en congresos como media partner. Estos eventos nos han permitido conocer a personalidades destacadas en el campo de la confiabilidad y la gestión de activos, estableciendo conexiones valiosas y compartiendo conocimientos. Las entrevistas con estos expertos no solo han enriquecido nuestro contenido, sino que también han proporcionado una perspectiva única y valiosa para nuestros lectores.

Desde sus humildes comienzos, Predictiva21 ha crecido hasta convertirse en un medio de comunicación respetado y una plataforma educativa en el ámbito de la ingeniería de mantenimiento. Con la participación de profesionales de todo el mundo, hemos ampliado nuestra influencia y continuamos siendo una fuente confiable de información y formación.





Una combinación de mentes jóvenes y curiosas con la experiencia y conocimiento de profesionales más veteranos nos permite innovar constantemente y mantenernos a la vanguardia de la industria.

Nuestra misión es ofrecer contenidos de alta calidad que no solo informen, sino que también inspiren y motiven a nuestros lectores. Queremos ser un canal de comunicación bidireccional, escuchando a nuestros lectores y adaptándonos a sus necesidades e intereses.

A medida que celebramos nuestras 50 ediciones, miramos hacia el futuro con optimismo y entusiasmo. Continuaremos trabajando arduamente para mantener la excelencia en nuestros contenidos aprovechando al máximo las herramientas disponibles.

Gracias a todos nuestros lectores, colaboradores y equipo por ser parte de esta increíble jornada.

Predictiva21 sigue adelante con la firme convicción de que el conocimiento y la innovación son la clave para un futuro mejor en el mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos.

¡Por otras 50 ediciones más y mucho más!

 *Artículo por Lisset Chávez*

Líderes de Mantenimiento



 Entrevista por Lisset Chávez

Para nuestra edición especial, tenemos el honor de entrevistar a varios líderes destacados en el ámbito del mantenimiento, quienes, además de ser fieles lectores de Predictiva21, nos han brindado su invaluable perspectiva sobre los retos actuales que enfrentan en sus respectivas áreas. Sus experiencias y conocimientos no solo enriquecen esta edición, sino que también nos ofrecen una visión clara de los desafíos y oportunidades que se presentan en el sector de mantenimiento y confiabilidad. Acompáñenos a explorar sus historias y descubrir cómo están afrontando los obstáculos y aprovechando las oportunidades para mejorar continuamente sus operaciones.

¿Desde cuándo lees Predictiva21?

Carlos Lozano Cruz | Subdirector de ICA Fluor O&M - Desde hace dos años aproximadamente. Teníamos una necesidad para un proyecto de RCM, buscamos un soporte y en el equipo de Predictiva21 encontramos personal calificado. A partir de ahí formamos una relación profesional.

Roberto Carrillo | Jefe de Mantenimiento en L'Oréal - Tengo 1 año siguiendo la revista.

Carlos Aké López | Jefatura Ingeniería y Mantenimiento Productos de Harina S.A. de C.V. - Un año aproximadamente.

¿Qué aspectos de Predictiva21 encuentras más interesantes?

Cristina Pérez Ochoa | Project Manager de Confiabilidad y Mantenimiento Arca Continental - Los planes de capacitación, los diplomados, así como los temas de gestión de mantenimiento y confiabilidad.

Roberto Carrillo | Jefe de Mantenimiento en L'Oréal - Los artículos que dan tips para poder mejorar las gestiones de mantenimiento.

Christian Marcelo Vázquez De La Piedra | Jefe de Mantenimiento en Procesadora Torre Blanca SAC - Información estructurada de cada proceso indicando el paso a paso de cada gestión.

Francisco Ballesteros | Reliability Solutions Sales Leader Emerson - Predictiva21 realiza una tarea divulgativa de gran valor en la comunidad industrial. Para muchos profesionales las publicaciones técnicas como Predictiva21 son un excelente punto de información para conocer las últimas tendencias en fiabilidad industrial.

Entrevistados



Cristina Pérez Ochoa
Project Manager de Confiabilidad
y Mantenimiento Arca Continental



Roberto Carrillo
Jefe de Mantenimiento en L'Oréal



Carlos Aké López
Jefatura Ingeniería y Mantenimiento
Productos de Harina S.A. de C.V.



Carlos Lozano Cruz
Subdirector ICA Fluor O&M



Christian Marcelo Vázquez
Jefe de Mantenimiento en Procesadora Torre Blanca SAC



Francisco Ballesteros
Reliability Solutions Sales Leader
at Emerson

¿Cuáles son los principales retos que enfrentas actualmente en el área de Mantenimiento?

- Cristina Pérez Ochoa | Project Manager de Confiabilidad y Mantenimiento Arca Continental

Reducir los costos:

Es un desafío la gestión de adquisición de herramientas para el monitoreo y mantenimiento de equipos de última generación y estos equipos suelen ser los más críticos y de costos elevados.

Mejorar la confiabilidad:

Partimos de mantener la confiabilidad que ya se tiene pero con miras a mejorarla en base a la producción así como balancear el equipo de trabajo con perfiles de personal adecuado en los diferentes requerimientos de mantenimiento (mecánica, electricidad, electrónica, programación) el mantenimiento industrial también puede extender la vida útil de los equipos al mantener su estado de funcionamiento óptimo de manera regular y preventivo permite detectar defectos antes de que causen fallas y optimizar el rendimiento, garantizar la seguridad, cumplir con normas y regulaciones, así como preservar el valor de los activos.

En resumen, mantener en óptimas condiciones los siguientes criterios:

- » Control de costos
- » Coordinación de equipos de trabajo
- » Gestión de Activos
- » Mejorar la confiabilidad
- » Garantizar Seguridad
- » Digitalizar y automatizar los procesos
- » Explotar la data para prevenir y predecir fallas

Roberto Carrillo | Jefe de Mantenimiento en L'Oréal - Desplegar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo que nos ayuda a mejorar la disponibilidad de los equipos, pero buscando que estas actividades se vuelvan parte de la cultura de la gente de mantenimiento.

Christian Marcelo Vázquez De La Piedra Jefe de Mantenimiento en Procesadora Torre Blanca SAC - Los desafíos, reducir los costos, mejorar la confiabilidad, optimizar el rendimiento de los equipos, garantizar la seguridad, cumplir con normas y regulaciones, preservar el valor de los activos, seguridad y mantenimiento industrial.

Carlos Aké López | Jefatura Ingeniería y Mantenimiento Productos de Harina S.A. de C.V. - Cambio cultural ya que estamos implementado la metodología TPM.

¿Cuáles son las estrategias que estás desarrollando para enfrentarlos?

Cristina Pérez Ochoa | Project Manager de Confiabilidad y Mantenimiento Arca Continental - Tenemos diferentes estrategias específicas en base a los diferentes criterios que engloban el área de mantenimiento de una empresa una de ellas es el mapeo de los equipos con refacciones y componentes críticos para anticipar los paros de producción en caso de fallos y tener una planeación en base a los requerimientos de producción, así como robustecer la data que se concentra en los ERP que se manejan; así como es necesario tener una buena planeación para los mantenimientos preventivos, esto ayuda a reducir las pérdidas de ingresos causadas por los tiempos de inactividad no previstos. Llevar un control de las obsolescencias electrónicas de los activos. Y aplicar las más recientes tecnologías en base a la digitalización de ciertos procesos.

¿Cuáles son las últimas tendencias en tecnología que consideras más prometedoras para el futuro del mantenimiento?

Francisco Ballesteros | Reliability Solutions
Sales Leader Emerson

Fundamentalmente lo que estamos viendo es un cambio en la tecnología para que sea más accesible a cualquiera, independientemente de su preparación. Los sistemas que se diseñaban hace 30-40 años se dirigían exclusivamente a usuarios avanzados, mientras que los diseños actuales se diseñan para ser Plug&Play, mucho más sencillos de implementar y de operar. El resultado es un mejor retorno de las inversiones en tecnología al conseguirse una mejor aplicación de los sistemas implementados. También existe mayor oferta de servicios para complementar tanto el despliegue e implementación de nuevas tecnologías como de su operación a medio o largo plazo.

Dada tu experiencia, ¿cuáles son los retos más comunes que enfrentan las empresas al integrar nuevas tecnologías en sus operaciones existentes?

Francisco Ballesteros | Reliability Solutions
Sales Leader Emerson

Sin duda el mayor reto es poner de acuerdo a todos los actores involucrados en un proyecto de integración de tecnologías. Vale la pena dedicar un esfuerzo extra al diseño de la arquitectura del sistema para evitar problemas (comunicaciones, ciberseguridad...) que puedan limitar o retrasar la implementación de los proyectos. La selección de las tecnologías adecuadas es otro gran reto, pues la gran oferta disponible actualmente requiere un gran esfuerzo para evaluar las distintas opciones y optar por la que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto.

¿Qué consejo le darías a alguien que está empezando en el campo del Mantenimiento?

Cristina Pérez Ochoa | Project Manager de Confiabilidad y Mantenimiento Arca Continental.

- » Tomar las mejores prácticas de colegas para poder transmitir la necesidad del por qué y para qué es nuestra valiosa participación en las funciones y actividades ejecutadas dentro del área de mantenimiento.
- » Obtener un compromiso genuino con el área de mantenimiento en base al aprendizaje de nuevos retos en reparaciones y control de los mantenimientos preventivos y predictivos.
- » Utilizar soluciones digitales que permitan al personal obtener información respaldada y en tiempo real para detectar anomalías y hacer el mantenimiento en base a las condiciones del equipo y evitar invertir tiempo en chequeos rutinarios.
- » Adoptar una política de ahorro energético.

Christian Marcelo Vázquez De La Piedra Jefe de Mantenimiento en Procesadora Torre Blanca SAC - Que enfoquen las tareas del mantenimiento; en modos de fallo específico, identificar las habilidades del equipo de trabajo y direccionar donde se necesitan, involucrar a cada integrante del equipo desde los operadores.

Carlos Aké López | Jefatura Ingeniería y Mantenimiento Productos de Harina S.A. de C.V. - Siempre estar dispuesto aprender aprovechando el expertis de técnicos de área, ingenieros especialistas de mantenimiento aprovechando foros de discusión acerca del tema, inscribiéndose a cursos etc.



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)



Instructor: Andrés González
Cofundador de Predyc / Editor de Predictiva21

10
Agosto

Próximamente

En línea en vivo | 12 horas

Fecha de inicio

10 de Agosto – 24 de Agosto
3 Sesiones sabatinas de clase
9:00 am – 1:00 pm, Hora CDMX

Sesión 1 – 10 de Agosto
Sesión 2 – 17 de Agosto
Sesión 3 – 24 de Agosto

Objetivos

Al finalizar este curso, los participantes serán capaces de realizar un Análisis de Confiabilidad Centrado en la Mantenimiento (RCM) de manera eficiente, obteniendo como resultado un plan de mantenimiento.

- Revisaremos plantillas de RCM previamente elaboradas.
- Analizaremos errores comunes que pueden hacer que el proceso sea ineficiente y aprenderemos cómo evitarlos para asegurar que el RCM agregue verdadero valor.
- Examinaremos un informe técnico típico para aprender a concluir un proceso RCM

Contenido del curso

Módulo 1: Módulo 1: Cómo aplicar el RCM

Entendiendo la Metodología RCM

Propósitos del RCM (Planes de Mantenimiento Optimizados)

Normativa aplicable

Alcance del RCM

Equipo natural de trabajo

Información requerida

Como dar respuesta a las Las 7 preguntas del RCM en la plantilla utilizada

Módulo 2: Cómo optimizar el proceso de desarrollo del RCM

Comparativa de los diferentes enfoques para desarrollar un RCM de manera Eficiente.

Errores comunes al desarrollar un RCM

Resultados del ejercicio del RCM (Datashet de información, Plantilla RCM, Plan de Mantenimiento, Hoja de Ruta)

Uso de plantillas genéricas por familia de equipo como primera aproximación para el RCM

Revisión de una plantilla de instrumentos

A qué nivel aplicamos el RCM

Módulo 3: Entregables del RCM

Revisión de plantilla RCM de un Motor / Bomba

Revisión de un informe tipo de RCM

Cierre del curso y examen final

Inscripción

300 USD (pago por tarjeta o transferencia)
20% de descuento disponible hasta 10 días antes de la fecha de inicio.
10% de descuento adicional en la inscripción de 5 o mas participantes.

Contáctanos

 **(+52) 442 710 8072** ventas@predyc.com

¿Qué incluye?

- ✓ 6 meses de acceso al **software RCM-S** para desarrollo de RCM
- ✓ Acceso al **Curso online de 12 horas**
- ✓ **Certificado** emitido por Predictiva21



Recapitulando

PRECONLUB 2024

**Congreso Internacional de
Mantenimiento Predictivo,
Confiabilidad y Lubricación**



Reportaje por Lisset Chávez

El vibrante entorno industrial de León, Guanajuato, fue el escenario del esperado Congreso **PRECONLUB** los días 20 y 21 de junio de 2024, celebrado en el Hotel HS Hotsson. Este evento tiene como objetivo proporcionar a la comunidad de mantenimiento un foro donde se puedan obtener los últimos avances, nuevas metodologías y tecnologías en áreas cruciales como Mantenimiento 4.0, Confiabilidad, Gestión de Activos, Mantenimiento Predictivo y Monitoreo de Condición en Tiempo Real.

A diferencia de otros eventos similares, **PRECONLUB** nos ofrece una visión fresca e innovadora. Para lograrlo, se presentaron casos de éxito no solo por empresas proveedoras, sino también por usuarios de empresas líderes en sus segmentos. Además, como ya es costumbre se llevan a cabo mesas de negocio para que los asistentes podamos conocer más de cerca a cada una de las empresas organizadoras y así identificar áreas de oportunidad de negocio de una manera más directa.

El congreso comenzó con una cálida bienvenida por José Páramo, Presidente de GRUPO TECHGNOSIS. Su discurso inspirador preparó el escenario para dos días de intensa colaboración y aprendizaje. El Ingeniero Páramo una vez más nos demuestra la importancia de este encuentro como una gran oportunidad para conectar y hacer networking en el ámbito industrial.

Sin duda alguna **PRECONLUB** se ha convertido en un punto de referencia para los profesionales del sector, ofreciendo una plataforma única para el intercambio de conocimientos y la creación de redes.



[Día 1]: 20 de junio

La jornada comenzó con la recepción de asistentes de 8:00 a 9:30. Tras la bienvenida de José Páramo, quien presentó la "Gestión Tribológica de Activos: certificación RCT® de planta". A las 10:30, Christopher Aburto de TRACTIAN habló sobre "Mantenimiento Asistido por IA", seguido de una sesión de networking que permitió a los asistentes iniciar varias conexiones profesionales.

A las 11:45, Edwin Guzmán de ACTIVO EAM presentó "Hackeando el juego del mantenimiento: impulsa la disponibilidad con un enfoque a proceso". Luego, Pedro Cervantes del Instituto Tecnológico ROSHFRANS expuso sobre "Confiabilidad con las grasas de Sulfonato de Calcio". Jonathan Cruz y Eduardo Guerrero de KLÜBER discutieron sobre "Lubricación inteligente: Potenciando la Eficiencia Energética de tus Reductores" antes del almuerzo.

Después del almuerzo, Gerardo Ruiz de LUBRIMASTER habló sobre el "Impacto de la limpieza en los Sistemas de Lubricación". Gloria Urizar de ALL-TEST Pro presentó un caso de éxito titulado "Impacto Energético y Económico en motor de 25 años de operación - MCATM". Jerardo Martínez de ConfiabilidadMX discutió sobre "Rodamientos en tiempo extra, opciones por hacer".

Gualter Sampaio de ENGING presentó "Soluciones innovadoras para mantenimiento predictivo de máquinas eléctricas", seguido por otra sesión de networking que brindó más oportunidades para establecer contactos valiosos. La tarde continuó con Álex Andrés y Alejandro Martín de LUMAR QUÍMICA hablando sobre "El Futuro de los Lubricantes: ventajas y aplicaciones emergentes de las PAO". Andrés Gutiérrez de TOTALENERGIES discutió "Ahorro de energía y sostenibilidad usando lubricantes sintéticos tipo PAO".

Marcos Trindade de PAMAS presentó el "Contador automático de partículas: una herramienta clave para el control del estado del aceite". César Arroyo de SPI habló sobre "Monitoreo en continuo en Industria 4.0", y Darío Agudelo de KOEHLER INSTRUMENT cerró el día con "Análisis tribológicos de laboratorio bajo Normas ASTM".



[Día 2]: 21 de junio

La segunda jornada comenzó con una presentación de Teresa Romero de WIRAM sobre "Estrategia efectiva de solución de fallas industriales". Guillermo Morán de Predictiva21 discutió sobre las "Competencias y Conocimientos Esenciales para los Integrantes del Departamento de Mantenimiento alineados a la EN - 15628". Fabián Mendoza de FRACTTAL presentó "Transformación Digital en la Gestión de Mantenimiento: Desafíos y Oportunidades".

Manuel Torres de ABB habló sobre "IIoT 4.0: La mejor combinación para la transformación Digital", seguido por Daniel Ríos de ROSHFRANS discutiendo "Economía circular y confiabilidad para equipos dinámicos". La mañana terminó con una sesión de networking, permitiendo a los participantes fortalecer sus redes de contactos y explorar nuevas oportunidades de colaboración.

David R González Mayorga de DOMINION presentó "El mantenimiento de precisión y sus 4 pilares". Carlos Montero de REPSOL habló sobre la "Importancia del monitoreo de aceite en servicio", y Roberto Villegas de ZERTUCHE/PARKER cerró la mañana con "Más allá de la limpieza: La Calidad ISO4406 y su mejor aliado el TPM".

Después del almuerzo, Omar Bautista de SISTEPLANT habló sobre "Mantenimiento dentro de la trazabilidad del proceso productivo". Gerardo González de CLENSA presentó "El círculo de la confiabilidad". Tomás Belmudes de MAPER discutió "Potencia tu inversión en Monitoreo de Condición: Maximizando el ROI en Mantenimiento Predictivo", seguido por otra sesión de networking.

Diego Silva de SCHUTZ habló sobre la "Optimización del desempeño de turbinas: La importancia del aceite adecuado", y David Zamora también de SCHUTZ discutió "Tecnología diferenciada en aceites hidráulicos de alto desempeño". Dante Flores y Olga Cervantes de ANTON PAAR presentaron "Tecnologías de medición de viscosidad, oxidación y nitración en lubricantes".

Roger Santillán de OPCO presentó "Revolucionando las soluciones de mantenimiento de transportadores, aprovechando la tecnología de visión basada en el análisis de alto nivel con capacidades de aprendizaje automático". Enrique Barrios de BACEMEX cerró el evento con "Aplicación de la tecnología NFC en el control de la lubricación con grasa". La jornada concluyó con la entrega de premios y la clausura del evento.

PRECONLUB 2024 fue un éxito rotundo, proporcionando una plataforma única para el intercambio de conocimientos y la creación de redes en el ámbito del mantenimiento industrial. Este congreso no solo nos permitió a los asistentes actualizarnos sobre las últimas tendencias y tecnologías, sino que también fomentó conexiones significativas que seguramente impulsarán futuras colaboraciones y avances en la industria.

¡Nos vemos en 2025!

Hemos desarrollado

Planes de capacitación Basados en Perfiles Técnicos



Capacitación Técnica Para departamentos de Mantenimiento

Entrenamiento personalizado para Gerentes, Técnicos
y Líderes de equipos de Mantenimiento



Basado en las recomendaciones
de estándares como BS EN 15628



¿Cómo se ven nuestros Planes de Capacitación?



Plan de capacitación para:

Supervisor de mantenimiento

14 cursos +100 horas

Objetivos:

Aseguramiento de una correcta ejecución vertical del Mantenimiento

Dirección y motivación del personal subordinado en términos técnicos y disciplinarios. Evaluación del desempeño del personal. Contribución e implementación del modelo de trabajo para el seguimiento de herramienta-tiempo/acción- tiempo.

Contribuir en el control y estimación para las decisiones económicas

Planificar el presupuesto en colaboración con el gerente de mantenimiento. Monitorización de costes en los siguientes campos de actividad: servicios internos, servicios contratados, materiales y materiales almacenados, asegurando el control de las ejecuciones.

Asegurar la implementación de la estrategia de Mantenimiento

Implementación de una estrategia de recursos predefinida, tales como internalización/externalización. Contribución a la selección de la estrategia apropiada de mantenimiento. Implementación de la estrategia de mantenimiento.

Pilares de formación

Cursos de Confiabilidad

Introducción a la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

Taxonomía de acuerdo a ISO 14224

Análisis de Criticidad de Equipos

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

Análisis Causa Raíz

Fundamentos de Análisis Económico en Proyectos de Confiabilidad

Cursos de Gestión de Mantenimiento

Estrategias de Mantenimiento

Proceso de Gestión de Mantenimiento

Mantenimiento y Gestión de Activos

Venta del Valor Generado en la Gestión de Mantenimiento

Análisis Solución de Problemas y Toma de Decisiones

Cursos de Mantenimiento Predictivo

Técnicas de Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

Solicita más información

(+52) 442 710 8072 | ventas@predyc.com

Mantenimiento y Gestión de Activos Físicos



Autor: Luis Felipe Sexto
Radical Management, Fundador, consultor y docente.



Artículo extraído de
Edición No. 12

¿Qué plantea el estándar europeo EN 16646:2014? ¿Cuáles son sus aspectos relevantes? ¿Qué orienta acerca de la relación entre la gestión de activos físicos y gestión de mantenimiento? ¿Cuál es su importancia? ¿Quién intentó oponerse a su aprobación? ¿Qué otras normas vigentes pueden contribuir a orientar la relación entre mantenimiento y gestión de activos? ... Las respuestas a estas y otras posibles interrogantes acerca del tema, las encontrará en el desarrollo de este artículo.

La Norma Europea, EN 16646:2014 Maintenance — Maintenance within physical asset management, aprobada el 8 de noviembre de 2014, por el Comité Técnico CEN/TC 319 “Maintenance” del Comité Europeo de Normalización (CEN) —uno de los Órganos Regionales de Normalización más importantes del mundo. Entre sus producciones exhibe decenas de otras normas vigentes acerca del mantenimiento y la gestión de activos. Algunas de estos estándares han sido considerados e integrados en una nueva norma para aclarar el rol del mantenimiento en diferentes fases del ciclo de vida como parte del sistema de gestión de activos físicos.

Creación de la EN 16646

La novedad normativa europea, clasificada como EN16646, consiste en una guía y recomendaciones acerca del establecimiento del desempeño del mantenimiento en la gestión de activos físicos basándose en la concurrencia de otras trece normas europeas explícitamente relacionadas (ver figura 1) con la confiabilidad, la obsolescencia, la mantenibilidad, el costo del ciclo de vida, los Indicadores claves de desempeño, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el soporte logístico, la mantenibilidad durante el diseño y desarrollo, las pruebas y el diagnóstico técnico.

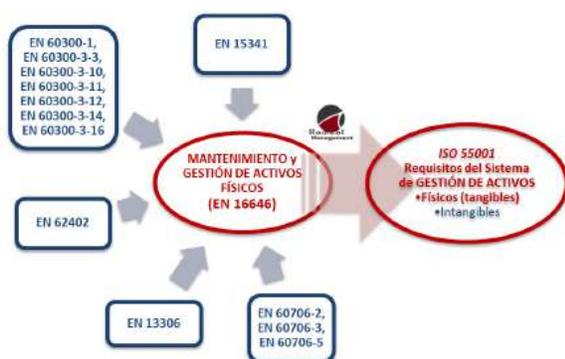


Figura 1. Normas Europeas que concurren y relacionan el mantenimiento con la gestión de activos físicos [Cortesía Radical Management, 2014].

En particular, la EN 16646 se ocupa de establecer el rol del mantenimiento dentro de la empresa en relación con la gestión de activos físicos, y esto lo realiza buscando alinearse y dar sentido al rol del mantenimiento interpretando la familia de normas internacionales de requisitos para la gestión de activos ISO 55000:2014. Las versiones oficiales están en Inglés, francés y alemán, aunque una versión en español aprobada de la norma europea ya está disponible, desde el pasado junio de 2015, en el sitio de AENOR (que es miembro del CEN).

El European Committee for Standardization (CEN) está compuesto por miembros que son los organismos nacionales de normalización de Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y Reino Unido. *Ver figura 2.*

Los miembros del CEN están obligados a cumplir con las regulaciones que estipulan las condiciones para la concesión de este Estándar Europeo al rango de norma nacional sin ninguna alteración en cada uno de los países de la Unión Europea. La abrumadora mayoría de los miembros del CEN adoptaron la norma inmediata y favorablemente.



Figura 2. Los organismos de normalización, de los países de la Unión Europea, son miembros del European Committee for Standardization (CEN) y están obligados a adoptar las normas emitidas por este, retirando cualquier norma nacional que contradiga o aborde el mismo tema [cortesía, Radical Management 2015].

El Reino Unido (British Standards Institution, BSI), miembro del CEN, por las regulaciones de la Unión, adoptó como norma nacional la BS EN 16646, el 30 de abril de 2015. Sin embargo, el Comité Técnico “DS/1 Dependability”, representante del Reino Unido, durante las fases del desarrollo de la norma votó contra la aprobación aduciendo débiles argumentos que pueden ser consultados en su prefacio a la norma nacional BS EN 16646. Al parecer, la oposición a la norma europea por parte del mencionado Comité fue, en extremo, un fútil intento por favorecer al documento retirado PAS55 que tenía aspiraciones de ser norma británica y nunca lo fue, en primer lugar por sus evidentes limitaciones de contenido y forma (20 páginas de fotos irrelevantes y sólo 11 de texto propuesto y no consensado para ser norma británica). En segundo lugar, por la aprobación de la EN16646, iniciativa del órgano europeo de normalización, que recuerda cuantas normas existían ya vigentes y apenas conocidas, relacionadas con el tema. Recordemos que los activos siempre se han gestionado en general, y mantenidos en particular, de alguna manera. Si hay empresa, hay activos... y si hay activos han de ser gestionados (mantenimiento incluido) siempre y en todas partes.

Extrañamente, la Publicly Available Specification 55, retirada definitivamente en enero de 2015 —continuidad y síntesis caricaturesca de las antiguas, acertadas y ya sustituidas normas británicas, de la serie BS 3843 acerca de la Terotecología— no recibió nunca la justa crítica que por diez años habría necesitado por parte de este u otro Comité británico —Lo cierto es que el DS/1 se opuso explícita y vanamente al desarrollo y aprobación del hoy vigente Estándar Europeo EN 16646 (40 páginas coherentes de texto, tablas, diagramas y bibliografía completamente soportada por normas reconocidas por el órgano regional de estandarización).

Gestión de activos y gestión de mantenimiento — Familia ISO 55000 y en 16646

Existen varias ausencias y omisiones relevantes en la actual versión de la familia ISO 55000: 2014 sobre gestión de activos, que por si mismas necesitarían de análisis y corrección y que serán objeto de otro artículo. Como es característico en este tipo de norma general, se usa terminología genérica y orienta sus requisitos a la gestión de todos los activos de la empresa (fijos, tangibles e intangibles).

Uno de estos aspectos vitales que frena la implementación y la interpretación de ISO 55001 es la omisión de la referencia a la gestión del mantenimiento y la confiabilidad. Esta cuestión no aporta claridad acerca de cuál es la influencia o cómo desarrollar el mantenimiento y la confiabilidad durante las diferentes fases del ciclo de vida de los activos para poder contribuir a la gestión de activos físicos. Tal ausencia de criterio en la norma internacional ha contribuido a crear la confusión que hace pensar a muchos que se trata del mismo perro con diferente collar. Es decir, que gestión de activos es gestión de mantenimiento...

La Norma Europea EN 16646 nos recuerda, sin embargo, que gestión de mantenimiento NO ES sinónimo de gestión de activos físicos, sino que “El sistema de gestión de mantenimiento es parte de un sistema de gestión de activos físicos”, y por ello le busca la relación para que mantenimiento, en particular, pueda tributar oportunamente al sistema de gestión de activos de la empresa.

Conviene aclarar de paso, que en ningún caso se puede afirmar que el sistema de gestión de activos se limita a los procesos de mantenimiento. De igual modo, hay que decir que el resto de las funciones empresariales deberán definir también su rol tan claramente como lo esta haciendo ahora el mantenimiento con la norma europea objeto de análisis, ya que la gestión de activos empresariales no se soporta únicamente, ni mucho menos, desde el mantenimiento.

El desafío de la norma ISO 55001 (certificable por alguna empresa acreditada, acorde con la norma ISO 17021-1 y 5, por Órgano de acreditación, reconocido y competente) es la de crear el sistema de gestión de activos de la empresa, donde mantenimiento es una de las áreas involucradas pero no la única. Recordemos que la familia de normas ISO 55000 esta concebida para toda la empresa, como sistema, y no para una parte de la empresa. En ese sentido, la EN 16646 concurre en la faena de buscar aterrizar la gestión de activos físicos, específicamente, como marco para las actividades y procesos de mantenimiento en particular los representados en la figura 3, para las diferentes fases del ciclo de vida de los activos.



Figura 3. Sistema de procesos de mantenimiento [Cortesía Radical Management, 2014].

La norma europea EN 16646:2014 es voluntaria y NO ES CERTIFICABLE a nivel internacional como sería el caso de la ISO 55001 de Requisitos del sistema de gestión de activos. La importancia de esta EN 16646:2014 es que coloca y le da un rol al mantenimiento dentro de la complejidad transversal que representa la gestión de activos físicos como parte de la gestión de activos empresariales, que como ya conocemos los activos pueden ser tangibles e intangibles y se contradistinguen porque “tienen valor real o potencial para la organización”.

Ahora bien, ¿y que sería “tener valor real o potencial”? ¿Cuando se habla de “valor” a que nos referimos concretamente? El valor, según ISO 55000, puede ser tangible o intangible, financiero y no financiero. Será necesario definir el valor de acuerdo a los objetivos de la organización y con el concurso de las partes interesadas en las empresa.

De acuerdo con la definición dada en la Norma Europea EN 1325-1, el valor queda como “la relación entre la satisfacción de necesidades y los recursos usados para tal propósito”. Aclara que el valor es relativo y puede ser visto en modo diferente por distintas partes interesadas y en distintas situaciones. Necesidades de la organización expresadas en la EN 16646 son:

- Adquirir o crear activos físicos apropiados a los objetivos y actividad de la organización.
- Operar los activos para optimizar el valor creado para la organización.
- Mantener los activos para optimizar el valor creado con la operación para la organización.
- Modernización de los activos para obtener mayor valor durante el ciclo de vida total del activo.
- Retiro o dismisión de los activos cuando finaliza la vida útil.
- Existencia de eficaces procesos de soporte (humano, informativo, logístico).

Para un conocimiento profundo acerca del valor y su gestión sugiero al lector consultar la Norma Europea EN 12973, Value Management.

La EN 16646 aborda cómo el mantenimiento se desarrolla desde sus procesos de creación de estrategia y objetivos, planificación, gestión de recursos, implementación de planes y seguimiento y mejora. Todo esto en relación con diferentes fases del ciclo de vida del activo físico, definidas en dicha norma europea, como se ilustra en la figura 4.



Figura 4. Fases del ciclo de vida que se relacionan con mantenimiento del activo, según EN 16646 [cortesía Radical Management, 2014].

La EN 16646 refuerza la idea que la gestión de activos presenta diferentes dimensiones que requieren competencias y un enfoque sistémico único. Estas dimensiones incluyen los procesos para transformar el contexto de la organización. Procesos de gestión de activos físicos para producir la estrategia y los planes de mantenimiento. Procesos para optimizar las diferentes actividades durante el ciclo de vida. Procesos para gestionar la incertidumbre asociada (risk management) a la influencia de los factores internos y externos a la organización que influyen en los resultados de la gestión de activos físicos.

Llevar a la práctica lo anterior, apunta el estándar, demanda la clara definición de responsabilidades y autoridades en la alta y media dirección y en todas las funciones claves de la organización. Y, naturalmente, el desarrollo de las competencias particulares en el personal en función del nivel que cubra en el sistema de gestión de activos físicos de la empresa.

Los cuatro factores vitales para definir las actividades de un sistema de gestión de activos físicos y de gestión de mantenimiento en cualquier organización y basados en un análisis estratégico, según la EN16646 son: las características y objetivos de la empresa, el mercado, la comunidad y la tecnología (figura 5).

No es casual que se habló de “estrategia” y de “análisis estratégico” como punto de partida y luego de “políticas”. Ya que la estratégica proyecta a la empresa o al proceso mientras que las políticas definen el cómo ejecutar, ¿qué?... la estrategia. La inversión de esta lógica del management (políticas determinando estrategias) es uno de los defectos conceptuales relevantes arrastrados por la ISO 55000 que hay que considerar para su correcta interpretación y evitar así la perogrullada durante una eventual implementación.

Según la norma europea que nos ocupa, la gestión de activos físicos no se centran en el propio activo, sino en el valor que el activo puede proporcionar a la organización. La gestión de mantenimiento, en cambio, se refiere a la garantía de funcionalidad de los activos en su contexto organizacional conforme a requisitos, evaluados con los Indicadores de desempeño (generales y específicos), para la gestión de activos físicos, véase la figura 5. Ejemplo de requisitos pueden ser: disponibilidad, fiabilidad, durabilidad, seguridad, eficiencia, integridad, capacidad, sostenibilidad, productividad... y otros que se mencionan en el estándar.

Lógicamente, un sistema de gestión de activos físicos no se limita, ni es simplemente un sistema informativo (CMMS, EAM), para monitorear los indicadores de desempeño (KPI). También incluyen la estructura de la organización, los roles, las responsabilidades, los procesos de negocio, los planes, las características de operación y de mercado.

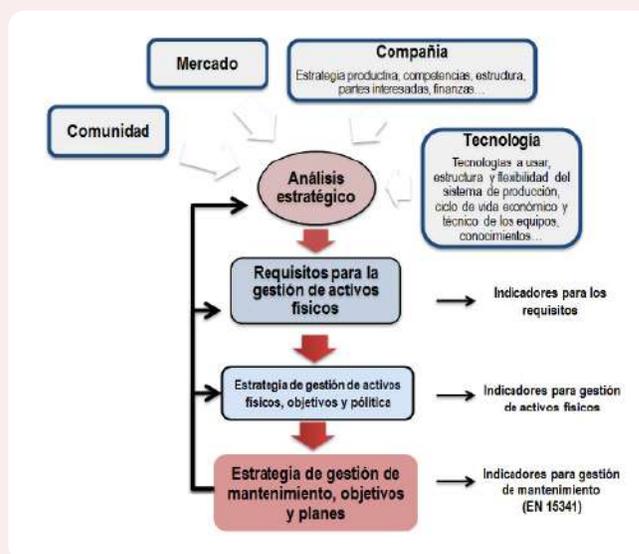


Figura 5. Factores claves para definir un sistema de gestión de activos físicos y un sistema de mantenimiento. Ref. EN16646 [cortesía Radical Management, 2014].

Indicadores generales y específicos de desempeño

Con el objetivo de facilitar el control y la mejora derivados del análisis estratégico como representado en la precedente figura 5, los requisitos de la gestión de activos pueden y deben ser interpretados a través de los Indicadores generales de desempeño (KPI). Siguiendo eficazmente alguno de los KPI generales sugeridos por la norma, es posible evitar o mitigar riesgos asociados a la falta de visión panorámica sobre la gestión de activos; el comportamiento de “isla” por parte de algunas áreas funcionales en la empresa; decisiones inadecuadas acerca de reemplazos y modernización; decisiones basadas en el precio de compra y no en el costo del ciclo de vida; estimaciones fuera de lugar de vida útil desde el enfoque financiero; criterios y decisiones financieras inadecuadas con respecto a inversiones y mantenimiento de activos...

La figura 6 muestra algunos de los indicadores generales de desempeño expuestos en la EN 16646 y que pueden ser usados para diferentes propósitos y por diferentes niveles organizativos.

La norma enfatiza en la necesidad que la dirección empresarial comunique los resultados de los KPIs y objetivos a TODAS las funciones de la organización, incluyendo naturalmente al mantenimiento, lo cual presupone que dichas funciones pueden influir en los objetivos.

Para planificar y ejecutar las acciones de gestión de activos cumpliendo con los requerimientos establecidos como necesarios, la organización definirá Indicadores específicos para gestionar el rendimiento del portafolio o cartera de activos, los sistemas de activos o los activos individuales —tal y como propone la norma jerarquizar los activos. Ejemplos de Indicadores específicos de mantenimiento pueden ser consultados en la Norma Europea EN 15341, teniendo en cuenta que es posible proponer otros indicadores particulares.

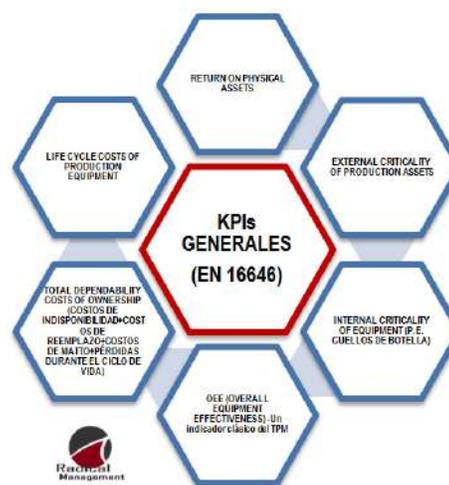


Figura 6. Algunos Indicadores Generales de Desempeño para la gestión de activos físicos. Ref. EN16646 [cortesía Radical Management, 2014].

Conclusiones

En síntesis podemos concluir lo siguiente:

- La Norma Europea EN 16646 introduce la gestión de activos físicos como marco para las actividades de mantenimiento y es el único estándar hasta el momento que trata el tema explícita y estructuradamente.
- También enfoca la relación entre el plan estratégico organizacional y el sistema de gestión de mantenimiento.
- Además, describe las interrelaciones entre el sistema de procesos de mantenimiento y todos los demás procesos de gestión de activos físicos (que también identifica).
- Relaciona y define las diferentes fases del ciclo de vida de activos con la “gestión de activos” y la gestión de mantenimiento de dichos activos.
- Propone una serie de Indicadores Claves de Desempeño tanto generales como específicos.
- Establece las competencias organizacionales que deberá tener el personal en dependencia del nivel del sistema de gestión de activos físicos donde trabaje (portafolio de activos, sistema de activos o activos simples).
- Relaciona Mantenimiento y Gestión de Activos Físicos aportando recomendaciones y guía para interpretar desde el mantenimiento los requisitos de Gestión de Activos de la familia ISO 55000, basándose en los presupuestos de trece normas de referencia sobre el tema.

DIPLOMADO GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

3ra Edición 2024

Fecha de inicio: **3 de Agosto de 2024**

Duración: **19 semanas**

Sesiones: **Clases sabatinas de 9:00 AM a 1:00 PM (CDMX)**

Objetivo

Formar profesionales altamente capacitados en las metodologías y prácticas clave de la gestión de mantenimiento, con un enfoque en la mejora continua y la optimización de recursos. Los participantes adquirirán habilidades para implementar estrategias efectivas de mantenimiento, gestionar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, y utilizar herramientas de diagnóstico para maximizar la eficiencia operativa y contribuir al logro de los objetivos estratégicos y financieros de sus organizaciones.

¿Qué incluye?



- ✓ Certificado de acreditación.
- ✓ Soporte de instructores.

	Materia	Instructor	Semana		Total de horas
			#	Fecha	
1	Introducción al Mantenimiento	Lourival Tavares	1	3/08/24	4
2	Estrategias de Mantenimiento	Tibaldo Díaz	2	10/08/24	4
3	Diagnóstico de la Gestión de Mantenimiento	Guillermo Morán	3	17/08/24	4
4	Gestión de Talento Organizacional y Equipo de Excelencia	Gyogi Mitsuta	4	24/08/24	4
5	Introducción a la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad	Andrés González	5	31/08/24	4
6	Proceso de Gestión de Mantenimiento	Gyogi Mitsuta	6	07/09/24	8
			7	14/09/24	
7	Planificación y Programación de Mantenimiento	José Contreras	8	21/09/24	8
			9	28/09/24	
8	Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento	José Contreras	10	05/10/24	8
			11	12/10/24	
9	Gestión de Paradas de Mantenimiento	Rodolfo Stonner	12	19/10/24	8
			13	26/10/24	
10	Gestión de Mantenimiento Basado en Condición según ISO 17359	David Faro	14	02/11/24	4
11	Fundamentos de Gestión e Indicadores de Mantenimiento	José Contreras	15	09/11/24	8
			16	16/11/24	
12	Venta de Valor y Beneficios (Aporte de Valor)	David Faro	17	23/11/24	4
13	Gestión de Activos en el Mantenimiento	Gyogi Mitsuta	18	30/11/24	4
Preparación y presentación del trabajo final		---	19	07/12/24	4



Análisis Weibull: Ejemplos Básicos de como usarlo para los Análisis de Confiabilidad



Autor: Arquimedes Ferrera Martínez
Senior Reliability Engineer



Artículo extraído de
Edición No. 30

Introducción

El **análisis de Weibull** es la técnica mayormente escogida para estimar una probabilidad basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull, descubierta por el sueco *Walodi Weibull*, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951.

El **modelo Weibull** tiene una interesante propiedad ligada a que según sean los valores de, puede presentar tasas de fallo crecientes, decrecientes o constantes. Así, cuando $\beta=1$ el modelo Weibull se convierte en exponencial y presenta tasa de fallos constante. El modelo exponencial es por tanto un caso particular del modelo Weibull, cuando $\beta>1$ el modelo tiene tasa de falla creciente y cuando $\beta<1$ presenta tasa de falla decreciente. El modelo Weibull es muy versátil y en la práctica es uno de los más utilizados.

El objetivo de este artículo es presentar una serie de ejemplos prácticos basada en mi concepto de compartir el conocimiento, que permitan dar una visión general del uso del análisis Weibull.

1. Función de Densidad de Probabilidad

No está contemplado dar un curso de estadística, sin embargo, hay conceptos básicos que tenemos que tener claros para el desarrollo que cualquier análisis probabilístico. Como por ejemplo, qué es la Función de Densidad de Probabilidad; esta “caracteriza del comportamiento de una población en tanto especifica la posibilidad relativa de que una variable aleatoria continua X tome un valor cercano a x.1”.

La función de Densidad ($f(t)$) es la Función de Densidad de Probabilidad (PDF) y la Función de Distribución, estas funciones sirven para estudiar los datos de duración. La PDF es a menudo calculada a partir de, en nuestro caso, datos de fallas reales.

$F(t)$ es la función de distribución acumulada (CDF). Es el área bajo la curva $f(t)$ de 0 a t. (algunas veces llamada la **no confiabilidad o probabilidad de falla acumulada**).

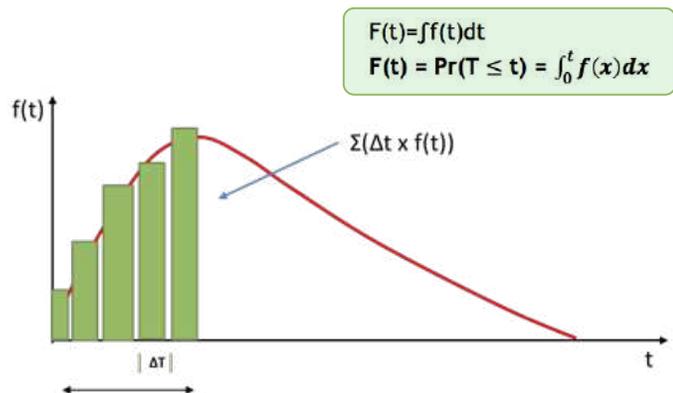


Figura 1. $F(t)$ es la función de distribución acumulada (CDF). Fuente: El autor.

Para el caso de análisis Weibull las funciones son las siguientes:

- Distribución de densidad de probabilidad (PDF)³

$$f(t) = \left(\frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \right) e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

- Distribución de probabilidad acumulada (CDF)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

- Parámetro α
- Parámetro β

$$\hat{\alpha} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i^\beta}{n} \right)^{1/\beta} \quad (3) \quad \frac{\sum_{i=1}^n [X_i^\beta \ln(t_i)]}{\sum_{i=1}^n X_i^\beta} - \frac{1}{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) \quad (4)$$

Donde:

t – es la variable de tiempo.

β – es el parámetro de forma.

η – es el parámetro de escala o característica de vida.

La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal².

Ejemplo Básico de un Análisis Weibull

Supongamos que usted quiere entrar al negocio de ventas en mercado electrónico, realizó una investigación de los 10 productos que más se venden y escogió el producto número dos (2), “Accesorios para teléfonos móviles”, según los “Blogs de Shopify”, para iniciarse en el mundo de las ventas online. Ahora la pregunta del millón: ¿Cuánto tengo que comprar o invertir para revender y poder generar utilidad? En vista de su nulo conocimiento de este negocio, se consigue un socio capitalista que está empapado del mercado y este le dice, una vez que ya calculó el precio de venta que quiere, que usted compre solamente los suficientes “Accesorios para teléfonos móviles” de tal manera que, una vez terminadas las ventas, solo le queden sin vender aproximadamente el 10% de estos accesorios. Usted, como buen ingeniero de mantenimiento y conocedor de estadística, decide hacer un ANÁLISIS DE WEIBULL (dado que a nosotros los ingenieros nos gusta complicarnos la vida y “si lo puedes hacer difícil, ¿Por qué hacerlo fácil?”). Además, la cantidad de “Accesorios” a vender es un número aleatoriamente variable.

Como resultado inicial de acuerdo a lo indicado en la tabla No.1, hay un 93.26% en el que la cantidad de accesorios a vender será menor al 4,583 ya que el rango medio es 0.93269. Pero, **¿Cuánto comprar para revender y poder cumplir con el requerimiento del socio capitalista?**

Nuevamente realizaron un análisis de mercado con sus posibles competidores, con la ayuda del socio y apoyados por un software o simplemente a mano, tabularon los datos de venta promedio de diez posibles competidores y procedieron a calcular lo que se conoce como RANGO MEDIO (se puede encontrar en los libros de estadística), para cada uno de ellos. El Rango Medio es un número entre 0 a 1 que refleja en orden ascendente la fracción del valor del dato que es menor que el mismo dato. Así, se obtiene la Tabla No. 1, una vez ordenados los datos:

ORDEN	DATO	RANGO MEDIO
1	1,500	6.73%
2	2,000	16.35%
3	2,300	25.96%
4	2,700	35.58%
5	3,100	45.19%
6	3,350	54.81%
7	3,700	64.42%
8	3,983	74.04%
9	4,283	83.65%
10	4,583	93.27%

Tabla 1. Resumen de ventas promedios de sus competidores.
Fuente: El autor.

Continuando con el desarrollo del ANÁLISIS DE WEIBULL y con una hoja en Excel, dibujamos en un gráfico el doble logaritmo de los datos en cuestión, y obtuvimos el Gráfico de Weibull (ver Figura No.2).

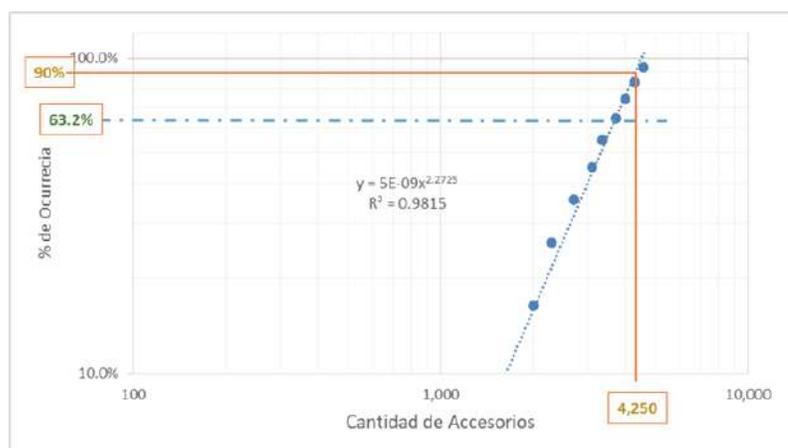


Figura 2. Gráfico de Weibull
Fuente: El autor.

De acuerdo a la gráfica de Weibull, el número estimado de “Accesorios para teléfonos móviles” a comprar, para un 10% de accesorios no vendidos, se localiza en la línea recta con una probabilidad de 0.90 (90%). Para este dato, el punto ocurre en aproximadamente los 4,250 accesorios.

Utilizando el “Excel”, calculamos a la ecuación de la recta de la hoja logarítmica y obtuvimos la siguiente:

$$Y = 5E-09x^{2.2725} \quad (5)$$

$$R^2 = 0.9815 \quad (6)$$

La pendiente de la línea recta que intercepta la mayoría de los puntos en el Gráfico de Weibull, es también el Factor de Forma β (2.2725) e indica a qué tipo de distribución de probabilidad se aproxima (normal, lognormal, exponencial, etc.). La vida característica, η , es el momento en que se espera que sea el 63,2% del Rango Medio de la línea recta. Este 63.2% es cierto para todas las distribuciones de Weibull, independientemente del parámetro de forma β , que corresponde cuando $t = \eta$ (aproximadamente 3,800) en la ecuación 1, como lo indica la IEC 61649-2008 – Weibull analysis.

Volviendo a nuestro ejemplo para un 10% de ventas no satisfechas, se localiza en la línea recta con una probabilidad de 0.90 (90%). Para este dato, el punto ocurre en aproximadamente los 4,250 accesorios. (Y justo en ese momento nos dimos cuenta para qué estudiamos probabilidad y estadísticas en la universidad).

Con el Gráfico de Weibull, usted puede hacer estimaciones de probabilidades utilizando la línea recta, o simplemente leyendo la probabilidad en la escala vertical, para un dato (en este caso, un número de accesorios).

Ejemplo de Análisis Weibull aplicado a Fallas de Equipos

La técnica de Análisis Weibull puede ser usada para estimar probabilidad de muchos casos, por lo que continuando con nuestros ejemplos, nos enfocaremos en un análisis de confiabilidad asociado a una estadística de fallas de equipos de una planta Fraccionadora de Gas, para lo cual tenemos la siguiente estadística de Tiempo Para Falla (TPF).

Analizando los datos de la tabla No. 2, como primera observación tenemos que hay un 95.98% que los TPF sean menores a 95.98%, por supuesto que es una información, pero no nos ayuda mucho ya que tenemos datos desde 240 horas a 13,776 horas, por lo que debemos analizar la gráfica de Weibull (Fig.3).

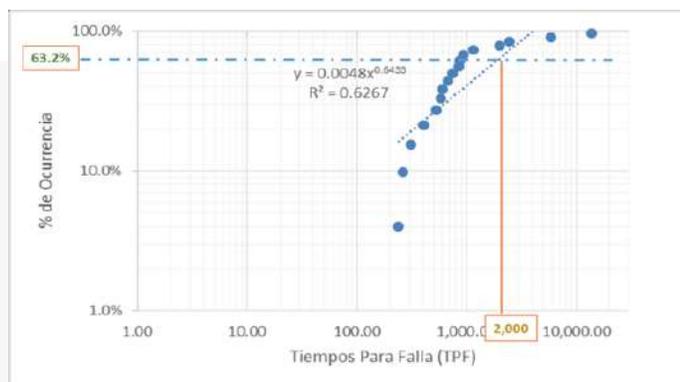


Figura 3. Gráfico de Weibull (TPF)
Fuente: El autor.

Referencias

1. Wikipedia
2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE WEIBULL – Por Robert B. Abernethy, FL, USA
3. IEC 61649-2008 – Weibull analysis

Autor: Arquímedes Ferrera

Empresa: E&M Solutions Group

Correo: arquimedes.ferrera@eymsolutions.com

No. Orden (i)	TPF	Rango Medio
1	240.00	4.02%
2	264.00	9.77%
3	312.00	15.52%
4	408.00	21.26%
5	528.00	27.01%
6	576.00	32.76%
7	600.00	38.51%
8	672.00	44.25%
9	744.00	50.00%
10	840.00	55.75%
11	864.00	61.49%
12	936.00	67.24%
13	1,152.00	72.99%
14	1,992.00	78.74%
15	2,472.00	84.48%
16	5,832.00	90.23%
17	13,776.00	95.98%

Figura 2. Datos estadísticos de TPF
Fuente: El autor.

Del análisis tenemos que el Factor de Forma β es 0.6433 lo que indica que tenemos una tasa de falla descendente, al igual que una $t = \eta$ (aproximadamente 2,000).

Ya con los datos de forma y escala podemos realizar cualquier estimado de confiabilidad utilizando la ecuación (7) o el gráfico de Weibull.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (7)$$

Por ejemplo, si queremos estimar cuál es la confiabilidad o probabilidad para que los equipos no fallen a $t_1=500$ horas o $t_2=3000$ horas, obtendremos lo siguiente:

$$R(t_1) = 80\%$$

$$R(t_2) = 10\%$$



DALE MANTENIMIENTO

TU PODCAST INDUSTRIAL

TRACTIAN

Invitamos a los principales referentes de la industria a compartir experiencias y aprendizajes que han sido claves para alcanzar una trayectoria única.

Un espacio para darle mantenimiento a todo lo que sabes.

Historias Reales
de la Industria

Lecciones
aprendidas

Visiones
del futuro

Estrategias de
Crecimiento

Prácticas
exitosas

¡YA DISPONIBLE!

NUEVO EPISODIO

ESCUCHA EN TU PLATAFORMA
DE AUDIO PREFERIDA





Análisis RAM

como Herramienta para la Gestión de Activos Físicos: Caso de Aplicación Industrial



Autor: Osberto Díaz
Reliability Engineer

La dinámica empresarial actual, exige que los procesos en la industria sean optimizados desde el punto de vista técnico y económico. Es por esta razón, que surge la necesidad de la adopción de un sistema de gestión de activos tal como lo establece la norma ISO 55000, de manera que las organizaciones logren sus objetivos de manera efectiva, eficiente y sostenible en el tiempo.

En este sentido el marco de Normas ISO 55000/01/02-2014 establece que la organización debe desarrollar un Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA o SAMP por sus siglas inglés) a partir de los objetivos organizacionales, con el propósito de documentar el rol del sistema de gestión de activos para alcanzar los objetivos de la gestión de activos.

Para el desarrollo del Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), es necesario obtener toda la información referente a la clase de activo; tal como la criticidad, el valor de los activos y la interdependencia con otros activos de la organización para la entrega de valor.

De allí que la gestión de activos este estrechamente relacionada con la Ingeniería de Confiabilidad, y se apoye en metodologías como Análisis RAM, dado que esta pretende pronosticar el comportamiento de un activo o conjunto de activos durante un periodo de tiempo determinado, siendo esta una información de gran valía para la definición de los objetivos de la gestión de activos y posterior desarrollo de los planes.

El Análisis RAM, permite conocer con cierto grado de certeza el factor de servicio de la instalación y los activos que tienen mayor aporte a la indisponibilidad a través del uso de la probabilidad y estadística y de diagramas de bloques de confiabilidad, pudiendo ser aplicado a cualquier tipo de industria.

Para el caso del presente trabajo se presenta la aplicación de la metodología Análisis RAM en una instalación industrial compleja, cuyos resultados sirven como información base para la elaboración de los planes de gestión de activos de la organización, permitiendo identificar los «cuellos de botella» en el sistema productivo y sirviendo de apoyo a la toma de decisión para la efectiva distribución de los recursos de operación y mantenimiento.

Metodología análisis RAM

El análisis RAM es una metodología que diagnostica el estado actual de un sistema productivo, y pronostica su comportamiento en un periodo determinado de tiempo (Díaz, 2014). Además permite definir cuantitativamente:

- La Disponibilidad y confiabilidad del sistema.
- Las pérdidas de producción por indisponibilidad del proceso productivo.
- El impacto en la disponibilidad del sistema debido a:
 - » La política de aprovisionamiento de partes y repuestos.
 - » La política de mantenimiento.
 - » La logística e Impacto por redundancia.

La aplicación de un análisis RAM permite determinar los activos que tienen mayor influencia en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad en un sistema productivo. La figura 1, sintetiza gráficamente las etapas de implementación de un Análisis RAM.

Análisis de los datos de falla y reparación

El análisis RAM, se inicia con el análisis de los datos de tiempo de falla y reparación de cada uno de los activos que forman parte del sistema o proceso estudiado para la estimación probabilística de la tasa de falla y reparación.

Un resumen de las fuentes de información que se emplean en los estudios RAM se muestra en la figura 2, y el detalle del uso de las mismas se sugiere revisar el artículo de Díaz (2014).

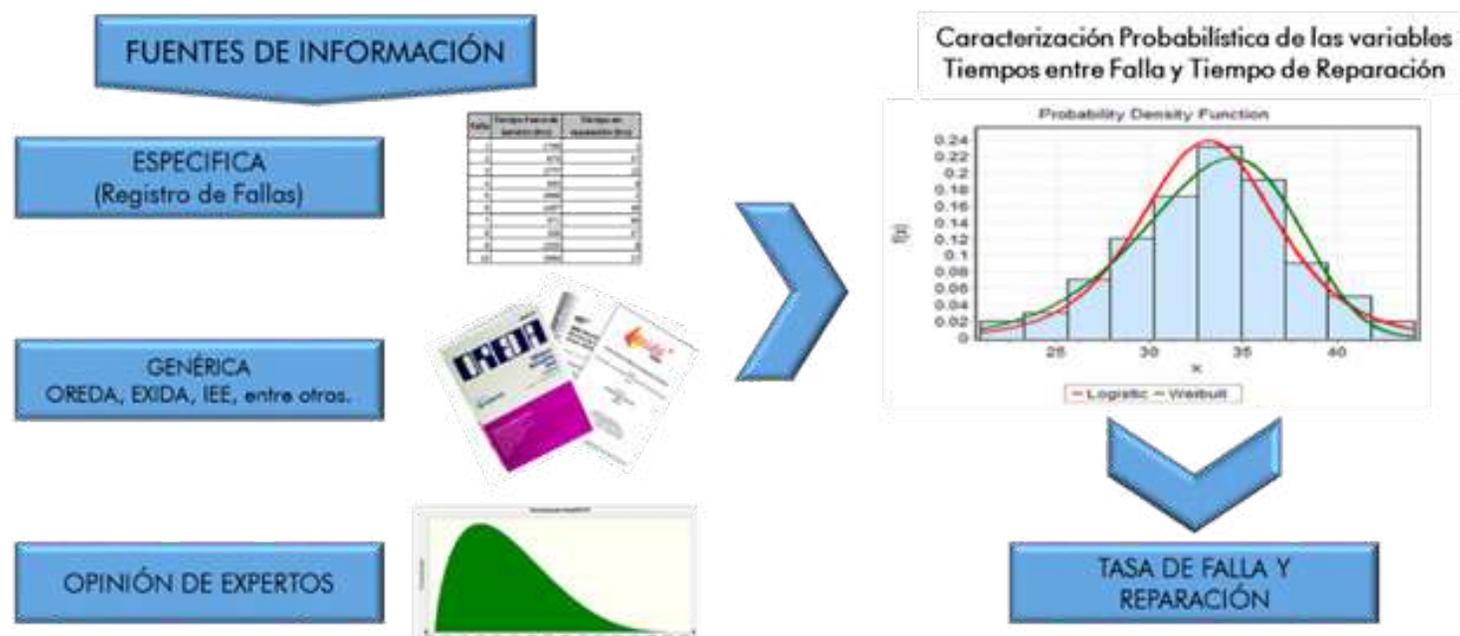


Figura 1. Etapas de Implementación de un Análisis RAM.

En los estudios RAM y específicamente en el caso de aplicación de este artículo, la obtención de los datos de fallas y reparación en una organización es un verdadero desafío, debido a la falta de cultura del dato, evidenciándose en la inconsistencia en el registro de los mismos.

Por tal razón, y afín de garantizar que los datos representen la realidad operacional de la instalación, se acude al uso de la opinión de un grupo de expertos de la organización, conformado principalmente por personal del área operacional y mantenimiento, siguiendo los siguientes pasos:

1. Definición del Grupo de Especialistas que participarán en las reuniones de trabajo.
2. Ponderación de la opinión de los expertos.
3. Agrupación por familias de equipos en base a la información suministrada por los expertos, considerando: las características de operación, mantenimiento y el contexto operacional de los equipos.
4. Elicitación de los valores de las variables Tiempos Entre Fallas (TEF) y Tiempos para Reparar (TPR) para los escenarios: optimista, pesimista y más probable (mínimo, máximo y más probable).

A partir de estos datos recopilados, se hace uso de herramientas estadísticas conocidas como Distribuciones de Probabilidad, con el fin de modelar el comportamiento de los Tiempos de Falla y Tiempos de reparación desde el punto de vista matemático

Es importante destacar, que para el caso de los equipos donde no se tenga información de los expertos por diferentes razones, se recurre al uso de bases de datos genéricas disponibles OREDA, IEEE, CCPS, entre otras.

En la tabla 1 se presentan las Distribuciones utilizadas para la modelación probabilística de los Tiempos de Fallas y Tiempos de Reparación de los equipos de la instalación.

Modelación del Sistema Productivo

La modelación del proceso productivo inicia con la construcción de los Diagramas de Bloques de Confiabilidad (DBC) de la instalación analizada (ver figura 3). Para ello es necesario definir los límites de cada uno de los sistemas, subsistemas, equipos y componentes que intervienen en el sistema productivo y que tienen impacto en la disponibilidad del mismo causando pérdidas en producción.

Para el caso de la industria petrolera y gasífera, la norma ISO 14224, define los límites de batería y estructura sistemáticamente cada uno de los equipos principales utilizados en esa rama de la industria. Para el caso de otras industrias, se puede tomar como base los criterios del estándar citado anteriormente y adaptarlo a la realidad operacional del sistema productivo analizado.

Para la elaboración de los DBC de la aplicación, se revisaron exhaustivamente toda la información técnica inherente al proceso (Diagrama de tubería e instrumentación, diagrama de flujo de proceso, entre otros).

	Variable	
Fuente de información	Tiempos de falla	Tiempos de Reparación
Opinión de Expertos	<ul style="list-style-type: none"> Con valores máximos y mínimos: Distribución Weibull. Con tiempo promedio entre fallas: Distribución exponencial 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos con baja mantenibilidad (tiempos de reparación históricamente altos), se ajusta la Distribución Weibull. Equipos con alta mantenibilidad (tiempos de reparación históricamente bajos), se ajusta la Distribución Exponencial. Equipos donde a ciencia cierta no se conoce su mantenibilidad (debido a su contexto operacional, complejidad, entre otras variables), la distribución que mejor se ajusta es la Distribución LogNormal
Datos Genéricos	Distribución Exponencial	Distribución Exponencial

Tabla 1. Resumen Distribuciones de Probabilidad por Variable y Fuente de Información.

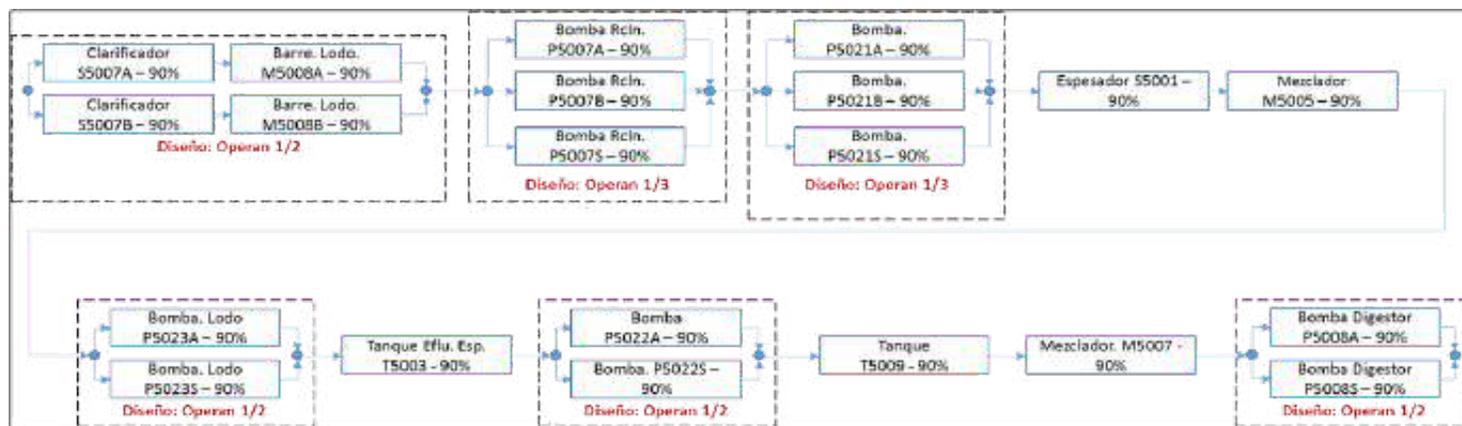


Figura 3. Diagrama de Bloque de Confiabilidad (DBC) de los equipos de una Instalación Industrial.

En total se modelaron aproximadamente 1100 equipos de la instalación, distribuidos en 3 unidades y 2 sub-unidades con su porcentaje de afectación al negocio en caso de falla (ver figura 4).

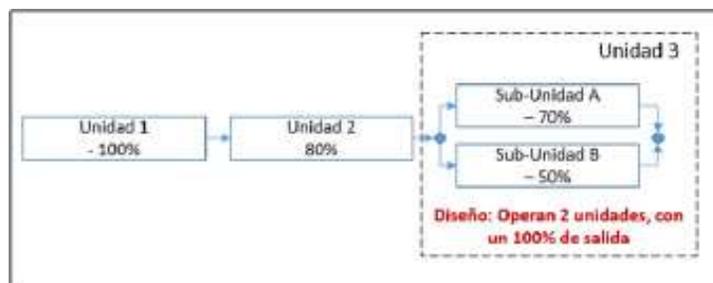


Figura 4. Diagrama de Bloque de Confiabilidad (DBC) de las unidades y sub-unidades de una Instalación Industrial.

Del DBC de la figura 4, se evidencia que:

- Unidad 1: La instalación dejará de cumplir su función por completo.
- Unidad 2: La instalación operará a un 80% de su capacidad con un 20% de impacto en caso de una falla funcional.
- Unidad 3: La Sub-Unidad A y B son necesarias para operar al 100%.
 - » En caso de una falla funcional de la Sub-Unidad A la unidad 3 operará a un 50%.
 - » En caso de una falla funcional de la Sub-Unidad B la unidad 3 operará a un 70%.
- La disponibilidad total de la instalación, será el producto de las tres unidades.

Es importante destacar, que los arreglos y escenarios de falla y reparación de cada uno de las unidades de la instalación son desarrollados en los diagramas de bloques de confiabilidad respectivos, considerando su filosofía, contexto operacional e interdependencia de los activos.

El modelo desarrollado debe ser validado por expertos en el área de producción y por personal que interviene diariamente en la operación y mantenimiento del sistema productivo. Por tal razón, en sistemas complejos es muy común el uso de funciones lógicas con el fin de modelar y simular el comportamiento real de la instalación.

Simulación del modelo

Una vez modelado el sistema productivo, se procede a realizar la simulación. Para esto es necesario definir el periodo de tiempo en el cual se desea simular el comportamiento del sistema, puesto que las condiciones de operación y mantenimiento dependen de las distribuciones de probabilidad de cada bloque y esta a su vez de la variable tiempo.

En este sentido, y para disminuir la incertidumbre en este tipo de estudios, es necesario hacer uso de del Método de Montecarlo, para obtener los distintos resultados posibles del modelo RAM. Es por esta razón, que para el modelaje de sistemas complejos se recurre al uso de programas computacionales (tales como: MAROS, RAPTOR, RAMP, TITAN entre otros), debido a que es necesario repetir varias veces una simulación del sistema con el mismo valor de tiempo analizado, para obtener los distintos escenarios de comportamiento posible y dar confianza estadística a los valores calculados.

Para el caso de la aplicación práctica, se realizó un pronóstico de la disponibilidad para los próximos 10 años de operación, realizando 3.000 iteraciones lo que permite mitigar el nivel de incertidumbre en el cálculo.

Por otra parte, a fin de estimar un valor de disponibilidad que se acerque más a la realidad, en el modelo RAM se consideraron paros no programados (debido a fallas, modelados a través de distribuciones de probabilidad) y paros programados (planes de mantenimiento típicos para cada tipo de activo y un paro general de planta para el año 2020 y el año 2024 de 40 días de duración).

Los resultados de disponibilidad de la instalación se presentan de manera acumulada y de manera anualizada para cada uno de los años pronosticados. Asimismo, se presentan los percentiles 5 (P5), 50 (P50) y 95 (P95) junto con la Desviación Estándar que son usados como parámetros para describir la distribución normal, siguiendo el Teorema del Límite Central.

De estos percentiles, se puede afirmar que existe un 90% de certeza que la disponibilidad se encontrará entre los valores del percentil 5 y 95, mientras que el valor que tiene mayor probabilidad de ocurrencia es el percentil 50, este valor también es conocido como media debido a la utilización de la distribución normal para modelar los resultados del modelo RAM.

Disponibilidad Acumulada

En la Tabla 2 se muestran los valores de Disponibilidad para el caso de aplicación práctica, y en la figura 5 se ilustra el perfil estocástico de estos valores a fin de mostrar gráficamente el cambio de la disponibilidad en función del tiempo.

		Valores Acumulados de la Disponibilidad del Instalación			
No.	Año	P5	P50	P95	Desviación
1	2016	70,85	78,44	86,05	4,62
2	2017	71,06	76,80	82,55	3,49
3	2018	71,83	76,51	81,24	2,85
4	2019	72,48	74,51	76,52	1,24
5	2020	69,54	70,91	72,28	0,83
6	2021	70,47	72,99	75,46	1,52
7	2022	71,14	73,24	75,35	1,28
8	2023	69,50	72,19	74,94	1,65
9	2024	68,18	69,71	71,25	0,93
10	2025	68,06	70,08	72,10	1,23

Tabla 2. Valores acumulados de la Disponibilidad de la Instalación (2016-2025).

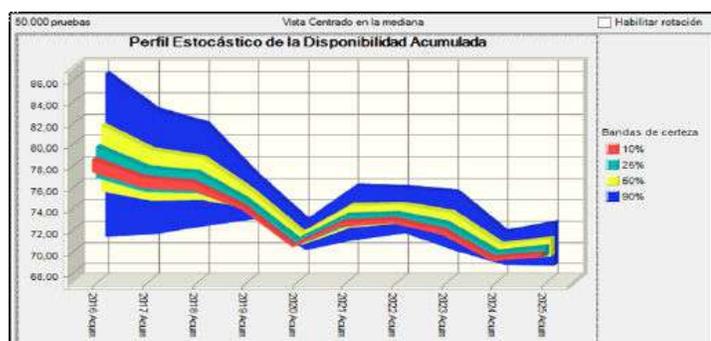


Figura 5. Perfil Estocástico de la Disponibilidad Acumulada de la Instalación (2016-2025).

Del perfil anterior, se puede evidenciar que la Disponibilidad Acumulada de la Instalación, tiene una tendencia hacia la baja. Es decir, bajo la política actual de mantenimiento y operaciones de la instalación, la rentabilidad y la productividad de la misma ira disminuyendo en función del tiempo.

Disponibilidad Anualizada

De igual forma, en la tabla 3 se presentan los valores de Disponibilidad Anualizados, a fin de mostrar el valor real del desempeño de la instalación año a año. Asimismo, en la figura 6 se grafican los cambios de la disponibilidad en función del tiempo.

		Valores Anualizados de la Disponibilidad de la Instalación			
No.	Año	P5	P50	P95	Desviación
1	2016	70,85	78,44	86,05	4,62
2	2017	61,36	75,21	89,03	8,37
3	2018	57,80	75,91	94,03	11,05
4	2019	52,13	68,53	84,68	9,88
5	2020	45,93	56,50	67,17	6,46
6	2021	66,72	83,33	99,73	10,03
7	2022	53,86	74,76	95,86	12,78
8	2023	38,72	64,87	91,24	15,96
9	2024	23,98	49,84	75,43	15,65
10	2025	48,90	73,40	97,87	14,87

Tabla 3. Valores anualizados de la Disponibilidad de la Instalación (2016-2025).

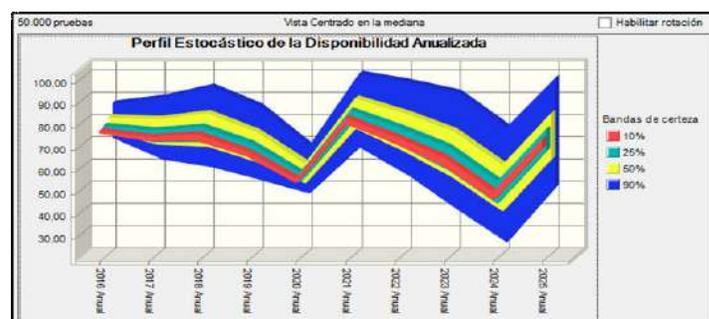


Figura 6. Perfil Estocástico de la Disponibilidad Anualizada de la Instalación (2016-2025).

De la tabla y la figura anterior, se evidencia que los valores de disponibilidad anualizada entre las paradas programadas del año 2020 y 2024 tienden a la baja, pasando de un promedio de 78,44% en el año 2016 hasta 56,50% del año 2020; y de 83,33% de promedio del año 2021 a 49,84% del año 2024.

Esto concuerda con los resultados de la disponibilidad acumulada, donde los valores de disponibilidad tienden a disminuir en función del tiempo, siendo dominante la tendencia bajista. Otra forma de representar los resultados de disponibilidad anualizada de la instalación, es a través de un gráfico de superposición. Este permite verificar los valores de disponibilidad más probables año a año, y en que rango se encuentra la mayor agrupación de estos. El mismo se presenta en la figura 7.

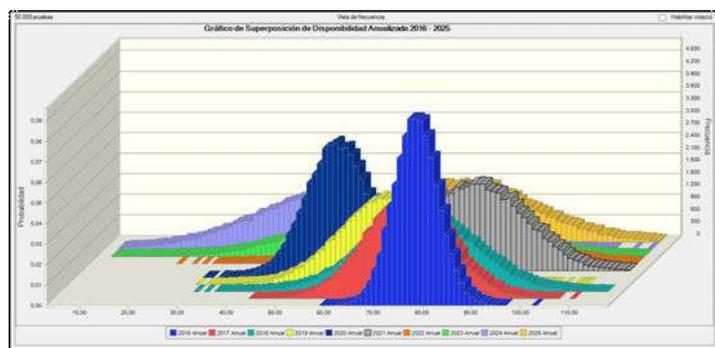


Figura 7. Gráfico de Superposición de Disponibilidad Anualizada de la Instalación (2016-2025).

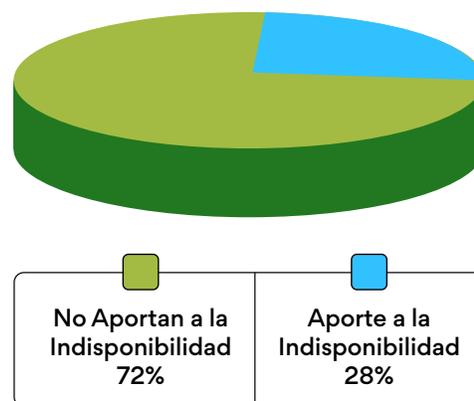
Jerarquización de Criticidad de los Activos

Una de las ventajas de realizar un Análisis RAM a sistemas e instalaciones complejas, es que del mismo se puede obtener una lista jerarquizada de los activos que tienen mayor aporte a la indisponibilidad del sistema y su afectación al sistema de producción.

Para el caso particular del ejemplo de la instalación analizada, los resultados de la simulación evidencian una tendencia bajista de los valores de la disponibilidad en función del tiempo. De ahí que a partir de estos resultados, se hace necesario identificar oportunidades que apunten a disminuir el riesgo y aumentar la disponibilidad de la instalación, por lo que se procede a analizar los activos físicos que influyen en la indisponibilidad.

Por tal razón, se verifica en primer lugar cuantos activos tienen un aporte a la indisponibilidad del universo total de equipos de la instalación, y posteriormente se elabora una lista jerarquizada para conocer los activos críticos del sistema y dirigir en ellos las acciones, estrategias y recursos con el objetivo de obtener un mayor rendimiento del sistema productivo (Díaz, 2014). Del gráfico de la figura 8, se tiene que sólo el 28% de los equipos del universo total de instalación, tienen un aporte a la indisponibilidad en caso de fallas. Es decir sólo 308 de los 1100 equipos totales tienen un impacto real en el negocio.

Aporte de Equipos a la Indisponibilidad de la Instalación



No Aportan a la Indisponibilidad 72%

Aporte a la Indisponibilidad 28%

Figura 8. Aporte de Equipos a la Indisponibilidad de la Instalación.

De igual manera, la jerarquización de los activos, se presentan en la siguiente tabla:

Descripción del Equipo	Media de Aporte a la Indisp.	Media de Aporte a la Indisp. Acumulada
Bomba de Despacho de Producto A	9,33%	9,33%
Compresor de Baja Presión A	8,07%	17,40%
Bomba de Despacho de Producto B	7,58%	24,98%
Bomba Booster de Agua A	6,89%	31,87%
Motor del Compresor de Media Presión D	6,62%	38,49%
Bomba de Inyección de Agua Producida A	6,25%	44,74%
Turbogenerador A	5,82%	50,56%
Compresor de Tomillo de Aire de Instrumentos A	5,09%	55,65%
Compresor de Alta Presión B	4,28%	59,92%
Enfriador del Procesamiento de Crudo de BP C	3,71%	63,63%
Enfriador de Producto C	2,89%	66,51%
Motor del Compresor de Alta Presión A	2,82%	69,33%
Bomba de Glicol Pobre de la Unidad Deshidratadora	2,44%	71,77%
Compresor de Media Presión A	2,23%	74,00%
Motor del Compresor de Media B	1,94%	75,94%
Compresor de Alta Presión A	1,84%	77,78%
Intercambiador de calor gas/gas	1,47%	79,25%
Enfriador del procesamiento de producto de BP A	0,51%	79,76%

Tabla 4. Aporte de Equipos a la instalación.

Resultados del análisis RAM y su relación con la Gestión de Activos

Los resultados de la simulación del modelo RAM permiten a la Organización:

- Identificar los equipos críticos y los “cuellos de botella” de la instalación.
- Evaluar los perfiles de demanda del producto.
- Verificar del cumplimiento de la función de los activos y volumen de producción

Con esta información, la organización podrá generar objetivos de la gestión de activos como elementos fundamentales del Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), tal como lo establece la norma (ISO 55001:2014) en el requerimiento 6.2.1. Objetivos de la gestión de activos. “La organización debe establecer objetivos de gestión de activos en las funciones y niveles pertinentes, documentarse y actualizarse como parte del PEGA”

Algunos objetivos de Gestión Activos que se derivan luego de la aplicación del Análisis RAM en la instalación analizada podrían ser:

- Aumentar la capacidad de producción de la instalación de 15 mil barriles de producto diarios a 17,6 mil barriles diarios durante el 2017.
- Incrementar la disponibilidad de la instalación en un 5% al pasar de 75,21% a 80,21% en el 2017.
- Recopilar los tiempos de falla y de reparación de los activos.un impacto real en el negocio.

Lárez (2016) señala, que estos objetivos reflejan los resultados que la gestión de activos debe producir a la organización. Por lo tanto, necesitan ser apoyados con acciones de muy alto nivel, que algunas organizaciones suelen llamar acciones estratégicas (El-Akruti, Dwight, & Zhang, 2013). Estas acciones estratégicas deben estar acompañadas con los recursos adecuados, plazos de tiempos de-finidos, metas a lograr y el seguimiento respectivo (Henderson, 2014). Las iniciativas de alto nivel, sin embargo, podrían ser implementadas como proyectos en niveles inferiores de servicio con sus respectivos objetivos al detalle, de tal manera que puedan alinearse con planes de inferior nivel (Deix, 2012). Por lo tanto, siguiendo las ideas de Lárez (2016), es útil compartir algunos objetivos estratégicos definidos anteriormente.

Colocar en servicio el segundo Compresor de Baja Presión, y adoptar nuevamente la filosofía de operación 1 de 2.

- Colocar en servicio de un Compresor de Alta Presión del Sistema de Inyección de Gas, durante el primer trimestre del año 2017.
- Para incrementar en un 5% la disponibilidad de la instalación:

- » Instalar una Bomba de Despacho de Producto adicional, para obtener mayor flexibilidad operacional para mediados del 2017.
- » Implementar herramientas de confiabilidad tales como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) y Análisis Causa Raíz (ACR) a los equipos más críticos de la lista jerarquizada.
- Implementar un sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora para los activos de la organización durante el año 2017.

Conclusiones

- La gestión de activos físicos está estrechamente relacionada con el RAM, puesto que esta metodología pretende pronosticar el comportamiento de un conjunto de activos durante un periodo de tiempo determinado, siendo esta una información de gran valía para la definición de los objetivos de la gestión de activos y posterior desarrollo del PEGA.
- El Análisis RAM, permite conocer con cierto grado de certeza el factor de servicio de la instalación y los activos que tienen mayor aporte a la indisponibilidad a través del uso de la probabilidad y estadística y de diagramas de bloques de confiabilidad.
- Los arreglos y escenarios de falla y reparación del Modelo RAM de una instalación son desarrollados en diagramas de bloques de confiabilidad, considerando la filosofía, contexto operacional, interdependencia de los activos y aspectos del proceso.
- Para mitigar la incertidumbre en este tipo de estudios, se hace uso del Método de Montecarlo, para obtener los distintos resultados posibles del modelo RAM.
- La jerarquización de activos, permite la identificación de los equipos y sistemas críticos de un sistema productivo. Con esto, la asignación de recursos y esfuerzos corporativos será asertiva, y disminuirá la ocurrencia de eventos no deseados que inciden en la productividad de la organización.
- Con la finalidad de definir estrategias que aseguren el cumplimiento de la función de los activos y que estos sean sostenibles en el tiempo, los objetivos de la gestión de activos deben contener un análisis a la indisponibilidad operacional del sistema productivo a través de otras metodologías de Ingeniería de Confiabilidad.

PRÓXIMOS CURSOS

PREDICTIVA21

Diplomado Gestión del Mantenimiento



Inicio: 03-Agosto

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)



Inicio: 10-Agosto

Instructor: Andrés González

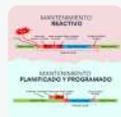
Aplicación de la ISO 14224 en la Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad



Inicio: 17-Agosto

Instructor: Carlos Villegas

Planificación Programación y Costos de Mantenimiento



Inicio: 24-Agosto

Instructor: José Contreras

Análisis Costo-Riesgo- Beneficio, Costo en Ciclo de Vida, Vida útil Remanente y Obsolescencia



Inicio: 07-Septiembre

Instructor: Enrique González

Preparación para la certificación CMRP



Inicio: 17-Septiembre

Instructor: Gyogi Mitsuta

Solicita más información

(+52) 442 710 8072 | ventas@predictiva21.com

Gestión de Costos del Mantenimiento



Autor: Lourival Augusto Tavares
Senior Reliability Engineer



Artículo extraído de
Edición No. 32

Vemos, a lo largo de la historia, una evolución continua del proceso de gestión estratégica, especialmente en la época actual, debido a un acelerado ritmo de las transformaciones en la sociedad y en la velocidad con que la información se ha desarrollado lo que nos llevó a llamada «industria 4.0».

En cada etapa del desarrollo del enfoque estratégico se abarcó la práctica anterior con una forma mejorada complementaria, de modo que, durante la evolución de la teoría administrativa, aquellos aspectos que podrían limitar o distorsionar su conjunto fueron siendo poco a poco corregidos.

Durante el curso de esta evolución se inauguró un nuevo paradigma: la era de la gestión estratégica y competitiva. En la década de 70 la expresión “estrategia” fue incorporada en las acciones y en el lenguaje de los ejecutivos.

Las organizaciones, incluyendo la minería, pasaron a dividir los niveles jerárquicos en tres grupos – estratégico, táctico y operacional, los cuales son bien representados por el triángulo de Robert Anthony.

Asociadas a los subsistemas estratégico, táctico y operacional están las cuatro variables claves: Decisiones, Datos (información); Actitudes y Funcionalidad.

Decisiones: En el nivel operativo, casi todas las decisiones son estructuradas, o sea, rutinarias, basadas en normas y procedimientos.

Cuanto más cerca del nivel estratégico, más y más las decisiones son basadas en situaciones nuevas y de alta incertidumbre.

Datos: Los sistemas de información transforman los datos, los cuales se encuentran en gran volumen en el nivel operativo, en informes, o sea, datos interpretados, que poseen significado y utilidad, para el proceso de decisiones.

Actitudes: El nivel operacional se desarrolla con eficiencia, o sea, utilizando los recursos disponibles en el proceso.

En el nivel estratégico el foco es la conquista de la eficacia que es una medida de alcance de resultado.

Eficiencia y Eficacia no caminan necesariamente juntas, pues una organización puede ser eficiente sin ser eficaz o ser eficaz sin ser eficiente. Sin embargo el ideal es que la organización sea eficiente, eficaz y efectiva logrando así la excelencia al desempeño.

La efectividad es la medida que se verifica el impacto de una organización (positivo o negativo) en su área de actuación, lo que se puede evaluar por la satisfacción del cliente.

Funcionalidad: Las acciones del nivel operativo y táctico, garantizan la supervivencia de la empresa.

La principal función del ejecutivo de nivel estratégico es de monitorear el ambiente externo, captando las señales de mudanzas, y alcanzando la evolución y esto pasa directamente con la Gestión de Costos.

La principal razón para la existencia de cualquier institución con fines de lucro es, evidentemente, dar lucro como el nombre lo indica, donde la entrada de ingresos está comprometida con la situación económica de una región, país o mercado y se refleja directamente en cualquier empresa, variando con su tamaño.

La previsión del presupuesto se realiza siempre cada año y generalmente la «rebanada» del mantenimiento tiende a ser bastante pobre, pero la estrategia de una organización no debe ser a corto plazo por lo que no generan efectos inmediatos de los cambios en flujo de caja.

Las grandes empresas ya trabajan así, buscando una visión de largo plazo (un promedio de cinco años), que debe revisarse con frecuencia basada en la situación del mercado vigente en el momento. Y esta práctica aún que recomendada para todas las empresas tiene reflejos más importantes en las que actúan en el mercado de commodities, como es el caso de la minería.

Este hecho es bien conocido por los gerentes de negocio y vale la pena ser recordado, porque en tiempos de crisis (económica, social y política, como por la cual está pasando Brasil y otros países latinoamericanos) todos los sectores se ven afectados, pero no en la misma forma y estrategias de reducción de costos, una vez que unos sufren más que otros.

Durante mucho tiempo el área de mantenimiento era vista como una fuente de gastos para la empresa, pero logró alcanzar el nivel de hacer parte de la estrategia en la gestión de sus activos físicos.

Así, para empresas que tienen madurez las estrategias de mantenimiento e ingeniería de confiabilidad, son estimuladas para buscar alcanzar el estándar Clase Mundial.

Las empresas que no tienen esta visión o donde el mantenimiento no hace parte de las decisiones corporativas tienen mayor probabilidad de ser afectadas con las crisis.

Sin embargo, algunas compañías trabajan la crisis al revés, mejorando el marco estratégico de mantenimiento y diseño de estructura, buscando proporcionar una mayor confiabilidad, y disponibilidad asegurando una mínima pérdida de ingresos, lo que puede ser más lucrativo cuando se compara con las empresas que bajo la crisis, aplican reducciones en los costos.

Mientras tanto, vale la pena ser recordado que se debe ahorrar costos, no sólo en tiempos de crisis o sea, «hacer bien gastando menos».

En caso de que tengamos una reducción del plan de producción o variación de precio del producto en el mercado, se puede aprovechar la necesidad de paradas de la máquina para el mantenimiento y reducir el gasto de pérdida de producción que, en los momentos de demanda generan pérdida de facturación.

Las ganancias con horas-hombre de los equipos de mantenimiento pueden ser dirigidas a actividades de mejora y proyectos de ingeniería de mantenibilidad donde se incluye implementación de redundancia de equipos o partes de ellos.

Lo importante es entender la condición de la empresa, e identificar las maniobras más apropiadas se deberá llevar a cabo para mejorar el resultado con el mismo.

La primera opción, las empresas que, en la crisis (nacional o internacional), logran aprovechar las oportunidades alineando y utilizando los conocimientos existentes en la organización, tienden a destacarse y ser empresas exitosas.

Basado el modelo Nonaka y Takeushi, deben compartir los conocimientos tácitos (o sea personal e inconsciente, adquirido por medio de las experiencias e intentos), con los conocimientos explícitos (o sea, fácilmente comunicados y entendidos por medio de palabras, imágenes, gráficos y metodologías);

A su vez, los conocimientos tácito y explícito se completan y se relacionan entre sí y las personas y empresas que logran racionalizar a los dos salen fortalecidas y capaces de superar las adversidades

En el curso de Gestión de Costos del Mantenimiento Minero, promovido por CAMIPER, además de analizar la composición de la estructura financiero del órgano y la subdivisión de costos directos e indirectos, fijos y variables, se manejan los principales indicadores relacionados con esta función.

Tales indicadores se derivan de una base de un análisis estadístico y, por lo tanto, la calidad de la información que se almacena en el sistema de gestión de mantenimiento es la base del éxito para la gestión de tasas de control.

¿Cuál es la META del Mantenimiento el día de hoy? ¿Cómo se puede identificar un “Mantenimiento Clase Mundial”?

La respuesta a las dos preguntas es: “La **GENERACIÓN DE ROI (Retorno sobre la inversión)**”.

Para viabilizar la evaluación del Retorno Sobre la Inversión (ROI) por el mantenimiento es necesario que exista una efectiva gestión (toma de decisiones), hecha a partir de las recomendaciones del análisis de los informes (índices y consultas) adecuados a cada nivel, generados a partir de archivos consolidados tratados por un eficiente Sistema que procese datos completos y confiables de todas las intervenciones controladas. Si la información no es completa y confiable no se lograrán archivos consolidados que, en consecuencia no irán generar los informes para ser analizados y de esta forma la gestión quedará restringida a la experiencia de los gerentes en los tres niveles: Estratégico, Táctico y Operacional.

Se recomienda que el análisis de los informes sea hecho a través de un órgano de asesoramiento, llamado “Ingeniería de Mantenimiento” que debe ser compuesto por personal con experiencia de planta, capacitación adecuada para interpretar los indicadores y espíritu pionero, o sea, buena intuición, coraje para enfrentar desafíos, persistencia y alineación a la misión y visión de la empresa. Además el personal de este órgano también debe estar calificado para investigaciones de causa raíz de fallas, con el auxilio de la base de datos para obtener la información específica de lo que desea analizar.

La calificación de este personal también debe involucrar estudios económicos, de eficiencia de máquinas y de productividad humana utilizando técnicas comprobadas y eficaces para estos tipos de evaluaciones. Sin embargo todo el proceso de análisis debe ser complementado con tormentas de ideas involucrando los niveles de supervisión de planta tanto de mantenimiento como operación, logística, calidad, seguridad y medio ambiente para, entonces, generar las recomendaciones que serían aplicadas gracias a su factibilidad por los gerentes, dando como resultado el ROI.

Para garantizar la confiabilidad de estos datos, es fundamental que se trabaje bajo conceptos universales y estandarizados, bien difundidos y reconocidos por todos los involucrados. Dentro de este enfoque, se recomienda utilizar los conceptos presentados en la sección “definiciones” del sitio www.mantenimientomundial.com. En esta sección del sitio encontrarán la terminología universal de mantenimiento además de las indicaciones de subdivisión de la importancia operacional de los equipos (clase o criticidad) y de las prioridades.

En los días de hoy el importante que todos los equipos (ítems o activos) estén identificados a través de su “tag” (que identifica su posición y función operativa, convertido para un código “2D” o «QR» de forma a permitir su lectura utilizando «móviles») y su número individual a lo cual se pueden asociar su identificación con todos los Sistemas de

la empresa (ERP, GPS, Calidad etc.). En esta identificación también es fundamental el establecimiento de las criticidades para las cuales serán establecidas las estrategias de intervención.

Entre más tablas se utilicen en un proceso de identificación menor es la posibilidad de error de digitalización además se logran estándares y rapidez de registro y búsqueda de información (filtro) en el proceso de gestión (de activos, costos y recursos).

Como uno de los factores impactantes en los costos está la Seguridad y el Medio Ambiente y para tal mantenimiento debe buscar establecer recomendaciones junto con las áreas competentes de forma eliminar los accidentes a personas o naturaleza. Deben ser escritas de forma objetiva, por conjunto de funcionalidades de equipos, en pocas líneas ya que deberá ser registrada en la OT, y de fácil entendimiento.



En resumen:

Mantenimiento (ahora Gestora de Activos Físicos) se ha convertido en la función más importante en empresas de proceso o servicio por sus características de estar, al mismo tiempo, en la «línea de frente» a través de los ejecutantes de mantenimiento con el apoyo del PCM (planificación y control de mantenimiento) y por su «actuación de respaldo», a través de la Ingeniería de Mantenimiento, en el análisis de informes que generan recomendaciones coherentes e innovadoras bajo los aspectos de economía y viabilidad técnica, para las tomas de decisiones gerenciales, buscando siempre el acercamiento y los intercambios de ideas y conocimiento con las demás áreas de la corporación.

Este es el motivo por el cual se incorporó en el curso la identificación de las etapas del ciclo de vida de los activos y el análisis de las estrategias más adecuadas de obtención de ROI en función de la criticidad de cada activo de las plantas mineras.



ALL-TEST PRO 34™

Análisis Total del Motor

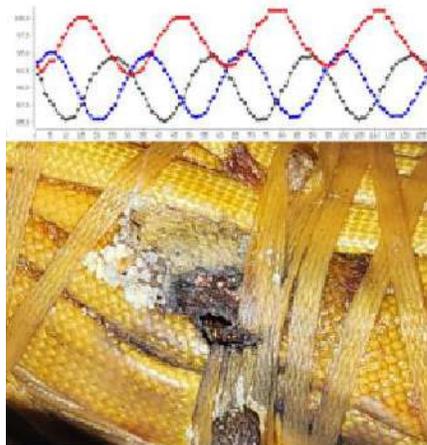


- ✓ Portátil y operado por baterías.
- ✓ Evaluación completa de motores CA que operan a <1000V.
- ✓ Crea tendencia de la condición del motor con su software MCA.

Monitoreo de Condición

Usando la tecnología TVS™ patentada, el AT34™ le permite al usuario realizar una prueba sencilla de 3 minutos para darse una idea sobre la “salud de una máquina”. Las desviaciones y/o fluctuaciones en los valores indican un problema en el motor que deberán solucionarse.

Los datos se transfieren via USB a la PC donde reside el software MCA™ para análisis, informes y tendencias.



Problema	Meghómetro	Multímetro	AT34™
Fallos a Tierra (MΩ)	✓	✗	✓
Cortos en bobinas	✗	✗	✓
Fallos en Rotor	✗	✗	✓
Conexiones abiertas	✗	✓	✓
Contaminación	✓	✗	✓



MOTOR GENIE

motorgenie.com

MOTOR GENIE MCA

Analizador de Motores Eléctricos para Motores CA Jaula de Ardilla <1000V

La herramienta más completa, portátil y accesible actualmente en el mercado.



BENEFICIOS

Analiza y diagnostica los problemas de los motores eléctricos fácilmente - ahorrando tiempo y dinero.



Portátil y Versátil

Pruebe motores de difícil acceso; sumergidos o elevados.



Análisis Exhaustivo

Vea el estado del rotor, el estator, la resistencia, el aislamiento y más.



La seguridad es primero

Los métodos de prueba de baja tensión garantizan mayor seguridad.



Rápido

¡Pruebe completa y exhaustivamente un motor en menos de 3 minutos!



Informes

Utilice la aplicación Motor Genie Motor Condition Calculator para IOS y Android. para crear informes.



Tecnología Probada

La tecnología Análisis del Circuito del Motor (MCA) es ampliamente confiable para los expertos en mantenimiento predictivo y confiabilidad.

PROBLEMA	Megóhmetro	Vóltmetro/Óhmetro	MOTOR GENIE MCA
Fallas en Bobinado	✓	✗	✓
Fallas a Tierra	✗	✗	✓
Conexiones Abiertas	✗	✓	✓
Contaminación	✓	✗	✓



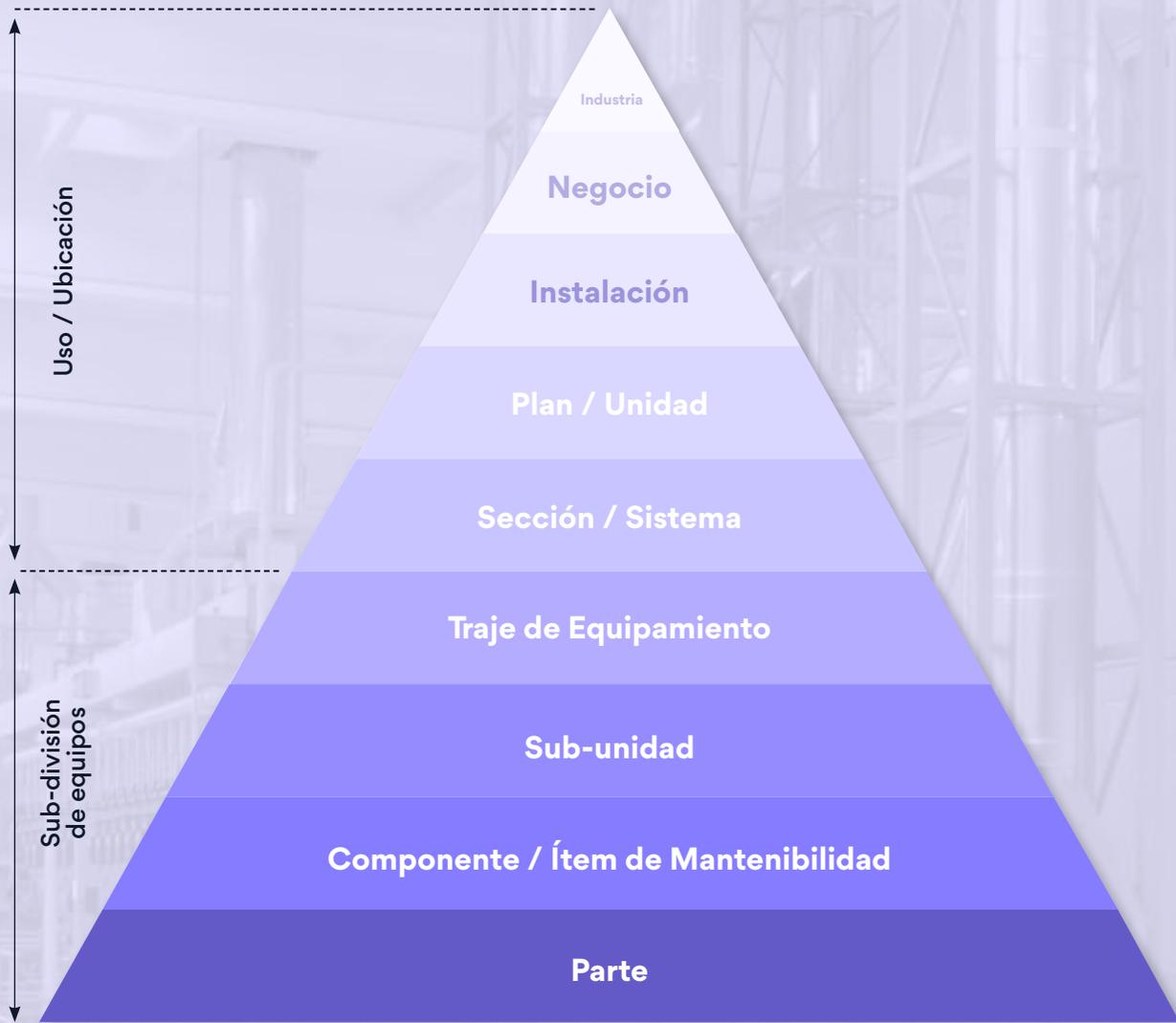
motorgenie.com



"El Motor Genie es el mejor 'megger' que he usado."

Daniel
Braden Electrical Systems





Taxonomía de Activos Físicos



Autor: Geovanny Solorzano Torres
Ingeniero Senior en Confiabilidad y Mantenimiento



Artículo extraído de
Edición No. 26

Resumen

La jerarquización de instalaciones industriales se inició por el cambio en la perspectiva del Mantenimiento, es decir, de reparar solo en caso de falla hacia tener alta disponibilidad durante el ciclo de vida de los activos físicos. Desde entonces se ha facilitado la atención de los requerimientos operacionales y la aplicación de acciones dirigidas a la supervisión del desempeño, a la conservación, y a la restitución de la función de los equipos de producción. Actualmente existe un método denominado “Taxonomía” y este logra agruparlos en niveles taxonómicos relacionándolos con el uso, localización y subdivisión de equipos, además es considerado un fundamento del Mantenimiento y de la Confiabilidad y adicionalmente, una característica del Sistema de Gestión de Activos. En este Trabajo Técnico se presentan los principales modelos de clasificación, jerarquización y desagregación que fueron la base técnica para el nacimiento de la “Taxonomía”; y se abordan aspectos sobre su implementación a través de la disciplina de Ingeniería de la Confiabilidad, su papel como elemento de las estrategias de mantenimiento y contribuyente en la gestión de activos y por último, de manera resumida, se facilita una guía para la elaboración de las estructuras taxonómicas.

Descriptorios o Palabras Clave:

Activo Físico, Activo Fijo, Ingeniería de la Confiabilidad, Jerarquización y Taxonomía.

Introducción

En la Fase Proyecto de las instalaciones industriales, las empresas incurren en costos típicamente conocidos como “Inversión Inicial”, donde son protagonistas los “Costos de Inversión en Bienes de Capital (capital expenditure – CAPEX)” y los “Costos Operativos en Bienes de Capital (operational expenditures - OPEX)”. En la Fase Operación es donde se le da el arranque al sistema productivo, y es puesto en servicio para lograr su estabilización operacional en función de las expectativas de producción, en conformidad con los estándares fijados y, por otro lado, es en esta etapa cuando se realiza la transferencia del proyecto a los nuevos custodios.

Los activos físicos, una vez en operación estable y en contacto con el producto o servicio a vender, tienen como primer objetivo mínimo retornar la “Inversión Inicial”, creando así valor económico para la organización, esta premisa contable es la que convierte financieramente al activo físico en un activo fijo tangible y capitalizable, que a su vez se le asigna un presupuesto, que permitirá su cuidado integral para que cumpla con su función durante su vida útil.

Lo anterior, hace necesario la implementación de la “Taxonomía” para los activos físicos como técnica para direccionar una administración y supervisión controlada de las

Abreviaciones y términos	
AC	Análisis de Criticidad
ACR	Análisis Causa Raíz
ACCV	Análisis Costo Ciclo de Vida (LCC-Live Cycle Costing)
EAM	Sistema de Gestión de Activos Empresariales (Enterprise Asset Management)
AMEF	Análisis del Modo y Efecto de Fallas
CMMS	Sistema de Gestión y Control de Mantenimiento (Computerized Maintenance Management System CMMS)
DDOM	Detección de Desviaciones y Oportunidades de Mejoras
ENT	Equipo Natural de Trabajo
HAZOP	Estudio de Peligros y Operatividad (Hazard and Operability)
IC	Ingeniería de la Confiabilidad
IBR	Inspección Basada en Riesgo
MCC	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
RAM	Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (Reliability, Availability and Maintainability Analysis)
RIM	Gestión de Información de Confiabilidad (Reliability Information Management)
TPM	Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance)

acciones dirigidas al cumplimiento de requisitos por medio del desempeño, y a su conservación durante el ciclo de vida preestablecido para estos. Finalmente, este trabajo técnico responde a preguntas como:

¿Por qué la jerarquización de instalaciones industriales es una estrategia de mantenimiento y confiabilidad? ¿Cuándo y por qué se debe iniciar un proyecto de taxonomía de activos físicos? ¿Cuándo nace la taxonomía como fundamento del mantenimiento? ¿Cuál es el papel de la taxonomía en la Gestión de Activos? ¿Cómo, con qué y con quiénes se debe elaborar la estructura taxonómica? y ¿Qué beneficios se obtienen a través de la taxonomía de activos físicos?

La Taxonomía como Fundamento de la Confiabilidad y el Mantenimiento

Una jerarquización de activos físicos es un método sistemático y una lista completa de todos estos, en un orden lógico, claro, holístico y desagregado que facilita la localización de registros y datos técnicos y financieros desde niveles superiores a inferiores o viceversa. Además proporciona un marco adecuado para que la empresa estructure datos en un sistema de información y facilita la clasificación de sus equipos de producción en categorías, clases y tipos (Water Research Foundation - WERF (2012).

Entre los propósitos de la jerarquía técnica están:

1. Mostrar las interdependencias técnicas de la instalación industrial.
2. Registro de tags, equipos y repuestos.
3. Registro de documentos y planos.
4. Registro de datos históricos de mantenimiento en el CMMS.
5. Planificación, programación y cierre de trabajo de mantenimiento.
6. Distribución de costos y recuperación.
7. Planificación y organización del programa de mantenimiento preventivo.
8. Planificación del trabajo correctivo inmediato y diferido.

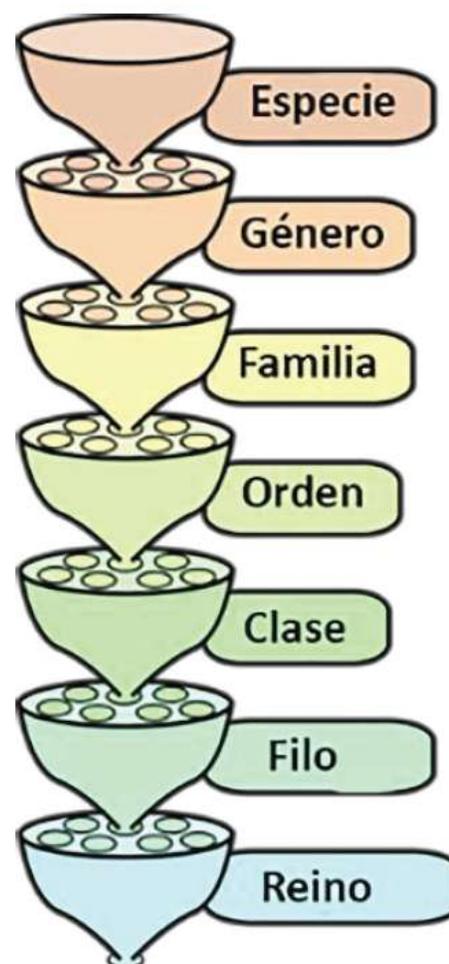


Figura 2.1. Taxonomía de los seres vivos. Fuente: <https://es.slideshare.net/marita1277raffo>

En la Biblia, específicamente en el libro de Génesis en el capítulo 2 versículos del 19 al 20, se menciona lo siguiente: “2:19, ahora bien, Jehová Dios estaba formando del suelo toda bestia salvaje del campo y toda criatura voladora de los cielos, y empezó a traerlas al hombre para ver lo que llamaría a cada una...” y en el “2:20, de modo que el hombre iba dando nombres a todos los animales domésticos y a las criaturas voladoras de los cielos y a toda bestia salvaje del campo...” Adán, el primer hombre en habitar la tierra, aplicó un método para identificar y jerarquizar (taxonomía) a los seres vivos.

Durante el siglo XVIII (1707-1778), el botánico y zoólogo Carlos Linneo propuso un sistema que clasificaba a los seres vivos en diferentes niveles jerárquicos, este fue llamado Taxonomía Linneana (<https://es.slideshare.net/marita1277raffo>), y su esquema se muestra en la figura 2.1.

El uso de los métodos de jerarquización, para la codificación, identificación y registro de los activos físicos de las instalaciones industriales, tuvieron su primera aproximación durante la segunda (1951-1979) y tercera (iniciando en 1980) generación de expectativas de la evolución del mantenimiento. Esto se debió al cambio de premisas en esta disciplina (perspectivas, estrategias y patrones de fallas), lo cual se muestra en la figura 2.2 (Moubray, 1997).

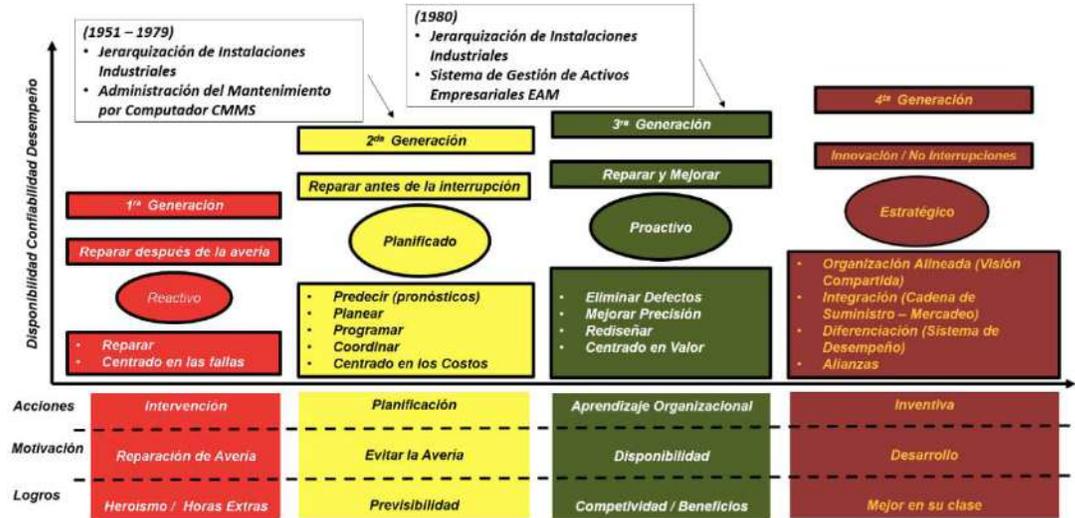


Figura 2.2. El desarrollo de la Gestión del Mantenimiento. Fuente: [Foro Global sobre Mantenimiento y Gestión de Activos (2016)]

A continuación, en la Tabla 2.1, se presentan de forma resumida los métodos de jerarquización de activos físicos postulados desde 1970 al 2013.

Métodos de Jerarquización de Activos Físicos para Instalaciones Industriales			
Año	Ente	Denominación	Aplicación – Propuesta
1970 – 1978	Asociación Técnica Europea para la Generación de Energía y Calor (VGB Power Tech)	Sistema de Identificación KKS (Kraftwerk-Kennzeichen-System)	Centrales de Generación de Electricidad. Clasificación, división y codificación su función (relacionada con el proceso), lugar y puntos de instalación.
	United Airlines (F. Stanley Nowlan)	AD/A006-579 - Reliability-centered Maintenance	Industria Aeronáutica. Jerarquización de partes de aeronaves.
1983 - 1981	John Moubray	RCM2 – MCC2	Industria en General. Jerarquización, codificación y diagramas de bloque funcionales.
1993 - 1995	Comisión Venezolana de Normas Industriales	COVENIN 3049-93 "Mantenimiento – Definiciones"	Industria en General. Desagregación y codificación de los objetos de un sistema productivo.
	National Aeronautics and Space Administration - NASA de los EEUU.	Manual de Sistemas de Ingeniería (NASA Systems Engineering Handbook).	Instalaciones y Proyectos de la NASA. Organización Sistemas de Ingeniería.
1999 2006 2016	Organización Internacional de Normalización (ISO)	ISO 14224:2016 "Colección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos para la industria petrolera, petroquímica y del gas"	Industria Petrolera, Petroquímica y del Gas. Puede ser adaptada a otro tipo de industrias con algunas limitantes. Taxonomía – Clasificación de Activos Físicos, en Niveles Taxonómicos.
2001 2011 2017	NORZOK – Asociación Noruega de Petróleo y Gas y la Asociación de Armadores de Buques Noruego	NORZOK Z-008:2001 y 2011 "Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento" NORZOK Z-008:2017 "Mantenimiento basado en el riesgo y clasificación de consecuencias"	Industria Petrolera, Petroquímica y del Gas. Puede ser adaptada a otro tipo de industrias con algunas limitantes. Jerarquización Funcional (principal y sub-función).
2009 2013	WERF - Fundación de Investigación del Agua (The Water Research Foundation)	Análisis de decisiones / Guía de implementación - Desarrollo de herramientas de gestión de activos: resumen de Investigación (SAM1R06)	Complejos de Tratamiento de Agua Potable y Aguas Residuales. Jerarquización con niveles Padre – Hijo.

Tabla 2.1. Métodos de Jerarquización de Activos Físicos para Instalaciones Industriales Fuente: Elaborado por el autor, consultando varias fuentes bibliográficas.

En la tabla 1 se observa, cómo las bases para la elaboración de las estructuras jerárquicas presentadas por VSG Power Tech (plantas de energía – Sistema KKS) durante 1970 - 1978, F.Stanley Nowlan (industria aeronáutica – RCM) desde 1974 – 1970, y por John Moubray (industria general - RCM2) a partir de 1983, permitieron generar marcos referenciales como fundamento para normas internacionales, nacionales e institucionales.

Acotando que La Organización Internacional de Normalización (ISO), emitió en 1999 la primera edición del estándar ISO – 14224:1999 “Colección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos para la industria petrolera, petroquímica y del gas” en donde se menciona

por primera vez la palabra “Taxonomía” como fundamento de la confiabilidad y el mantenimiento.

Etimológicamente, la palabra Taxonomía se origina de dos términos griegos, "taxis" y "nomos", que significan “arreglo, poner orden” y “ley, norma”, respectivamente.

La Taxonomía es definida por la norma ISO 14224:2016 como una “clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes a varios de los ítems.” En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran los métodos de jerarquización propuestos por los estándares internacionales ISO-14224 y NORZOK Z008 y por la Fundación de Investigación del Agua de los EEUU (The Water Research Foundation - WERF WERF).



La Real Academia Española, define la palabra **Taxonomía** de la siguiente forma:

- f. Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación. Se aplica en particular, dentro de la biología, para la ordenación jerarquizada y sistemática, con sus nombres, de los grupos de animales y de vegetales.
- f. Clasificación (II acción de clasificar).

La **Taxonomía** es definida por la norma ISO 14224:2016 como una...

“Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes a varios de los ítems”

En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran los métodos de jerarquización propuestos por los estándares internacionales ISO-14224 y NORZOK Z008 y por la Fundación de Investigación del Agua de los EEUU (The Water Research Foundation – WERF WERF)

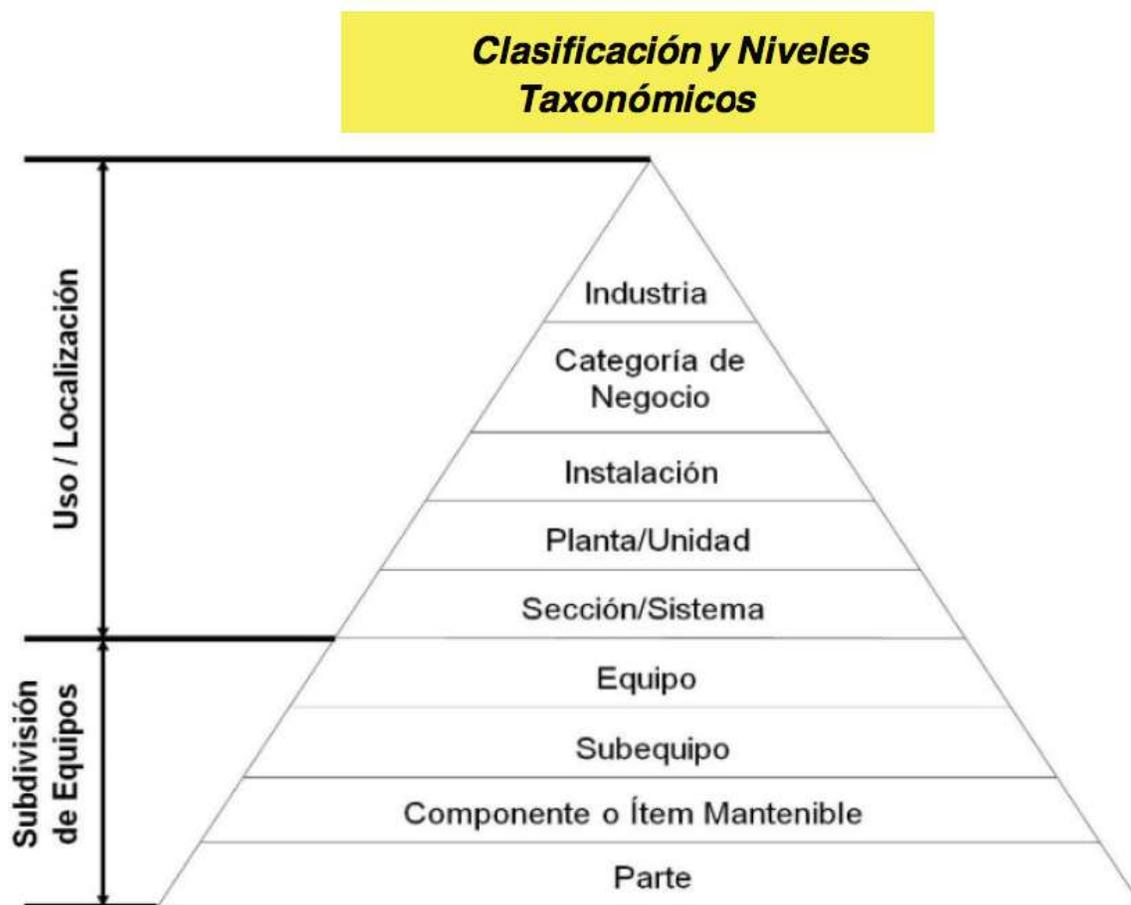


Figura 2.3. Clasificación Taxonómica y Niveles Taxonómicos. Fuente: Norma, ISO-14224:2016.

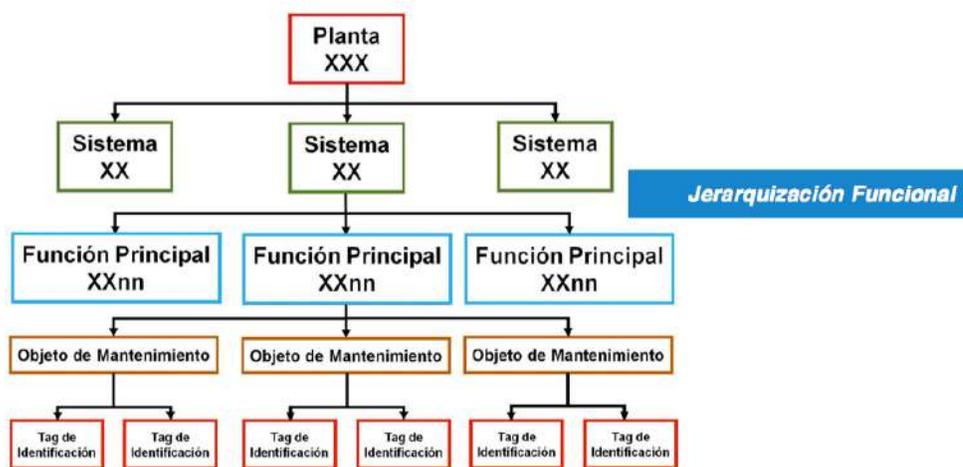


Figura 2.4. Jerarquía de Sistemas y Equipos. Fuente: Norma, NORSOK Z-008:2001

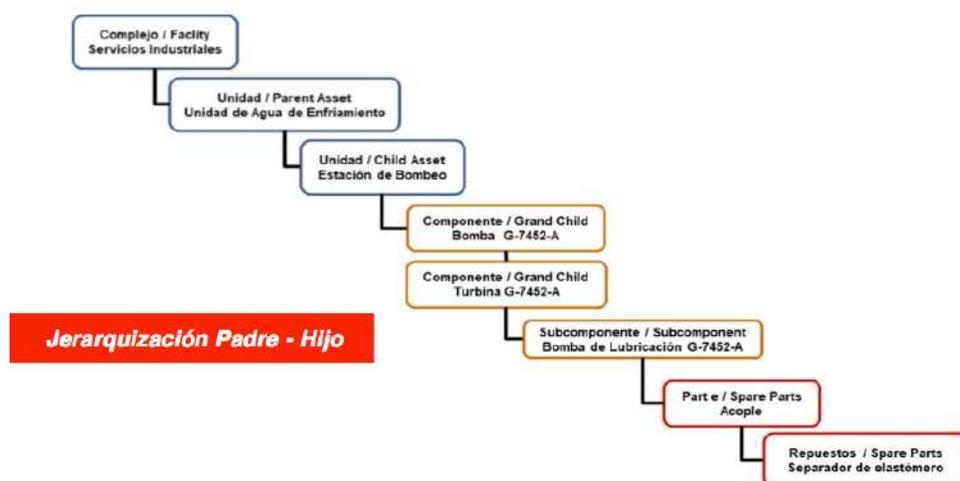


Figura 2.5. Jerarquía de Sistemas y Equipos, esquema Padre e Hijo. Fuente: (<http://simple.werf.org> (2013)) - Adaptado por Solórzano.

En razón a lo anterior, con la aplicación de la norma ISO-14224 se obtiene una jerarquización en dos (2) niveles taxonómicos relacionados con el uso, localización y subdivisión de equipos asociados al negocio del petróleo, gas y de la petroquímica.

Destacando que este estándar puede ser adaptado a empresas de otros rubros, porque para ambos casos, sirve de guía para el registro y tratamiento de datos de mantenimiento y confiabilidad permitiendo que, a través de los análisis de estos, se tomen decisiones dentro del marco del plan gestión de mantenimiento como contribuyente del plan de gestión de activos.

La Taxonomía en la Confiabilidad desde el Diseño

Las industrias, limitan la implementación de las técnicas de confiabilidad y mantenimiento (Jerarquización de equipos (RIM), AC, MCC, IBR, FMEA, RAM, ACR, ACCV, otros) solo a instalaciones en operación. Estas metodologías pueden aplicarse para maximizar el valor del dinero invertido durante el ciclo de vida de los equipos de producción y también en los proyectos de instalaciones industriales, a esta última aplicación se le denomina Confiabilidad desde el Diseño. Estos dos enfoques, están fundamentados por áreas de conocimientos representados en un ámbito organizacional por la disciplina de Ingeniería de la Confiabilidad (IC) (PD-VSA-INTEVEP (2000)).

La IC cumple con un papel integrador entre las diferentes funciones empresariales, es así como se relaciona con el mantenimiento a través de la disponibilidad; con la producción por medio de la productividad; con la logística en la identificación y la gestión de los repuestos críticos; con la ingeniería por su rol en la seguridad de funcionamiento durante todo el ciclo de vida de las instalaciones; con recursos humanos por las competencias laborales requeridas para la operación y el mantenimiento de los equipos de producción; y con la seguridad, por su contribución con el cuidado de las personas, instalaciones y del medio ambiente (Arata, 2013, p.80). La figura 3.1, presenta la integración de la IC con la organización empresarial.



Figura 3.1. Ingeniería de la Confiabilidad Factor Integrador. Fuente: [Arata (2013)].

La IC tiene una cadena de valor, y esta inicia con un análisis benchmarking para un nuevo proyecto (Fase Proyecto), y con el dato registrado producto de un evento para una instalación industrial en operación (Fase Operación), ambos casos finalizan a través de la materialización de su aporte en el plan productivo y de gestión de mantenimiento, contribuyentes del plan de gestión de activos. A continuación, en la figura 3.2 se puede observar la cadena de valor de la IC (Arata, 2013, p.81).

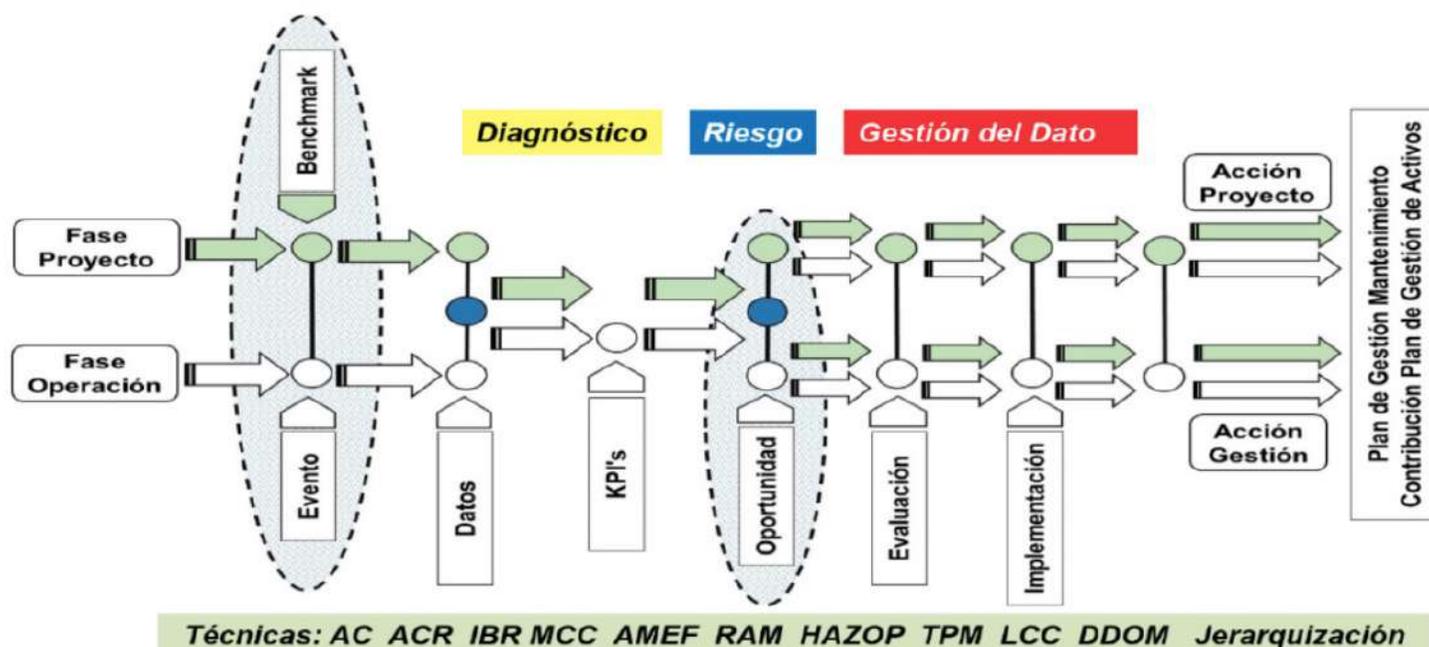


Figura 3.2. Cadena de Valor de la IC. Fuente: (Arata (2013)) - Adaptado por el autor.

En la “Fase Proyecto”, la IC puede agregar valor en el desarrollo del proyecto implementando técnicas de diagnóstico como un RAM, de Riesgo mediante un ACCV; y específicamente elaborando en esta etapa temprana y de antesala a la “Fase Operación” la taxonomía de activos físicos, a través de la Gestión del Dato (RIM).

Con la Gestión del Dato, se transforman los diferentes flujos de información (técnica, legal y financiera) en conocimiento útil y confiable, que permitirá, en primer lugar llevar a cabo la construcción y la puesta en marcha de los proyectos, como segundo punto, se convierte en la base fundamental para la conservación de la función de los equipos de producción durante su ciclo de vida, lo que facilita la consolidación de la data maestra, para definir el nivel de clasificación, jerar-

quización y desagregación de las instalaciones industriales, determinar los niveles de inventario y definir los repuestos críticos. Y el tercero y último aspecto, es que esta información será el soporte para el cumplimiento de la misión departamental de la estructura organizacional preestablecida por la empresa para la “Fase Operación”; y a la que le será transferida la custodia del sistema productivo una vez que los activos físicos se pongan en servicio y se logre la estabilización operacional en función de las expectativas de producción inicial. La figura 3.3, presenta la contribución de la información documentada bajo un esquema general centrado en la gestión de mantenimiento y confiabilidad, clasificándola en los niveles estratégico, táctico y operacional.

Finalmente la IC tiene la responsabilidad de gestionar la información técnica y financiera y elaborar la **“Taxonomía de los Activos Físicos”** del proyecto, antes de:

- Establecer los parámetros y estrategias para la implantación e implementación de los sistemas EAM o CMMS,
- de ejecutar el arranque y puesta en servicio de la instalación industrial,
- realizar la transferencia de custodia de esta
- el cambio de responsabilidades.

En la figura 3.4, se pueden observar las fases asociadas a un proyecto, señalando que la elaboración de la taxonomía de activos físicos debe iniciarse en la fase de definición y desarrollo y culminase antes de la puesta en marcha de las instalaciones, es decir antes de iniciar la Fase Operación.



Figura 3.3. Contribución de la información en los niveles de la organización en la “Fase Operación”. Fuente: [Haider (2007)] – Adaptado por el autor.



Figura 3.4. Fases de un Proyecto para la Elaboración de la Taxonomía de Activos Físicos. Fuente: (Foster (2012)) – Adaptado por el autor.

La Taxonomía en la Gestión de Activos

El estándar ISO-55000:2014 “Gestión de Activos – Aspectos generales, principios y terminología,” en su apartado, 2.5 Aspectos Generales del Sistema de Gestión de Activos, menciona que una taxonomía efectiva, “es una característica del sistema de gestión de activos porque permite dar una visión técnica y financiera integrada de los activos y sistemas de activos, beneficiando así las funciones del departamento de finanzas, debido a la mejora de los datos y los vínculos asociados”.

Con la aplicación de la taxonomía a las instalaciones industriales se apoya el proceso de tener “información documentada” sobre estas, como requisito descrito en las normas ISO-55001:2014 “Gestión de activos – Sistemas de gestión – Requisitos” e ISO-55002:2014 “Gestión de activos – Sistemas de gestión – Directrices para la aplicación de la ISO-55001” específicamente en sus cláusulas 7.5 y 7.6 respectivamente.

Entre las metodologías para la jerarquización de activos físicos que se postularon entre 1970 al 2017, destaca la “Taxonomía” descrita en la norma ISO-14224:2016, por ser la técnica utilizada para la clasificación de las instalaciones en niveles taxonómicos relacionados con el uso, localización y subdivisión de equipos (Manríquez (2017)).

La potencialidad de la taxonomía de activos físicos proviene de su concepto de desagregación (método de roll-up), el cual permite a través del CMMS, en razón a la información documentada realizar un análisis más preciso en las acciones de conservación de los equipos de producción, dando más confianza en la toma de decisiones durante su ciclo de vida (<http://simple.werf.org> (2018)). En la figura 4.1 se esquematiza el nivel de confianza que generan los datos a través de la desagregación desde el nivel 5 (uso y localización) al 9 (subdivisión de equipos) según la norma ISO-14224.

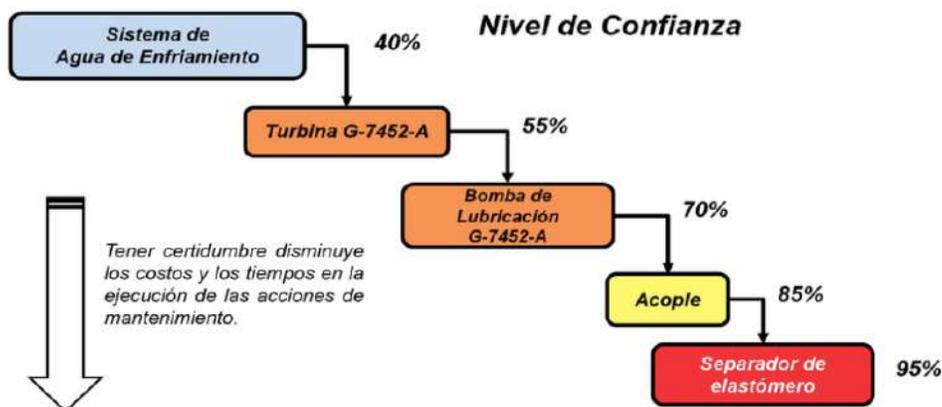


Figura 4.1. Nivel de Confianza -Taxonomía de Activos Físicos. Fuente: [http://simple.werf.org (2018)] - Adaptada por el autor.

La taxonomía es un habilitador en la gestión de mantenimiento, por otro lado, esta última es contribuyente directa de la gestión de activos, en función a lo anterior, en la figura 4.2, se puede detallar el papel como elemento habilitador que tiene la taxonomía.

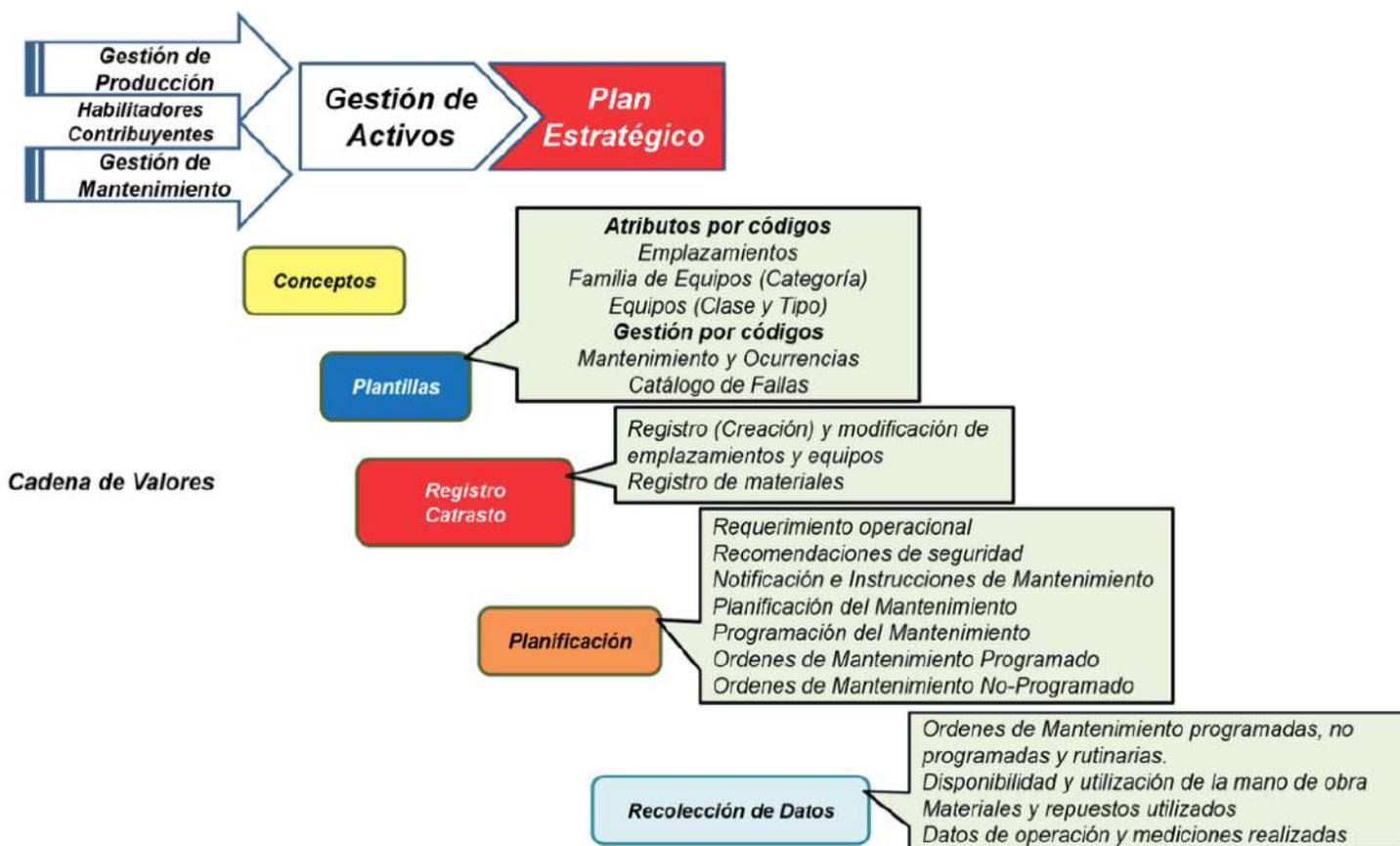


Figura 4.2. La Taxonomía como elemento habilitador y contribuyente. Fuente: [Tavares (2018)] - Adaptado por el autor.

El Foro Global sobre Mantenimiento y Gestión de Activos (Global Forum on Maintenance and Asset Management - GFMAM) planteó en 2016 como estrategias para la gestión de mantenimiento el registro de los activos físicos, y la elaboración de los AC, AMEF y planes de mantenimiento preventivo, es decir, se tiene que:

1. Construir la estructura taxonómica,
2. y como aporte temprano a este proceso identificar los equipos críticos y sus modos de fallas,
3. elaborar los catálogos de fallas y los planes de conservación de los equipos.

A continuación se muestra a través de la figura 4.3 el marco referencial para la gestión del mantenimiento propuesto por el GFMAM.

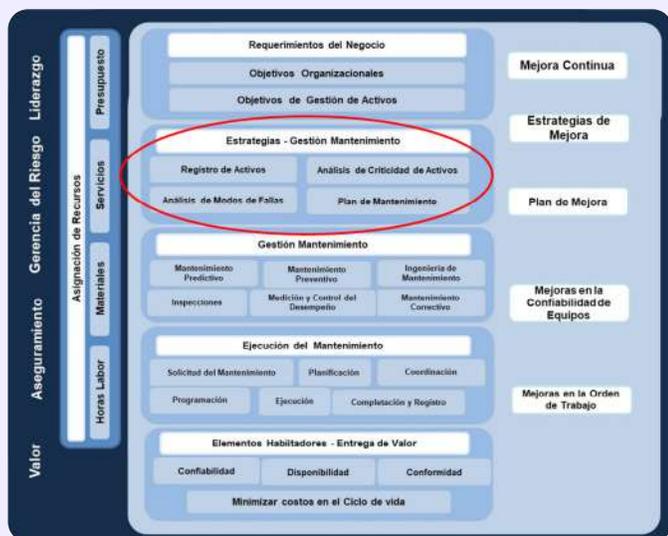


Figura 4.3. Marco Referencial para la Gestión de Mantenimiento. Fuente: [Marco de Referencia del Mantenimiento – GFMAM (2016)].

Proceso para Generar Valor

Como Requerimientos Generales, el primer paso se tiene que enfocar en la conformación del Equipo Natural de Trabajo (ENT). Hasta ahora pudimos conocer que la elaboración de la estructura taxonómica para los activos físicos es responsabilidad de la Ingeniería de la Confiabilidad como

disciplina, pero a nivel de talento humano (activo humano) ¿Quién tiene la responsabilidad de liderar un proyecto de taxonomía de activos? la respuesta es el “Ingeniero de Confiabilidad”, el cual tiene definidas algunas funciones típicas e inherentes a la disciplina de IC, antes de iniciar con la Fase Operación, y estas son:

1. Definir la estructura jerárquica y taxonomía de los activos de planta.
2. Liderar el desarrollo de los análisis de criticidad.
3. Gestionar la base de datos de los activos de la organización, taxonomía, jerarquía, y análisis de criticidad.
4. Garantizar planes de mantenimiento de los activos de acuerdo a sus modos de fallas.
5. Implementación y gestión del programa de Mantenimiento Predictivo.
6. Desarrollar análisis estadístico y modelamiento de las fallas de activos para optimizar los planes de mantenimiento.
7. Liderar los programas de Análisis de Causa Raíz.
8. Liderar planes de implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El ENT, tiene que establecer los procesos, subprocesos y entregables para la elaboración de la estructura taxonómica, como se muestra en la tabla 4.1.

Procesos y Subprocesos para la elaboración de Estructuras Taxonómicas de Activos Físicos			
Procesos	Subprocesos	Acciones	Productos
Datos Maestros	Captura de Información Técnica y Financiera. 10%	* Conformación del ENT. * Revisión y captación de información para los niveles taxonómicos del 1 al 9: * Información Técnica: categoría empresarial, tipo de instalación, plantas (relación con los procesos aguas arriba, medios y aguas abajo), tipo de operación, licenciate del proceso de producción, otros. * Información Financiera: valor de adquisición del activo, centro de costos, imputaciones, área de empresa, otros.	* Estructura Taxonómica preliminar. * Reporte de consolidación de documentos o repositorio de información.
	Registro de estructura taxonómica y carga en el CMMS. 30%	* Revisión y aprobación de estructura taxonómica preliminar para su registro (llenado de plantillas taxonómicas de atributos para UT y OT) * Carga de los niveles 1-5 (relacionados con el uso y localización) en el CMMS, para esta acción las instalaciones son denominados Ubicaciones Técnicas (UT). * Carga de los niveles 6-7 (asociados a la subdivisión de equipos) en el CMMS, para esta acción los equipos son llamados Objetos Técnicos (OT).	* Estructura taxonómica aprobada. * Listado del universo total de instalaciones plantas, sistemas y equipos y registro de información técnica y financiera para los niveles taxonómicos del 1-7. * Reportes informativos sobre el universo de ubicaciones (UT) y objetos técnicos (OT), creados y registrados en el CMMS.
	Registro y carga en el CMMS de Listas de Materiales. 20%	Registro y Carga en el CMMS, del listado de partes mantenibles y repuestos (Bill Of Materials - BOM), niveles taxonómicos 8 y 9 y deben ser asociados a los OT (niveles 6 y 7),	Reportes de carga de listas de materiales a los OT en el CMMS.
Adecuación en Lista de Repuestos	Registro de Intercambiabilidad y Listado de Repuestos (SPIR). 10%	Creación de las hojas de registro de intercambiabilidad de repuestos (Spare Parts Interchangeability Record -SPIR), para registrar las partes y repuestos de equipos que sean iguales en clase, tipo, diseño y fabricante.	Hoja de registro de intercambiabilidad de repuestos (SPIR)
Cuidado de los Activos Físicos	Elaboración de los Planes de Cuidado para los Activos Físicos. 30%	* Establecimiento y aplicación de metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento: AMEF (FMEA), MCC (RCM), ACR (RCA), AAF (FTA) e IBR (RBI), para la elaboración de los planes de conservación de activos físicos y los planes de inspección, y efectuar su posterior carga al CMMS. * Elaboración de catálogo de fallas.	* Planes de Mantenimiento Preventivo (Actividades clasificados en sus 5 Niveles) * Catálogo de Fallas. * Planes de Inspección de Equipos Estáticos. * Paradas de Planta Programadas.

Tabla 4.1. Procesos asociados a la elaboración de la Taxonomía Activos Físicos. Fuente: Elaborado por el autor.

Ejecutados todos los procesos anteriores, y con la estructura taxonómica aprobada, esta debe implementarse a través de un EAM o CMMS, para que ayude a generar valor económico. Esta acción también, permitirá a los nuevos custodios de las instalaciones contar con una base de datos esencial para ejecutar, supervisar y controlar todas las acciones de conservación que necesita el activo físico para asegurar el cumplimiento de su función durante su ciclo de vida en la Fase Operación. A continuación en las figuras 5.1 y 5.2 se muestra un ejemplo de estructura taxonómica de una instalación petrolera y en la 5.3 se presenta de una planta no petrolera según la norma ISO-14224.

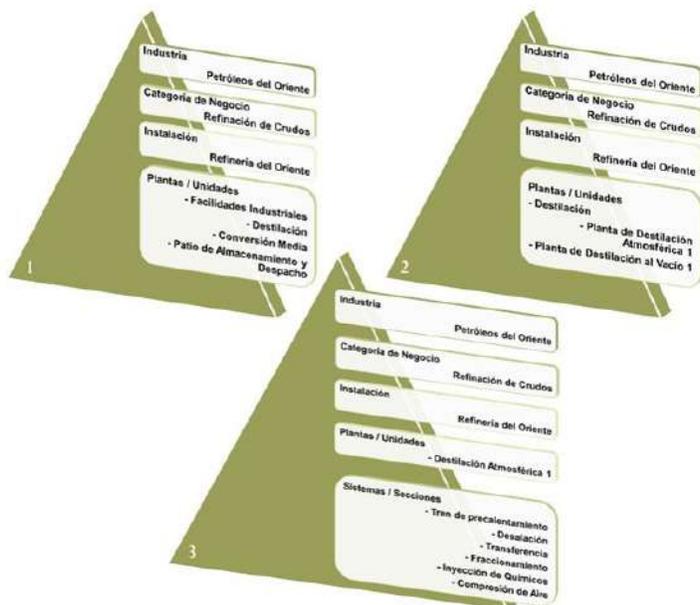


Tabla 5.1. Estructura Taxonómica de una Instalación Petrolera con Niveles del 1 al 5. Fuente: (Elaborada por el autor - ISO-14224:2016).



Tabla 5.2. Estructura Taxonómica de una Instalación Petrolera con Niveles del 1 al 9. Fuente: (Elaborada por el autor - ISO-14224:2016).

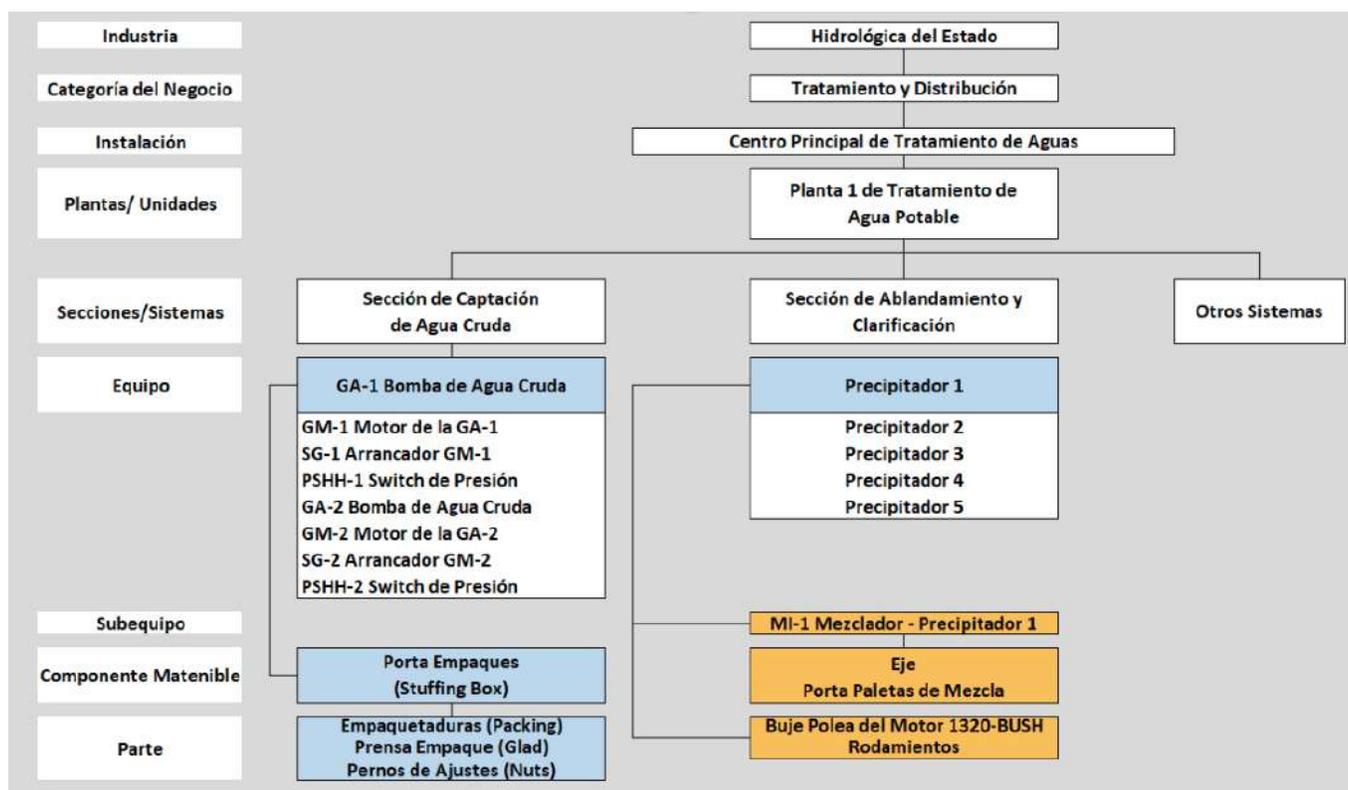


Tabla 5.3. Estructura Taxonómica de una Instalación Petrolera con Niveles del 1 al 9. Fuente: (Elaborada por el autor - ISO-14224:2016).

Beneficios de la Taxonomía de Activos Físicos

- Información documentada del universo total de emplazamientos y de los equipos que los integran, identificando cuales están en disposición de generar valor.
- Datos financieros y técnicos que permitirán la conservación de la función de los activos físicos durante su ciclo de vida.
- Un historial de los activos físicos a través de reportes, notificaciones (avisos) y órdenes de mantenimiento, mediante el registro de datos sobre el desempeño, identificación de componentes fallados, ejecución de acciones preventivas, correctivas, programadas, de mejoras y costos asociados.
- Mejoras en el proceso presupuestario direccionado a los activos físicos (formulación, aprobación, ejecución, administración, control y revisión).
- Un buen desempeño en los procesos del departamento de mantenimiento, captura y diagnóstico, planificación, programación, ejecución, cierre y la satisfacción del cliente.
- El cumplimiento de las responsabilidades establecidas por el nivel estratégico para los niveles táctico y operativo.

Además la taxonomía constituye un insumo importante para:

- Generar una orientación general hacia los procesos productivos y las funciones de los equipos.
- Realizar los Análisis de Criticidad y Planes de mantenimiento.
- Establecer indicadores con perspectivas del negocio basado en premisas financieras, cliente/proveedor, procesos internos, capacidad, otros.
- Elaborar estudios de confiabilidad y mantenimiento.
- Mejorar y elaborar los planes de mantenimiento preventivo para los activos físicos.
- Facilitar la atención de requerimientos operacionales, de producción, mercadeo, otros.
- Asegurar los recursos necesarios, para la ejecución de los planes de mantenimiento preventivo, acciones correctivas y programadas.
- Elaborar iniciativas de benchmarking que clasifiquen el desempeño de las plantas y equipos en lo relativo a niveles de confiabilidad, personal, utilización, costo de operación, costos de mantenimiento, incidencias de fallas, reparaciones, otros.
- Implementar la identificación de desviaciones y oportunidades de mejoras y mejores prácticas.

Conclusiones

La creación de las estructuras taxonómicas permite representar a través de una información documentada los emplazamientos y equipos que componen las instalaciones de una organización, para ser transferidas a los softwares de gestión empresarial o específicamente a los de control de mantenimiento (EAM/CMMS).

Una taxonomía para los activos físicos conduce a una administración controlada de las acciones dirigidas a su conservación, sean estas preventivas, correctivas, programadas, de mejoras o de reemplazo durante el ciclo de vida preestablecido para estos.

A través de la estructura taxonómica de activos físicos, se generan para la gestión del mantenimiento aportes tempranos, para la elaboración de los análisis de criticidad y planes de mantenimiento.

La taxonomía de activos físicos proporciona información para realizar mejoras en la formulación, aprobación, ejecución, administración, control y revisión de presupuestos de mantenimiento de los activos.

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ ACR

La evolución es:

Método + Software
Sologic + Causelink

 **SOLOGIC**[®]
causelink[®]



Incluye:

- ✓ Método ACR Sologic
- ✓ Línea de Tiempo
- ✓ Espina de Pescado
- ✓ 5 Porqué
- ✓ Causa-Efecto

**AGENDA DEL
1ER TRIMESTRE DEL AÑO**



WEBINARS

- 15 de Febrero de 2024. 2pm GMT-03
NUEVAS SOLUCIONES DE SOLOGIC: LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y LA PREVENCIÓN EN EL 2024
- 21 de Marzo de 2024. 2pm GMT-03
¿PODRÁ LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL RESOLVER LOS PROBLEMAS?
- 18 de Abril de 2024. 2pm GMT-03
CÓMO ELEGIR LA HERRAMIENTA DE ACR MÁS EFECTIVA



CURSOS ABIERTOS

- 5 de Marzo
Facilitador (Modalidad Virtual)
- 14 de Mayo
Facilitador Líder (Modalidad Virtual)



5TO. ENCUENTRO ENTRE PARES
25 de Abril - 17pm GMT-03



E-mail infolatam@sologic.com
☎ +54 911 3474 1012 ☎ +52 993 214 9385
www.sologic.com/es-mx

 **SOLOGIC**[®]

¿Varios tipos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)?

Autor: John Mitchell Moubray IV

Traducción y adaptación: Carlos Mario Pérez Jaramillo
Ingeniero mecánico. Especialista en sistemas de información.



Artículo extraído de
Edición No. 32

Introducción

Es ampliamente aceptado que viajar hoy en avión es la forma más segura para transportarse. Al final de los años 50 la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentalidad, ocurrirían dos accidentes aéreos diariamente en algún lugar del mundo. Dos tercios de los accidentes al final de los años 50 eran causados por fallas en los equipos.

Esta alta tasa de accidentalidad y el auge de los viajes aéreos significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la confiabilidad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los activos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que apuntar a la confiabilidad de los mismos.

En esos días, “mantenimiento” significaba intervenciones periódicas. Todos esperaban que los motores y otros elementos importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto condujo a creer que las tareas periódicas mantendrían en buen estado los elementos antes de que se gastaran y así prevendrían fallas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que estaba realizando muy tardíamente las intervenciones: después de iniciado el desgaste. Naturalmente, el esfuerzo inicial era acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando ejecutaban las reparaciones los directores e ingenieros de mantenimiento de las aerolíneas encontraban que en la mayoría de los casos la ocurrencia de fallas no se reducía y, por el contrario, se incrementaba.

Nace RCM

RCM fue uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970, con la finalidad de ayudar a las organizaciones a determinar las políticas para mejorar el desempeño de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas.

El Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es usado para determinar qué debe ser hecho para asegurar que cualquier activo físico o sistema continúe entregando el servicio que sus usuarios desean que preste. Este proceso encuentra sus raíces en la industria de la aviación comercial internacional. Impulsada por la necesidad de optimizar la confiabilidad, esta industria desarrolló un proceso detallado para decidir qué mantenimiento era necesario ejecutar para mantener una aeronave volando. Este proceso evolucionó permanentemente desde sus inicios en 1960.

Muy pronto fue evidente que no existía otra técnica comparable a RCM para identificar qué se debe hacer para preservar las funciones de los activos físicos. Como resultado, este proceso ha sido usado por miles de organizaciones que se extienden a casi todos los campos importantes del trabajo humano organizado. RCM se convirtió en una herramienta para la gestión de los activos físicos.

Su creciente popularidad ha conducido al desarrollo de numerosos derivados. Algunos de éstos son refinamientos y optimizaciones hechos al proceso original. Sin embargo, también han surgido enfoques menos rigurosos, la mayoría de los cuales son propuestas para “abreviar” el proceso básico de formulación de una estrategia de mantenimiento.

RCM fue originalmente diseñado por Stanley Nowlan y Howard Heap, empleados de United Airlines, y documentado en su libro *Reliability Centered Maintenance*. Esta obra fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos; un proceso que produjo inicialmente un documento presentado en 1968, llamado *Guía MSG-1: Manual. Evaluación del mantenimiento y desarrollo del programa*; y el documento presentado en 1970: *MSG-2. Planeación de programas de mantenimiento para fabricantes-aerolíneas*;

ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America: Asociación de Transportadores Aéreos de los EE. UU.).

En 1980 la ATA produjo el MSG-3: Documento para la planeación de programas de mantenimiento para fabricantes-aerolíneas, influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG-3 ha sido revisado once veces, la primera vez en 1988 y la última en 2015. Hasta el presente es usado para desarrollar planes de mantenimiento para la aviación comercial.

El Departamento de Defensa identificó que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para definir estrategias de mantenimiento y buscó beneficiarse de esta experiencia y publicó el libro de Nowlan y Heap (a quienes habían encargado de buscar maneras para hacer menos costosos sus planes de mantenimiento). Así, las fuerzas armadas americanas se propusieron desarrollar procesos RCM para su propio uso: en el ejército, la fuerza aérea, y para la armada. La última desarrolló dos procesos porque los responsables de buques y aviación insistieron en que un proceso RCM que funcionaba en uno no serviría para el otro. Los contratistas y los vendedores aprendieron a usar estos procesos cuando vendían activos nuevos.

En un esfuerzo separado, a principios de 1980, el Instituto para la Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI por sus siglas en inglés), un grupo de investigación industrial para organizaciones generadoras de energía en Estados Unidos, realizó dos aplicaciones piloto del RCM en la industria de la energía nuclear americana.

Su interés surgió de la creencia de que esta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero en realidad se hacía sobremantenimiento masivo a sus activos. Esto significaba que su principal propósito era reducir costos de mantenimiento y no mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM fue modificado.

Modificaron tanto el proceso RCM que su parecido es poco con el original de Nowlan y Heap, y debió ser renombrado como Optimización del mantenimiento planeado o PMO – por sus siglas en inglés– más que como RCM. Este proceso modificado fue adoptado por una amplia base de organizaciones de la industria de la energía nuclear americana en 1987, y se implementaron variaciones en su enfoque en otras organizaciones nucleares, en algunas ramas de la generación eléctrica, la distribución, la industria y en sectores como la provisión de repuestos para la industria petrolera.

Al mismo tiempo, otros especialistas en la formulación de estrategias se interesaron en la aplicación de RCM en industrias diferentes a la aviación. El principal fue John Moubrey y sus asociados. Este grupo trabajó inicialmente con RCM en industrias mineras y de manufactura en Sudáfrica,

bajo la asesoría de Stan Nowlan, y luego se ubicaron en el Reino Unido. Desde allí sus actividades se han expandido para cubrir la aplicación de RCM en casi todos los sectores industriales, actualmente abarcando más de 80 países.

Moubrey y sus asociados se han fundamentado en el trabajo de Nowlan, mientras mantienen su enfoque original en la seguridad y confiabilidad del activo. Por ejemplo, incorporaron temas ambientales al proceso de toma de decisiones en materia de RCM; establecieron categorías en las cuales las funciones del equipo deberían ser definidas; desarrollaron reglas más precisas para seleccionar tareas de mantenimiento e intervalos para su ejecución, y también incorporaron directamente criterios de riesgo cuantitativo para definir la frecuencia de las tareas de búsqueda de fallas. Su versión mejorada del RCM se conoce actualmente como el RCM2.

Una Norma

Desde inicios de 1990 muchas organizaciones han desarrollado versiones del proceso RCM: El Comando Aéreo Naval de Estados Unidos definió una guía para el “Proceso de mantenimiento centrado en la seguridad para la aviación naval” (Navair 00-25-403) y la Armada Real Británica estableció sus Normas para la ingeniería naval orientadas a RCM” (NES 45), instituciones que han permanecido leales al proceso expuesto originalmente por Nowlan y Heap.

Sin embargo, nuevos procesos han emergido y han sido llamados RCM por sus proponentes, pero tienen poco o ningún parecido con el proceso original desarrollado por Nowlan y Heap, que fue meticulosamente investigado, es altamente estructurado y ha sido completamente probado.

Cuando la armada americana solicitó a los proveedores de equipos usar RCM en la construcción de nuevas naves, una compañía americana ofreció un proceso cercanamente relacionado al MSG-2 de 1970. La compañía defendió su selección anotando que su proceso usó un diagrama de decisión lógica. Debido a que RCM también los usa, la compañía argumentó que su proceso era RCM.

La armada no dio respuesta a dicho argumento porque en 1994 William Perry, Secretario de Defensa de Estados Unidos, estableció una nueva política sobre el uso de estándares y especificaciones para el ejército.

La nueva política establecía que las fuerzas armadas no requerirían que los vendedores industriales usaran más “estándares” o procesos “específicos” de orden militar, y permitirían a los vendedores usar cualquier proceso que suministrara activos que les satisficieran.

Esto coincidió con el repentino interés en el mundo sobre el tema. Durante los 90 las revistas y conferencias dedicadas al mantenimiento de activos se multiplicaron y los artículos

y documentos acerca de RCM se hicieron más numerosos. Estos documentos describían procesos muy diferentes y, no obstante, se les estaba dando el mismo nombre RCM; por tanto, el ejército y la industria comercial vieron la necesidad de acuñar la frase “Proceso RCM”.

En 1994, Perry escribió: “Yo animo a los miembros del Departamento de Defensa (Adquisiciones y Tecnología) a formar sociedad con asociaciones industriales para desarrollar estándares no gubernamentales y reemplazar los estándares militares donde sea práctico”. La Junta de Normas Técnicas de la SAE tuvo una larga y cercana relación con la comunidad de normas de las Fuerzas Armadas, y por varios años ha colaborado en el desarrollo de estándares comerciales para reemplazar los de carácter militar, cuando ha sido necesario y cuando no ha existido ninguno previamente.

Los procesos que declaran ser RCM, pero que de hecho no son parecidos a su significado real, se ubican en dos categorías:

- Procesos RCM eficientes, que omiten pasos significativos o hacen uso excesivo e inadecuado de patrones o referencias como vías rápidas.
- Otros que usan el término RCM, pero no tienen relación con el proceso como lo entiende el enfoque inicial de la metodología.

Estas versiones son todas inadecuadas y la mayoría de ellas peligrosas. Fue por ello que en un intento por hacer algo al respecto, al final de la década de los años 90, un comité de la American Society of Automotive Engineers, SAE, trabajó para desarrollar una norma RCM. El principal objetivo era evitar que vendedores de procesos, que no cumplían con la norma, aunque la llamaron RCM, usasen el proceso sin control.

La SAE invitó formalmente un grupo de representantes de la aviación, la armada y de comunidades áreas, para que le ayudaran a desarrollar una norma aplicada a programas de mantenimiento. A fines de 1997, a este grupo se unió un número considerable de importantes representantes de RCM, provenientes de la industria comercial.

La norma aprobada por SAE no representa un proceso RCM estándar (SAE JA 1011). Su título es Criterios de evaluación para procesos de Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Esta norma presenta criterios contra los cuales se pueden comparar diferentes procesos. Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede tranquilamente llamarlo proceso RCM. Si los criterios no satisfacen, debería llamarse de otro modo.

No necesariamente significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE RCM no sean procesos válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento; simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

Obviamente, habrá numerosas fuerzas trabajando contra la aceptación universal de la norma; unas, porque sienten que amenaza a vendedores de procesos RCM que incumplen la norma y, otras, representadas por personas que han estado aplicando tales procesos. El qué tan eficaces sean es incierto; muchas intentan declarar que versiones de RCM usadas ampliamente, pero no complacientes (tales como MSG-3 o la versión de Mac Smith), son de hecho la verdadera realidad, y afirmarán que la norma SAE es errónea.

Dos manifestaciones de la controversia son:

- Argumentan que los términos Mantenimiento centrado en confiabilidad y RCM no aparecen en ninguna parte del documento MSG-3; por tanto, sugieren que éste ni siquiera manifiesta ser RCM. No obstante, la mayoría de personas del comité que escribió la norma eran representantes del Comando Naval Aéreo de Estados Unidos (Navair). Esto viene al caso porque el reporte de Nowlan y Heap fue originalmente requerido por el Departamento de Defensa, especialmente por Navair. Desde que el reporte de Nowlan y Heap fue publicado, agentes de Navair han usado RCM rigurosamente, en forma extensiva y razonable; así que no sólo tienen un muy buen conocimiento de él, sino que ellos son una de las principales razones por las cuales se inventó este término, en primera instancia. Como resultado, están en una posición más sólida que la mayoría para responder qué es y qué no es RCM.
- Intentan hacer creer que la norma puede ser recibida con escepticismo por parte de personas que trabajan en otros sectores de la industria, que piensan que la SAE sólo atañe a automóviles, y sugerir que la norma está dirigida sólo a estas aplicaciones y tiene poco o ningún uso en petroquímicas o empresas de energía. Si bien la norma contó con gran apoyo de Navair, también tuvo gran acogida en la industria del acero (Ron Thomas de Dofasco), la industria química (Dick Pettigrew de Rhom y Haas), y en el Comando Naval Aéreo (representado por Dana Netherton).

El siguiente párrafo cita la sección 5 de la norma, la cual resume los atributos principales de cualquier proceso RCM; y pretende asegurar que se respondan satisfactoriamente las siguientes siete preguntas, y en la misma secuencia:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros esperados de funcionamiento del activo en su actual contexto operacional (funciones)?
- ¿Cómo puede dejar de cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional (modos de falla)?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?

- ¿En qué forma es importante cada falla (consecuencias de la falla)?
- ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?
- ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada (acciones por “a falta”)?

Para dar una respuesta satisfactoria a cada una de las anteriores preguntas, la información debe ser obtenida, y las decisiones deben ser tomadas. Estas deben ser documentadas en forma tal que estén disponibles y aceptables para el propietario o usuario del activo.

Las otras secciones de la norma listan temas que cualquier proceso RCM debe aplicar con la finalidad de responder satisfactoriamente cada una de las preguntas mencionadas. Sin embargo, las palabras claves de la sección 5 de la norma están en la primera frase. Son: “cualquiera”, “todas” y “en la secuencia mostrada a continuación”. Ellas quieren decir que si algún proceso no responde todas las preguntas en la secuencia mostrada (y si no las responde satisfactoriamente en cumplimiento del resto de la norma), ese proceso no es RCM.

Durante los años de experiencia en los que los autores han participado en procesos de capacitación y asesoría en RCM a organizaciones de diferentes sectores económicos, han encontrado, de manera desafortunada, que las aplicaciones no rigurosas conducen a resultados con poco apego metodológico, algunos de los hallazgos más comunes son:

- Análisis de RCM sin contexto operacional.
- Incorrecta definición de funciones.
- Funciones de protección y de lazos de control incompletas.
- Análisis incompleto de los modos de falla de cada falla funcional.
- Análisis de criticidad realizado a los modos de falla.
- Descripción incompleta de los efectos.
- Definición de tareas sin validar adecuadamente si son técnicamente factibles y merecen la pena.
- Definición de las frecuencias de las tareas sin criterio.
- Estimación de la duración de los análisis de manera arbitraria, sin considerar los sistemas del activo.

Encontrarse con por lo menos una de estas situaciones afecta la aplicación de la metodología como ha sido definida y desarrollada, y así los resultados de su implementación.

Procesos Abreviados

Si RCM es aplicado correctamente por personas bien capacitadas, trabajando en proyectos claramente definidos y administrados adecuadamente, los análisis son usualmente pagados por sí mismos entre semanas y meses; en realidad, es un rápido retorno. Aun así algunas personas y organizaciones han invertido mucha energía en propuestas para reducir el tiempo y los recursos requeridos para aplicar el proceso RCM. Estas propuestas son conocidas como Técnicas abreviadas de RCM.

En este documento se destacan las principales características de los enfoques publicados como técnicas abreviadas del proceso. En todos los casos, sus proponentes manifiestan que su principal ventaja es que logran resultados similares a algo que ellos llaman RCM “clásico”, pero lo hacen en mucho menos tiempo y a un costo mucho más bajo. Sin embargo, no sólo es cuestionable esta aseveración, sino que las técnicas abreviadas tienen otras desventajas, algunas muy serias. Desventajas que son presentadas en los párrafos siguientes:

Enfoques en “Reversa” o retroactivos

El método más popular para “abreviar” RCM inicia con las tareas actuales de mantenimiento. Sus usuarios tratan de identificar la causa falla que cada tarea está dispuesta a prevenir, y desarrollan en adelante los últimos tres pasos del proceso de decisión de RCM, para reexaminar las consecuencias de cada falla e identificar un plan de manejo más efectivo. Este enfoque también se conoce como RCM de “adaptación invertida” o “en reversa”.

Los enfoques retroactivos son muy llamativos. Sin embargo, en realidad, están dentro de las tecnologías más peligrosas, por las siguientes razones:

Asumen que los planes de mantenimiento actuales cubren casi todas las causas de falla que razonablemente requieren algún tipo de mantenimiento preventivo. Si RCM es aplicado correctamente, revela que la mayoría de causas de falla que realmente requieren mantenimiento preventivo no están cubiertos por las actuales tareas de mantenimiento. Como resultado, un considerable número de tareas tienen que ser adicionadas. La mayoría de estas tienen que ver con dispositivos de protección. Otras son eliminadas por identificarse que son innecesarias, o el tipo de tarea es cambiada, lo mismo que la frecuencia. El efecto neto es una reducción en las cargas de mantenimiento preventivo, percibidas comúnmente entre 40% y 50%.

- Al aplicar RCM retroactivo, con frecuencia es difícil identificar con precisión cuál falla motivó la selección de una tarea particular, es tan complejo que requiere dedicar mucho tiempo a tratar de establecer la

conexión real, o a desechar suposiciones que son frecuentemente erróneas. Estos dos problemas hacen de este enfoque una base extremadamente frágil para construir sobre ella un plan de mantenimiento.

- Para reevaluar las consecuencias de cada causa de falla es necesario preguntarse si “la pérdida de función es causada por un modo de falla evidente para el equipo de operación, bajo circunstancias normales”. Esta pregunta sólo puede ser respondida estableciendo qué función se pierde realmente cuando la falla ocurre. Esto significa que las personas que están involucradas en el análisis tienen que iniciar identificando funciones, pero bajo este enfoque tratan de hacerlo sobre bases provisionales a mitad de camino.
- Los enfoques retroactivos son especialmente débiles en especificar el mantenimiento apropiado para dispositivos de protección; muchos planes existentes garantizan que al menos un tercio de los dispositivos de protección reciban cualquier atención (usualmente a intervalos inadecuados). Estos planes dejan de lado otro tercio de estos dispositivos y no se les presta ninguna atención; además es usual encontrar que nadie sepa que existe el tercio final. Esta falta de conciencia y atención significa que la mayoría de dispositivos de protección son mantenidos en forma deficiente o ningún mantenimiento es realizado en ellos. De manera que si alguien usa un enfoque retroactivo RCM, en la mayoría de los casos un gran número de dispositivos de protección continuará sin recibir atención en el futuro, porque en el pasado no fueron definidas tareas para ellos.
- Los enfoques retroactivos se centran más en reducir la carga de trabajo que en mejorar el desempeño de la organización (objetivo principal de RCM, orientado a la función), así los retornos generados por el uso de RCM como herramienta para reducir costos de mantenimiento, son usualmente más bajos que los retornos generados para mejorar la confiabilidad. El uso de un enfoque ostensiblemente más económico se convierte en estos términos en lo contrario, debido a que virtualmente ofrece retornos mucho menores que el verdadero RCM.

Uso de análisis genéricos

Una vía rápida en la aplicación de RCM es recurrir a un análisis realizado a un sistema o activo idéntico desde el punto de vista técnico, sobre la base de que es más barato comprar un análisis realizado por un tercero que realizar el análisis particular, propio.

Los siguientes argumentos explican por qué los análisis genéricos deben ser tratados con precaución:

- **Contexto operacional:** en realidad, sistemas o activos técnicamente idénticos requieren planes de mantenimiento completamente diferentes si el contexto operacional es diferente. Varios factores afectan este contexto y, por tanto, inciden en los planes de mantenimiento que podrían ser aplicados a sistemas técnicamente idénticos: debe analizarse si el activo es parte de un pico de carga u operación, las fluctuaciones en la demanda del mercado y/o suministro de materia prima, la disponibilidad de repuestos, calidad y otros niveles de rendimiento que apliquen al activo, las capacidades de los operadores, del personal de mantenimiento y las redundancias, entre otros.
- **Tareas de mantenimiento:** personas que trabajan en un mismo activo podrían preferir un tipo de tecnología proactiva, mientras un grupo que trabaja en otro activo idéntico puede estar más cómodo usando una tecnología diferente. Esta diferencia no importa mientras las técnicas seleccionadas sean efectivas. Hay mucho que ganar al asegurar que las personas que realizan el trabajo estén cómodas con lo que hacen, que con forzar a cada persona a hacer lo mismo. Ya que los análisis genéricos incorporan un enfoque tipo “talla única” para las tareas de mantenimiento, no satisfacen las exigencias de estas diferencias y, por lo tanto, tienen una oportunidad reducida de aceptación por parte de las personas que tienen que ejecutarlas.

Estos dos puntos significan que se debe ser muy cuidadoso al asegurar que el contexto operacional, las funciones y los parámetros esperados de funcionamiento, las causas de fallas, las consecuencias de las fallas y las capacidades de los operadores y personas encargadas del mantenimiento, sean todas efectivamente idénticas antes de aplicar un plan de mantenimiento diseñado para un activo o para otro. Ello también significa que un análisis RCM realizado en un sistema, nunca debería ser aplicado a otro con la consideración de que los dos sistemas son técnicamente idénticos.

Uso de Listas Genéricas de Causas de Fallas (AMFE)

Las listas genéricas de causas de fallas son listas preparadas algunas veces por terceros, que pretenden cubrir sistemas enteros, pero la mayoría de las veces cubren diferentes grupos o elementos. Estas listas genéricas son presentadas como otro método de abreviar esta parte del proceso en el desarrollo de un plan de mantenimiento. De hecho, deberían ser enfocadas con gran precaución por todas las razones discutidas en la sección previa de este artículo, y por las siguientes razones adicionales:

Las listas genéricas de causas de fallas son listas preparadas algunas veces por terceros, que pretenden cubrir sistemas enteros, pero la mayoría de las veces cubren diferentes grupos o elementos. Estas listas genéricas son presentadas como otro método de abreviar esta parte del proceso en el desarrollo de un plan de mantenimiento. De hecho, deberían ser enfocadas con gran precaución por todas las razones discutidas en la sección previa de este artículo, y por las siguientes razones adicionales:

- **El nivel de análisis puede ser inapropiado:** es posible indagar en cualquier número de niveles cuando se busca identificar causas de falla. El punto en el cual este proceso debería detenerse permite identificar un plan adecuado para el manejo de fallas, y esto puede variar enormemente dependiendo una vez más del contexto operacional del sistema. En otras palabras, al establecer causas de fallas para activos técnicamente idénticos puede ser apropiado, en un contexto, preguntar “por qué” falla una vez puede ser suficiente, y en otro puede ser necesario preguntar “por qué” falla siete u ocho veces. Sin embargo, si se usa una lista genérica, esta decisión habrá sido tomada previamente por los análisis RCM. Así, las causas de falla en una lista genérica pueden haber sido identificadas como resultado de preguntar “por qué” cuatro o cinco veces, cuando sólo era necesario el nivel 1. Significa que lejos de abreviar el proceso la lista genérica condenaría al grupo a analizar más causas de falla que las necesarios. Estrictamente, la lista genérica puede ser enfocada en los niveles 3 ó 4 en situación en que algunas de las causas de falla realmente deberían ser analizadas al nivel 5 ó 6. Así resultaría un análisis demasiado superficial y posiblemente peligroso.
- **El contexto operacional puede ser diferente:** el contexto operacional de un activo puede tener características que lo hacen susceptible a causas de falla que no aparecen en la lista genérica. Recíprocamente, algunos de los modos en la lista genérica podrían ser muy improbables o imposibles en un contexto dado.
- **Los parámetros de funcionamiento pueden diferir:** el activo puede operar bajo parámetros de funcionamiento diferentes; lo que significa que la forma de definir sus fallas puede ser completamente diferente de la usada para desarrollar la lista genérica de causas de fallas.

Omisión de elementos del proceso

Otra forma común de abreviar el proceso RCM es omitir varios de sus elementos. El paso más omitido es la definición de funciones. Los proponentes de esta metodología inician listando causas de falla que podrían afectar cada tipo de

activo, en vez de definir las funciones del activo específico a ser considerado. Lo hacen porque creen que identificar funciones no contribuye suficientemente al uso racional del tiempo, o porque simplemente parecen no ser conscientes de que identificar todas las funciones y los parámetros esperados de funcionamiento de los activos analizados es parte integral del proceso RCM.

Es aceptado por los concedores de la verdadera aplicación de RCM que, en términos de mejoras sobre el desempeño de la organización, los mayores beneficios se obtienen a partir de la definición de la función que se transforma en niveles de desempeño o en cómo el activo es requerido para funcionar. Por tanto, la omisión de este paso cuesta más, en términos de beneficios de utilización, que lo ahorrado al reducir el tiempo de análisis.

Desde el punto de vista puramente técnico, la identificación de funciones y el funcionamiento esperado hacen más fácil identificar las sorprendentes causas comunes (modos de falla) por las que el activo es incapaz de hacer lo que el usuario desea y, por tanto, falla rápido o muy frecuentemente.

Análisis de las funciones o fallas «críticas»

La norma SAE estipula que un verdadero análisis RCM debería definir todas las funciones, y que las causas de falla que podrían ocurrir deberían estar sujetas a la evaluación formal de sus consecuencias y a los pasos de selección de tareas. Las vías rápidas incorporadas en algunos procesos de RCM abreviados tratan de analizar sólo funciones “críticas”, o prefieren evaluar sólo causas de falla “críticas”, a efectuar análisis detallados. Estos enfoques tienen dos defectos

- El proceso de descartar funciones y/o causas de falla por ser “no críticos” necesariamente autoriza eludir o ignorar lo que un análisis detallado podría revelar. Tales suposiciones son erróneas. Sorprende la frecuencia con que algunas funciones aparentemente inocuas y sus causas de falla son responsables de incorporar elementos altamente críticos en términos de seguridad y/o integridad ambiental. Como resultado, la práctica de descartar prematuramente funciones o causas de falla produce análisis mucho más riesgosos, pero debido al análisis incompleto, nadie sabe dónde o cuáles son los riesgos.
- Muchos de los procesos abreviados que adoptan este enfoque aplican pasos adicionales diseñados para “ayudar” a identificar qué funciones y/o causas de falla son críticos o no. En la mayoría de los casos, aplicar estos pasos adicionales toma más tiempo y cuesta más que conducir un riguroso análisis de cada función y cada posible causa de falla, usando el verdadero concepto RCM, y el resultado será considerablemente menos sólido.

Análisis sólo del equipo crítico

Un enfoque para la formulación de una estrategia de mantenimiento, frecuentemente presentado como una forma “abreviada” de RCM, sugiere que el proceso sólo debería ser aplicado al activo “crítico”. Este tema no cae en el ámbito de la norma SAE pues esta considera RCM como un proceso que puede ser aplicado a cualquier activo, y supone que las decisiones acerca de qué activo debe ser analizado y sus limitaciones han sido tomadas previamente antes de aplicar el proceso RCM, definido en la norma. Hubo dos razones por las cuales el proceso de selección del activo fue omitido de la norma:

- Diferentes industrias usan criterios muy distintos para establecer qué es “crítico”.
- Podría decirse mucho más a favor y en contra de usar análisis de criticidad de los activos como medios para decidir si realizar análisis rigurosos, usando técnicas como RCM. Sin embargo, ya que las técnicas de análisis de criticidad no son parte integral del proceso RCM, tal discusión está más allá del alcance de este artículo. Es suficiente decir que es incorrecto presentar tales técnicas como formas abreviadas del RCM, porque ellas no forman parte del proceso, tal como lo define la norma SAE.

Comentarios sobre el uso de RCM

En casi todos los casos los proponentes de enfoques abreviados de RCM aseguran que estos pueden producir los mismos resultados que el verdadero RCM, en cerca de la mitad a un tercio del tiempo. Sin embargo, la discusión anterior indica que dichos enfoques no sólo no producen los mismos resultados que el verdadero RCM, sino que contienen defectos lógicos y de procedimiento, lo cual aumenta el riesgo hasta una extensión tal que confunden cualquier pequeña ventaja que pudieren ofrecer, y la toman como una aplicación de reducción de costos.

También revela que muchas de estas técnicas abreviadas realmente toman más tiempo y cuestan más que el verdadero RCM; por tanto, aun esta pequeña ventaja se pierde. Como resultado, a nivel organizacional aplicar RCM abreviado es cuestionable.

La palabra “abreviado” sugiere que algo se está omitiendo; dejar cosas por fuera inevitablemente incrementa el riesgo. Específicamente, aumenta la posibilidad de una falla anticipada, que podría ocurrir ocasionando graves consecuencias. Si sucede lo peor, gerentes e ingenieros tendrán que dar explicaciones: por qué escogieron un proceso de toma de decisión no óptimo para establecer las estrategias para gestionar sus activos, en primer lugar, en vez de usar uno que cumpliera totalmente con una norma fijada por una organización de carácter internacional, especializada en establecer dichos esquemas.

Un argumento aparentemente avanzado para usar métodos abreviados es que es mejor hacer algo que no hacer nada. Sin embargo, este argumento carece de la condición de que los procesos analíticos descritos anteriormente, sean abreviados o no, requieren que sus usuarios documenten los análisis. Esto quiere decir que están sujetos a auditorías que muestren toda la información y las decisiones que subyacen en la estrategia de gestión de los activos, en la mayoría de los casos donde no han existido previamente.

Si un enfoque NO óptimo es usado para formular estas estrategias, la no existencia de registros escritos hace que cada vía rápida sea mucho más compleja para cada investigador.

Otro argumento para abreviar dice algo así: “Hemos estado usando este enfoque por unos cuantos años y no hemos tenido ningún accidente, entonces debe ser correcto. Esta es una completa equivocación al aplicar los principios básicos del riesgo.

Ninguna metodología puede eliminar completamente el riesgo. Sin embargo, la diferencia entre usar una metodología rigurosa y una menos rigurosa puede ser la diferencia entre la probabilidad de un evento catastrófico de uno en un millón contra uno en diez mil. En ambos casos el evento puede ocurrir el año venidero o puede no ocurrir por miles de años, pero en el segundo caso, es cien veces más probable. Si tal evento sucediera, el usuario del verdadero RCM sería capaz de aseverar y probar que aplicaron medidas de seguridad prácticas y responsables, mediante el desarrollo de un proceso riguroso que cumple con una norma reconocida internacionalmente, y como tal estaría en una posición altamente defendible. Bajo las mismas circunstancias, el usuario del RCM abreviado estaría en un campo muy vulnerable.

LANZAMIENTO

Libro: Toma de Decisiones a lo Largo del Ciclo de Vida de los Activos Físicos

Capítulo 1

Fundamentos de la Ingeniería RAM

Capítulo 2

Toma de Decisión de Inversión de Capital

Capítulo 3

Optimización de la Frecuencia de Mantenimiento Preventivo

Capítulo 4

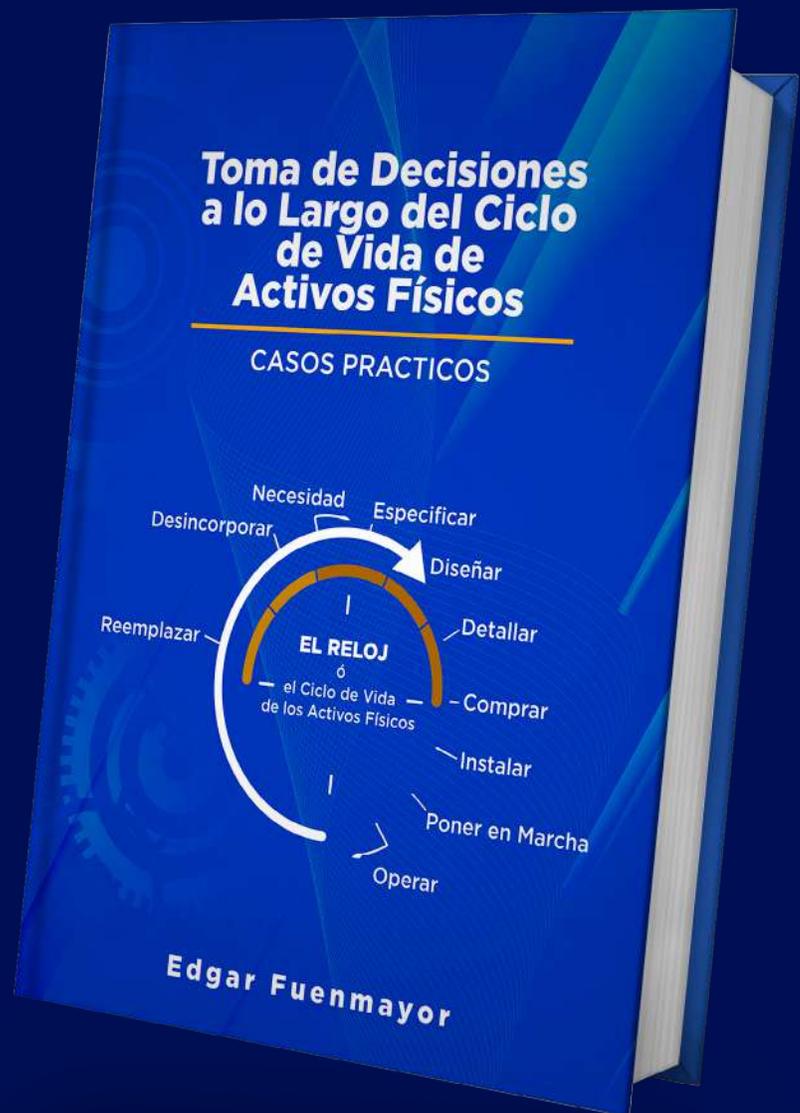
Optimización de la Frecuencia de Inspección

Capítulo 5

Optimización de Inventarios de Baja Rotación

Capítulo 6

Optimización de Inventarios de Alta Rotación



Nuevo libro de **Edgar Fuenmayor**



HABLEMOS DE Mantenimiento Productivo Total



Autor: Enrique Dounce Villanueva
*Profesional independiente en el sector de
Consultoría de Conservación Industrial*

Introducción

Nace en mí la idea de escribir este artículo porque, en mi opinión, la mayor parte de los especialistas en este concepto, incluyendo a consultores, tienen una idea equivocada de lo que es el Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) y creen que éste puede ser implementado en cualquier tamaño de empresa (MIPYME). Lo anterior basado en mi experiencia como consultor de mantenimiento industrial, así como en base en los estudios a fondo que, a lo largo de estos años, mis colegas y un servidor, hemos realizado.

Surgen entonces dos preguntas; ¿qué es el Mantenimiento Productivo Total? y ¿cómo pueden ser aprovechados estos conocimientos por las micros, pequeñas y medianas empresas? Pongámonos en contexto y situémonos en la industria norteamericana durante los años de 1919 a 1939. En esa época ya existía la práctica de las ideas de Adam Smith (División del trabajo), empezaba a cobrar importancia la máquina pues se iniciaba la aplicación de trabajos de Mantenimiento correctivo, y se fueron sumando los trabajos de Taylor Administración científica del trabajo y los de Walter A. Shewhart, W. Edwards Deming y Joseph Juran con sus desarrollos sobre Estadística aplicada a la industria, Control estadístico de calidad y Ciclo Shewhart.

Esta situación originó la existencia de un número considerable de consultores y maestros, que impartieron estos conocimientos a todos los niveles de la industria norteamericana durante veinte años. Podemos pensar con certeza que éstos fueron los ingredientes principales que se “fundieron en un crisol” para dar vida al llamado Mantenimiento Productivo (PM, siglas en inglés) Ver Figura 1.

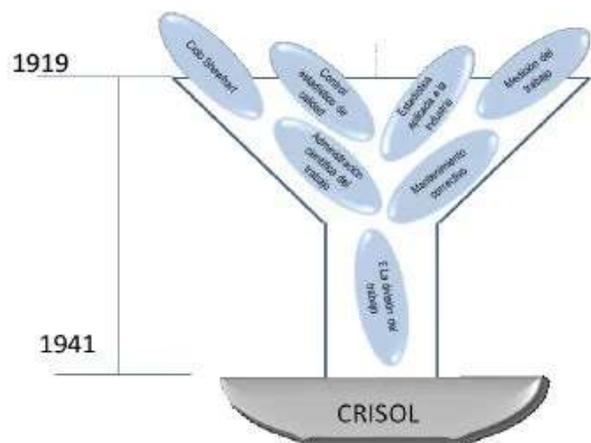


Figura 1. Principales “ingredientes” que intervinieron en la creación del PM.

Al inicio de la Segunda Guerra Mundial en septiembre de 1939, Norteamérica se vio envuelta en el compromiso de ser la industria de guerra (proveedor) de Inglaterra y Francia, obligando a sus fábricas a trabajar las 24 horas del día. El interés de las industrias se enfocó solo para atender los problemas de productividad ahora aumentados por la guerra, por lo que se suspendieron las acciones de desarrollo industrial que se habían tenido antes de ésta. Las industrias dedicadas a pertrechar a los ejércitos aliados, comenzaron a perder su eficacia pues eran necesarias nuevas inversiones para obtener activos físicos y humanos adecuados, lo que hizo aparecer de forma palpable, la división de intereses. Por un lado, como sus propietarios burgueses industriales, no tenían estudios científicos sobre lo que debía ser una empresa, solo les interesaban las ganancias y no el cumplimiento con el usuario del producto. Por otro lado, el personal de la industria, aunque simpatizaba con las exigencias de sus clientes, estaba expuesto a presiones que exigían cada vez una mejor calidad y oportunidad. Por tal motivo, el mismo personal tuvo que dar solución a los problemas que surgían, adaptando y arreglando los activos físicos, mejorando e implementando durante casi tres años nuevos procesos de trabajo, etcétera; todo ello bajo su propia responsabilidad.

El 7 de diciembre de 1941 el ataque a Pearl Harbor ejecutado por la Armada Imperial Japonesa unió a la opinión pública estadounidense y al día siguiente el 8 de diciembre, los Estados Unidos declararon la guerra a Japón. A partir de entonces, Norteamérica continuó administrando su industria con su naciente Proceso Administrativo qué tomó el nombre de “Mantenimiento Productivo (PM, siglas en inglés)”, en el cual continuaron poniéndose en práctica nuevas ideas originadas por el personal que componía cada industria. El patriotismo del personal, incrementado por el ambiente y las grandes presiones a que estaban sujetos, aunado a la falta de apoyo de los propietarios, dieron como consecuencia que todo el personal de cada industria resolviera sus propios problemas. Se empezaron a hacer grupos entre todos los trabajadores de cualquier nivel, para dar sus opiniones a fin de resolver cada problema que se les presentaba y éste fue el nacimiento de los “grupos de trabajo”. En el mismo contexto y con el objeto de que el usuario se sintiera atendido en oportunidad y seguridad en cualquier lugar en donde él lo necesitara, las industrias adoptaron e implementaron las ideas castrenses de los ejércitos aliados (logística), las cuales se sumaron a las existentes y quedaron como parte integral del PM, ver Figura 2.

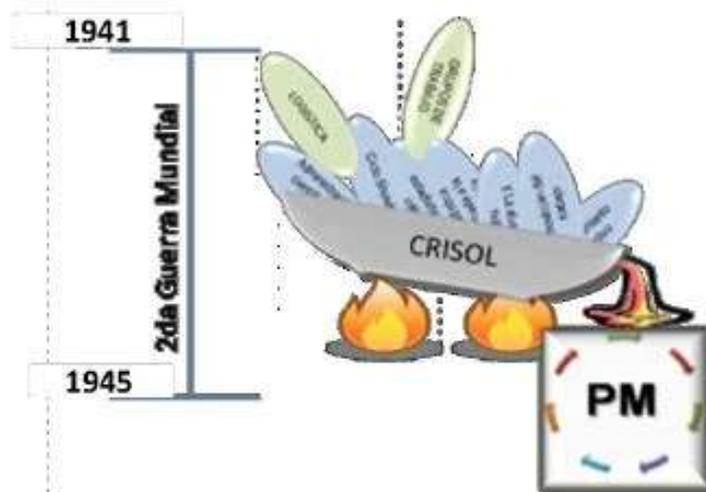


Figura 2. Nuevos “ingredientes” se sumaron para la creación del PM.

Inicio y consolidación del TPM (1948 – 1971)

Recordemos que Japón quedó destrozado como resultado de la guerra y fue ocupado por las fuerzas norteamericanas en septiembre de 1946, por el Comando Supremo de las Fuerzas Aliadas (SCAP, siglas en inglés). El General estadounidense Douglas MacArthur fue nombrado como responsable de establecer un programa de desarrollo con especialistas norteamericanos, para la reconstrucción de esta nación. Dentro de éstos, los más relevantes a nuestro juicio, fueron: W. Edwards Deming, Walter Andrew Shewhart y Joseph Moses Juran.

Desde los primeros años de su estancia en Japón, estos científicos se dieron a conocer con los máximos niveles industriales de ese país, compartiendo sus conocimientos en estadística, en calidad, en grupos PM, en logística, en síntesis en el PM, cuyos buenos resultados ya estaban a la vista del mundo industrial. Los especialistas mencionados empezaron su asesoría en ese nivel debido a que su objetivo, era la rehabilitación industrial del Japón para que éste pudiera pagar sus deudas de guerra. La experiencia que ellos habían tenido durante el lapso de 1939 a 1945 les había mostrado la incongruencia de no preparar en el PM a los propietarios y altos niveles industriales con poder de decisión. En Japón pudieron hacerlo, porque para la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (UCIJ) y los altos niveles de la industria Japonesa, esta preparación realmente despertó un interés vital, además de que llenó sus expectativas de un promisorio futuro y estaba plenamente vinculado con la idiosincrasia de su pueblo.

El Dr. Deming durante su larga estancia por el Japón (1950 – 1980) llegó a adquirir un gran reconocimiento y una alta estima. Los japoneses le mostraron su aprecio instituyendo en 1951 el “Premio Deming” (una medalla de plata con su efigie).

Desarrollo del TPM

Para 1939 las empresas tenían una organización simple, desarrollada en base al “Proceso Administrativo” salido de los pensamientos y trabajos de Frederick W. Taylor y Henry Fayol y aún no se tenía un pensamiento sistémico. Cada entidad se consideraba desligada del resto del grupo. No existía una conciencia holística, por lo que las organizaciones eran mostradas cómo lo explica la Figura 3, una dirección general con tres o cuatro subdirecciones o gerencias para encargarse de las funciones primarias; producir, vender, administrar y desarrollar las finanzas.

El Mantenimiento Productivo (PM) se originó en el área de Producción, debido a que se consideró que esta atendía

la elaboración del producto y además ahí funcionaban las máquinas, y a estas era necesario hacerles labores de mantenimiento. La tarea se facilitó por que ya existían en ella fundamentos sólidos sobre la división del trabajo, la ciencia y la administración aplicadas a la industria, el uso de la estadística, la búsqueda de la calidad del producto, etcétera.

Estos conocimientos, por razón natural, no existían en las áreas de ventas, administración o finanzas ya que se consideraba que ellas no tenían activos que mantener por que no elaboraban ningún producto. La figura 3 nos muestra un organigrama hipotético de una empresa norteamericana en 1950.



Figura 3. Organigrama hipotético de una empresa norteamericana en 1950.



Figura 4. Organigrama hipotético de las Jefaturas principales de la Gerencia de producción.

Concepto del Mantenimiento Productivo Total

La labor de cualquier industria es la de producir en forma conjunta como un solo equipo, como una orquesta, en donde cada dirección, gerencia, departamento, proveedor o persona, debe esforzarse en forma coordinada para obtener beneficios, para lo cual debe emplear con eficacia el capital de trabajo que integra a la empresa. Es evidente que hasta el departamento más insignificante tiene que conservar sus propios activos físicos, su propio capital de trabajo, así sean escritorios, equipos de cómputo, escobas, cortadoras de césped, etcétera; pues todos ellos colaboran en la obtención del producto y en última instancia en la satisfacción del usuario, que es lo que proporciona la permanencia de la empresa. Por esto, la administración PM debería existir para

toda la organización ya que en toda ella existen activos que mantener. Esto fue lo que nos mostró con sus trabajos de más de 20 años el industrial Seiichi Nakajima.

La figura 5 nos proporciona la razón del por qué se le llama “Mantenimiento Productivo Total”



Figura 5. El PM considerado en toda la empresa.



Seiichi Nakajima en 1950 era un alto funcionario del Instituto Japonés de Mantenimiento de la Planta (JIMP) y fue uno de los muchos industriales de alto nivel que recibieron las enseñanzas de Deming sobre el Mantenimiento Productivo Norteamericano PM. Nakajima en esa fecha

inició sus estudios de PM sin salir del Japón, encontrando que la industria americana estaba organizada de manera similar a la mostrada en la Figura 3, es decir, ya trabajaban los gerentes, supervisores y obreros, de la Dirección de Producción, formando Grupos de Trabajo PM (GTPM) y ya se empleaba normalmente la Logística. Para facilitar nuestra percepción analicemos solamente la Gerencia de Producción de la mencionada figura y desarrollemos su organigrama (Ver Figura 4); esto fue lo que encontró Seiichi Nakajima cuando empezó a desarrollar sus estudios del Mantenimiento Productivo (PM).

Estructurando el TPM

En 1971, después de 20 años de esfuerzo, Nakajima puso en marcha en Japón lo que él llamó Mantenimiento Productivo Total (TPM). En este esquema, todo el personal de una empresa está obligado a realizar labores de PM. Lo anterior hace necesario construir sobre el organigrama existente de la empresa y con autoridad Staff, una estructura para administrar el TPM. En la Figura 6 estamos considerando como ejemplo a la Dirección de Producción, en el entendido de que esto se repite en forma similar en las Direcciones restantes. La función Staff está mostrada en color verde. Es necesario aclarar que más del 90% del personal que ejecuta estas funciones es el mismo que ya pertenece a la empresa y el restante porcentaje lo ocupará nuevo personal generalmente especializado en el funcionamiento del TPM.

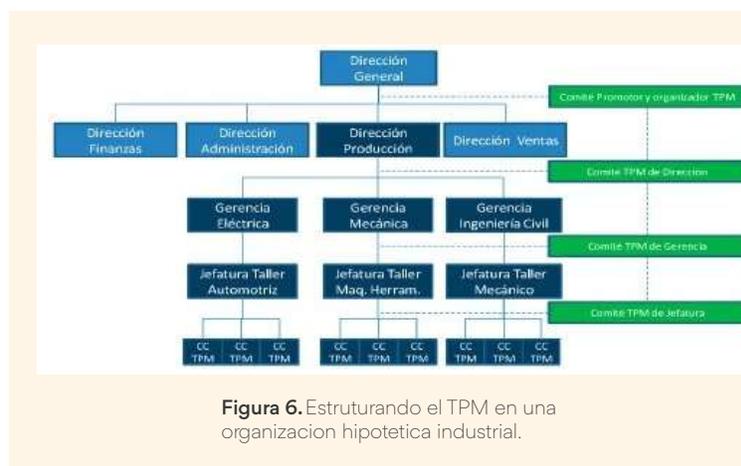


Figura 6. Estructurando el TPM en una organización hipotética industrial.

Aquí podemos observar que el gran avance que proporcionó Nakajima a la industria mundial, fue hacer un nuevo proceso administrativo apoyándose en las ideas existentes de Fayol y Taylor, usando los dos tipos de autoridad conocidos, (de línea y de apoyo o staff) y considerar al todo como un sistema. Es decir, su actividad es holística por lo que sus propiedades y funcionamiento deben ser analizadas en conjunto.

Implementación y desarrollo del TPM en una empresa

Esta tarea no es sencilla de hacer, pues requiere del absoluto interés del consejo de administración y dirección general y la ayuda de una empresa consultora de alta calidad y experiencia, la cual debe conocer a fondo como implementar los siguientes doce pasos:

1º Paso: Crear el entorno apropiado

El consejo de administración, debe informar oficialmente a todo el personal de la empresa y proveedores, a través de un evento formal; de la decisión de establecer el TPM. Con este evento se busca la participación y compromiso de todos los integrantes, así como la comprensión del tema.

2º Paso: Crear programas de adiestramiento y desarrollo

En este punto se inicia la creación de programas de adiestramiento y desarrollo para todo el personal de la empresa.

3º Paso: Crear la organización para el TPM

Este es el momento de establecer el “Comité Promotor y Coordinador de Desarrollo del TPM” como Staff o apoyo de la alta dirección (Ver Figura 6).

4º Paso: Crear los objetivos y políticas para el TPM

El Comité Promotor y Coordinador definirá los objetivos generales a alcanzar a mediano y largo plazo (uno a tres años) recomendando las políticas necesarias que de éstos se deriven.

5º Paso: Crear el plan maestro para la desarrollo del TPM

El Comité Promotor y Coordinador elabora y establece un plan maestro para el desarrollo e implementación del TPM, este comité debe estar compuesto por verdaderos especialistas en la preservación y mantenimiento de los activos de capital existentes en la empresa, sus conocimientos deberán tener cimientos en la tecnología más avanzada incluyendo temas como la jerarquización de activos, el RCM, etcétera; con lo que se implementarán cursos y programas para preparar y adiestrar a todo el personal en las siguientes cinco tareas:

- Efectividad global del equipo.
- Preservación y Mantenimiento autónomo para todo el personal de Producción, Ventas, Finanzas etc.
- Preservación y Mantenimiento para el personal de mantenimiento.
- Capacitación y Desarrollo para todo el personal de la empresa.
- Preservación y Mantenimiento para los nuevos Activos de Capital.

6º Paso: Acto de iniciación TPM

Se organizará una reunión de todo el personal de la empresa, así como de personas importantes ligadas a ésta ya sean proveedores, empresarios, personas renombradas et-

cétera, con el objeto de aumentar el interés de los presentes por el evento. Esta junta debe ayudar a crear y desarrollar un clima proactivo y de deseos de superación en todo el personal de la empresa y proveedores. Cada responsable de comité (general, departamental, de sección y de grupo) informará sobre el trabajo planeado y desarrollado en cada uno de los cinco pasos antes mencionados, así como de sus resultados. Finalmente, se anunciará que a partir de ese momento cada persona empezará a trabajar de acuerdo a las enseñanzas recibidas usando las nuevas “herramientas” y conforme vayan progresando abandonen las que deben quedar en desuso.

Con la terminación de los pasos anteriores hemos obtenido el adiestramiento y desarrollo de todos los recursos humanos de la empresa, permitiendo que el Comité General del TPM jerarquice el inventario de recursos a Preservar y Mantener en tres categorías de acuerdo a su criticidad (Vital, Importante y trivial). Así mismo, les asigne prioridad de atención y auxilie en la formación de “equipos de proyecto”, integrados por personal de ingeniería, conservación, producción y círculos de calidad. Todo lo anterior se debe llevar a cabo siguiendo los pasos del 7 al 11.

7º Paso: Mejora de la efectividad global del equipo instalado

Para obtener ésta mejora es preciso hacer dos labores generales:

- **1a.** Estudiar a fondo las características y rendimientos de los activos vitales e importantes, con el objeto de obtener el mayor provecho al utilizarlos en la debida forma.
- **2a.** Eliminar los obstáculos que se oponen a la eficacia de los activos antes mencionados.

8º Paso: Implementar el plan de preservación y mantenimiento autónomo

Uno de los problemas más graves que existen en nuestra industria es que al personal de producción, ventas, finanzas y cualquier otra especialidad, no se le prepara en labores de Preservación y Mantenimiento de sus herramientas de trabajo. Este es un gran error porque debemos tener como principio que todo el personal que tenga que ver con el uso de una herramienta de trabajo, tiene la obligación de conocer su operación y cuidado, (una planta de fuerza, un vehículo, una computadora, una escoba, una cortadora de césped etcétera). La falta de conocimiento y cuidado a los Activos de Capital produce grandes pérdidas. Esto obliga a racionalizar y documentar el trabajo, implementando los instructivos necesarios y haciendo cursos para preparar a los usuarios en el manejo y pulcritud de sus herramientas personales.

9º Paso: Implementar el plan de preservación y mantenimiento para el personal de mantenimiento

La implementación de este plan debe empezar antes de que termine el octavo paso. Por lo hasta aquí visto, debemos considerar que nuestro Departamento de Preservación y Mantenimiento tendrá las siguientes características generales:

- Una estructura racional que facilite la aplicación de labores estratégicas y tácticas (Planeación y Planificación).
- Un inventario de activos físicos jerarquizado en tres categorías (Vital, Importante y Trivial).
- Planes estratégicos de Preservación y Mantenimiento efectuados por la Dirección general.
- Planes tácticos de Planificación de órdenes de trabajo efectuado por el Departamento de Preservación y Mantenimiento.
- Un sistema computarizado integrando la información de toda la empresa.

10º Paso: Implementar el plan de capacitación y desarrollo para todo el personal de la empresa y también para los proveedores

Con los planes generados por el Comité General Promotor y Coordinador del TPM, deben programarse y realizarse cursos para todo el personal de la empresa y proveedores de acuerdo con las categorías que tengan, utilizando las técnicas más modernas de enseñanza y siguiendo estas dos políticas:

- Todo personal debe ser capacitado, según las técnicas de conservación y operación.
- Todo entrenamiento debe adecuarse a las necesidades específicas de cada área de trabajo.

11º Paso: Implementar el plan de conservación para los nuevos activos de capital

El personal de Producción y el de Conservación (Preservación y Mantenimiento), debe corroborar, que todo equipo recién instalado, se analice desde el punto de vista de la filosofía actual de la conservación industrial, utilizando criterios científicos, ecológicos y sistémicos y además, con base en Costo del Ciclo de Vida (LCC). A esta etapa se le denomina Commissioning (poniendo en uso), y se lleva a cabo durante la vida temprana de la máquina, bajo la responsabilidad del proveedor para que éste nos asegure su garantía. Las actividades de Commissioning estarán enfocadas a:

- Evaluar el costo económico de ciclo de vida del equipo.
- Comprobar que el equipo está en los niveles más altos de confiabilidad, mantenibilidad y operatividad desde el punto de vista de seguridad y economía.
- Lograr el mejor nivel en la planeación de la inversión.
- Reducir el tiempo de vida temprana (de diseño a operación estable).
- Conseguir que las actividades de Commissioning se lleven a cabo con eficacia.

12º Paso: Estabilización

Este es el paso final del programa de implementación y desarrollo del TPM y consiste en una constante medición de resultados para la búsqueda de mejores objetivos. Todo el personal de producción y conservación auxiliado por el Comité General, Promotor y Coordinador del TPM, trabajará para mejorar los resultados y así poder permitir la fijación de metas cada vez más elevadas. Conforme se va logrando una adecuada implementación del TPM, es necesario ser más exigente con los resultados y hay que fijar objetivos de mayor nivel. Lo anterior hace indispensable que todo el personal trabaje en forma coordinada, continua y de manera proactiva.

Conclusión

En síntesis, el TPM es un proceso diseñado para administrar la preservación y mantenimiento de los activos de una gran empresa, esta es una filosofía que ha demostrado su alta calidad de resultados a pesar de las variantes que han sufrido los productos y procedimientos a través de más de 40 años. La implementación del TPM está perfectamente definida y establecida en el seguimiento cuidadosamente programado de cuatro fases que contienen los doce pasos arriba mencionados, que requiere de una gran inversión tanto de recursos económicos como humanos, por lo que solo es posible implementarlo en las grandes empresas y con ayuda de una compañía consultora que ya tenga una gran experiencia y al personal capacitado. Con esto nuestra primera pregunta se resuelve.

Para el caso de nuestro segundo cuestionamiento, ¿cómo pueden ser aprovechados estos conocimientos por las micros, pequeñas y medianas empresas? La respuesta no es tan compleja como parece: Para que éstas obtengan grandes beneficios, el primer paso es capacitar al personal de preservación, mantenimiento y operación en los conocimientos del TPM. Hoy día existen en el mercado empresas certificadas que ofertan diplomados en esta metodología. Con estos conocimientos adquiridos, este personal aplicará las técnicas del TPM que puedan ser utilizadas en su empresa, poniendo especial énfasis en la recolección de datos relevantes ya que se convertirá en información de análisis para encontrar áreas de oportunidad dentro de sus procesos. Finalmente, las mismas técnicas de este modelo los llevarán a aplicar inteligentemente lo que el TPM recomienda para las grandes empresas.

Al final, el resultado no es que las pequeñas y medianas empresas implementen el TPM, sino más bien elegir y aplicar las técnicas de TPM que sirvan mejor para la resolución de sus problemas.

Desarrollamos tu programa de Gestión de Actios escalable, configurable, centrado en Confiabilidad y orientado a mantener las instalaciones más eficientes y un costo asumible

Identificar las metas, objetivos y definir la ruta estratégica de la gestión de activos.

Implantación del programa de gestión de activos mediante la optimización de los recursos existentes.

Implantación del programa de gestión de activos mediante la optimización de los recursos existentes.

Banca

Hospitales

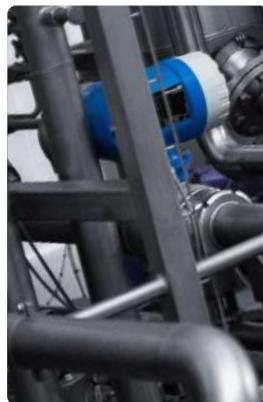
Energía



Edificios
Públicos



Centros
Deportivos



Análisis de Criticidad Integral de Activos



Autores: Edwin Gutiérrez, Miguel Agüero, Iyaneska Calixto
R2M. S.A Reliability and Risk Management



Artículo extraído de
Edición No. 6

Introducción

Hoy en día el ambiente competitivo de las empresas de mantenimiento está caracterizado por una serie de fuerzas que han obligado a las compañías a cambiar su forma tradicional de desarrollar sus operaciones. Es importante que las empresas se esfuercen a adaptarse cada vez más rápidamente a realidades nuevas y complejas. La rapidez de los cambios en este ambiente de negocio, ha obligado a las organizaciones a invertir y tomar decisiones basadas en información incompleta, incierta o imprecisa y al mismo tiempo, a cumplir con las exigencias de producir a menor costo y con mayores niveles de calidad y confiabilidad.

Durante muchos años las empresas se limitaron al diseño de sus planes de mantenimiento pensado en las recomendaciones de los fabricantes, con base a las fallas ocurridas y en la experiencia operacional interna y externa. Adicionalmente se divorciaba al operador de las actividades de mantenimiento de los equipos. Esta práctica ha generado una visión truncada de los requerimientos reales de mantenimientos de los activos y sin considerar los niveles de riesgo asociados a SHA (Seguridad, Higiene y Ambiente) y su impacto en Procesos, así como también la condición de los Equipos Estáticos para la selección de las estrategias de inspección y frecuencias.

El reconocimiento de estas limitaciones de los diseños tradicionales de planes de mantenimiento, ha permitido el nacimiento de nuevas Metodologías como “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, “Inspección Basada en Riesgo”, “Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento” y “Diseño de Planes y Programas de Activos Basados en Confiabilidad”.

Debido a estos cambios, se desarrolló la metodología para el análisis de criticidad para optimizar los planes de mantenimiento, mediante la integración de la metodología de Ciliberti, la metodología de Mantenimiento Basado en Criticidad, Inspección Basada en Riesgo y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, agrupando los diferentes métodos que conforman las operaciones. El objetivo final es mejorar los tiempos de generación de planes de cuidado y a su vez generar una lista jerarquizada de equipos por nivel de criticidad, con el fin de generar los planes de cuidado de los equipos basados en el nivel de riesgo.

Marco Conceptual

Análisis de criticidad

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo” creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis, tal como se ilustra en la Figura 1.

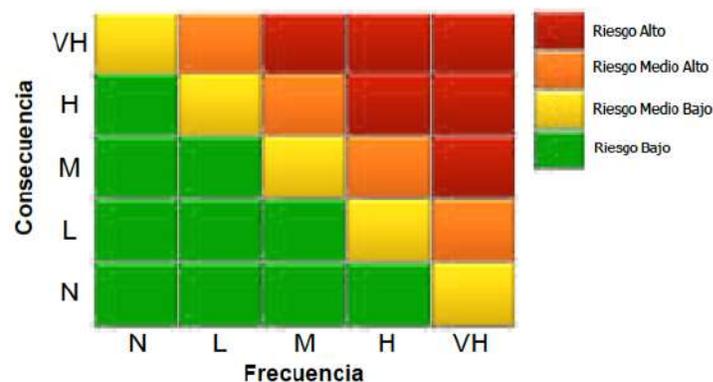


Figura 1. Matriz de Criticidad.

Los productos del Análisis de Criticidad son:

- Lista jerarquizada por “criticidad” de los ISED’s (instalaciones, sistemas, equipos o dispositivos) bajo análisis.
- Matriz de criticidad con la calificación del riesgo asociado a cada ISED analizado.

Definición de riesgo

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra.

Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$R(t) = P(t) \times C(t)$$

Donde:
R(t): Riesgo
P(t): Probabilidad
C(t): Consecuencias

Al momento de evaluar un particular evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento bajo estudio.

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión.

En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presente un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento.

Técnicas de análisis de riesgo

Existen diferentes técnicas para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades técnicas “Cualitativas”, “Semi- Cuantitativas” y técnicas “Cuantitativas”.

Técnicas cualitativas:

Las técnicas cualitativas como su nombre lo indica, obedecen a razonamiento de naturaleza cualitativa, donde la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos y de sus respectivas consecuencias se realiza utilizando una escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos.

La estimación del riesgo pasa por estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento (frecuencia de ocurrencia) y sus consecuencias. Las técnicas cualitativas, proponen estimar ambos términos, cualificándolos como se muestra a continuación:

• Estimación cualitativa de la frecuencia

1. Extremadamente improbable.
2. Improbable.
3. Algo probable.
4. Probable.
5. Muy probable.

• Estimación cualitativa de consecuencias

- A.- No severa.
- B.- Poco severas.
- C.- Medianamente severas.
- D.- Muy severas.
- E.- Extremadamente severas.

Una vez que las probabilidades de cada evento han sido estimadas conforme a la escala relativa descrita anteriormente; y por otra parte, las consecuencias han sido categorizadas dependiendo de su severidad relativa, se puede estimar cualitativamente el riesgo asociado a cada escenario considerado y agrupar los escenarios en diferentes grupos donde las probabilidades y consecuencias sean equivalentes.

Una de las debilidades de esta técnica, es que debido a su naturaleza cualitativa, en ciertas ocasiones y dependiendo de la percepción de los analistas, un mismo evento podría ser categorizado en diferentes escalas; de allí la importancia de establecer cierto esquema referencial para definir en forma más explícita los diferentes niveles de probabilidades y consecuencias, y por otra parte conservar el mismo equipo de trabajo durante todo el desarrollo del análisis de riesgo.

Un ejemplo de esta técnica de análisis cualitativo es la metodología de puntos, como se muestra en la figura 2.

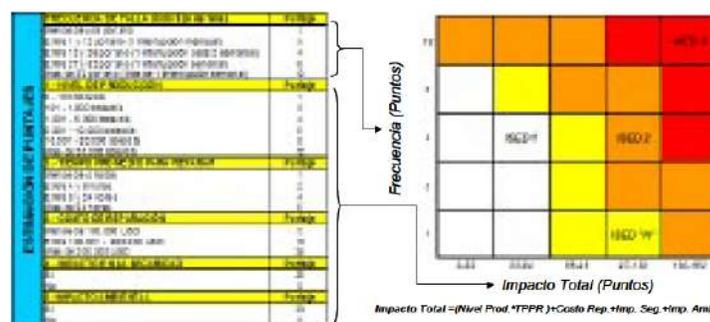


Tabla 2. Metodología de Criticidad de Puntos.

Técnicas Semi- Cuantitativas

Al igual que las técnicas cualitativas, son técnicas blandas, de fácil manejo y comprensión, cuya mayor virtud es la de proveer un valor de criticidad, proporcional al riesgo, que permite jerarquizar opciones para tomar una decisión, componentes dentro de un sistema, equipos o subsistemas en una instalación, etc., pero que por su carácter semi-cuantitativo no permiten obtener valores absolutos de riesgo y por ende no son las más adecuadas para establecer la tolerabilidad del riesgo.

En las técnicas semi-cuantitativas, se establecen rangos relativos para representar las probabilidades de ocurrencia y

las consecuencias correspondientes, llegándose a establecer una matriz de criticidad o de jerarquización del riesgo, que si bien no corresponde a valores absolutos, si representan rangos numéricos de riesgo.

Posteriormente, una vez cuantificadas (al menos comparativamente) las probabilidades de ocurrencia y las respectivas consecuencias, se procede a estimar en forma relativa el riesgo.

Técnicas Cuantitativas

Para realizar un dimensionamiento más objetivo del Riesgo, que permita juzgar sobre bases más sólidas su tolerabilidad, existe técnicas cuantitativas, mucho más complejas que las técnicas cualitativas y semi cuantitativas y que por ende requieren mayor tiempo para su desarrollo.

Las técnicas cuantitativas permiten determinar valores absolutos de riesgo, que pueden tratarse como egresos probables y por ende incluirse en evaluaciones financieras a ser tomados en consideración en cualquier proceso de toma de decisiones.

El objetivo principal es determinar el riesgo asociado a un evento, escenario o decisión en particular a través de la cuantificación explícita de la probabilidad y las consecuencias, como se muestra en la figura 3.

Grupo de equipos

El grupo de equipos representa el nivel jerárquico de caracterización de equipos principales y todos sus equipos soportes que permiten el cumplimiento de la función o grupo de funciones para los cuales han sido seleccionados, como se muestra en la figura 4.

Fundamentos del Análisis de Criticidad

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED’S), de acuerdo a una figura de merito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Impacto}$$

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$$\text{RIESGO} = \text{Prob. Falla} \times \text{Consecuencia}$$



Figura 3. Determinación del Riesgo.

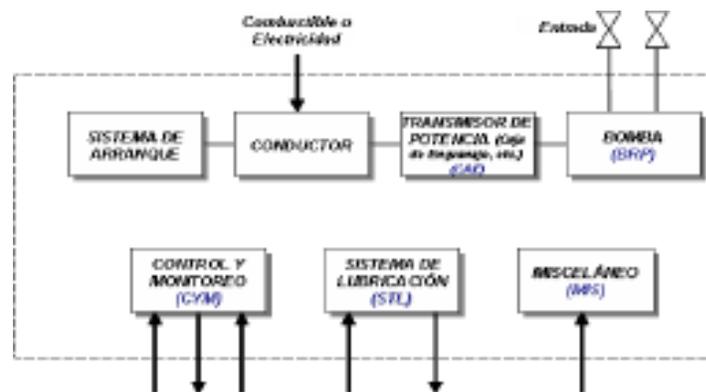


Figura 4. Grupo de Equipos.

La **Frecuencia de Falla** es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; **CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO**.

El analisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; como la mostrada en la Figura 5 que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

La figura 5; muestra un típico arreglo de una matriz de riesgo 4x4 semicuantitativa; Puede verse en la figura que el eje de la probabilidad o frecuencia se divide en rangos calificados como Alto, Medio, Bajo y Remoto; y de igual manera se dividen las consecuencias en rangos calificados como Grave; Substantial, Marginal e Insignificante. Estos rangos deben asociarse a valores numéricos para estudios cuantitativos y/o a descripciones muy claras para el caso de estudios semi-cuantitativos o cualitativos.

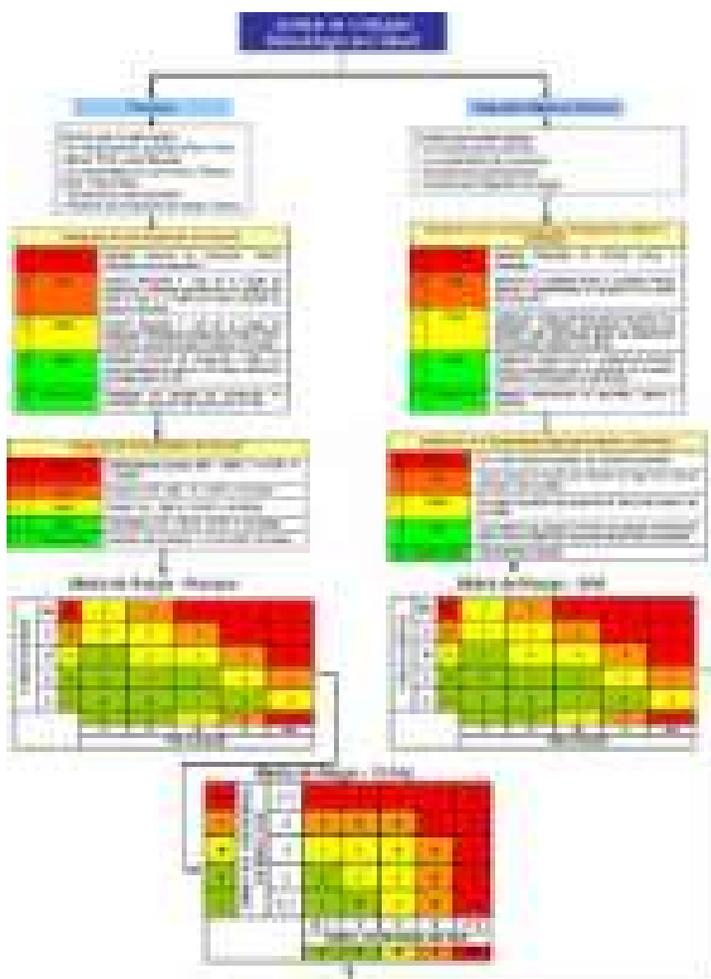


Figura 6. Análisis de Criticidad según Ciliberti.

Matriz de graduación de la criticidad del proceso y del Peligro						
		HCR				
		4	3	2	1	0
P C R	4	A44	A34	A24	A14	A04
	3	A43	B33	B23	B13	B03
	2	A42	B32	C22	C12	C02
	1	A41	B31	C21	D11	D01
	0	A40	B30	C20	D10	D00

Figura 7. Mantenimiento Basado en Criticidad.

Todos los equipos del proceso se evalúan con énfasis igual en el peligro (salud, seguridad, y ambiental) y criterios de proceso. Cada equipo recibe un grado compuesto basado en las entradas del peligro y del proceso. El grado compuesto se utiliza para establecer una graduación de la criticidad del proceso y del peligro (PHCR) para ese equipo. El valor de PHCR es una graduación relativa en una jerarquía total de la criticidad que se utilice para determinar las prioridades para los programas de mantenimiento, las inspecciones y las reparaciones.

Análisis de Criticidad para propósitos de Mantenimiento. NORSOK STANDARD Z-008.

En este punto describiremos brevemente uno de los más utilizados estandares en la industria del gas y del petróleo; el Estandar NORSOK Z-008; pero para profundizar en su entendimiento y aplicaciones se recomienda a los lectores consultar la referencia.

El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevas y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes, considerando los riesgos relacionados con:

- Personal.
- Ambiente.
- Pérdida de producción.
- Costos Económicos Directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras otantes, Raisers y gasoductos/oleoductos.

Este estándar NORSOK es aplicable para los propósitos diferentes como:

- Fase de Diseño. (Determinar los requerimientos iniciales de mantenimiento, identifica fallas ocultas de equipos críticos escondidos sobre equipo crítico y selección de partes y repuestos).
- Preparación para la operación.
- Desarrollo de programas de mantenimiento iniciales para la puesta en funcionamiento de sistemas y selección de piezas de repuesto corrientes.
- Fase Operacional. (Optimización de programas de mantenimiento existentes y como guía para priorizar ordenes de trabajo).

Para la determinación de la criticidad de los activos según esta norma se emplea el siguiente flujograma, mostrado en la figura 8:

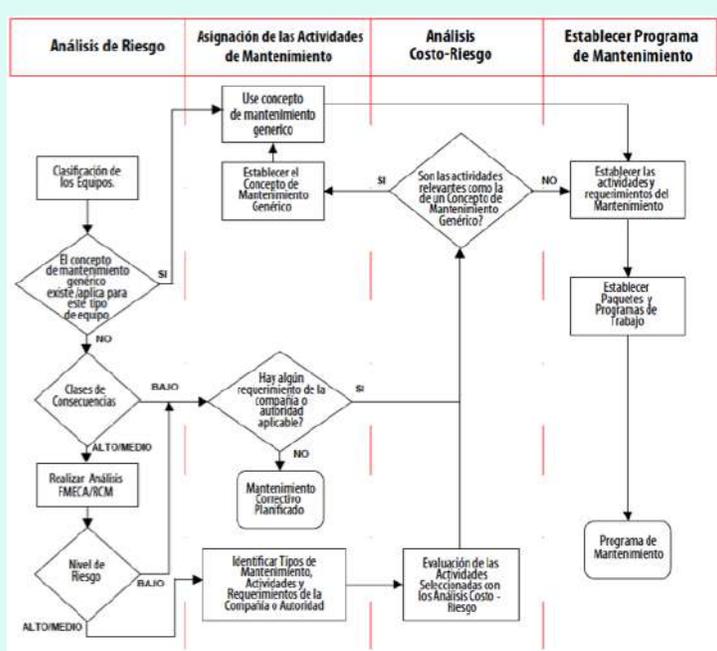


Figura 8. Metodología de NORSOK STANDARD Z-008.

Inspección Basada en Riesgo (IBR)

Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (Fase de Análisis Cualitativo) del estudio de IBR (Inspección Basada en Riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

Esta metodología permite la ubicación de los equipos analizados en una matriz de 5x5 (Figura 9) que presenta cuatro niveles de clasificación de riesgo que son: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio – alto graficado en naranja y alto riesgo mostrado en rojo.

La metodología de IBR además de determinar el nivel de riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema sometidos a procesos de corrosión, permite evaluar la efectividad del plan de inspección para reducir dicho riesgo.

En dicha metodología se define la falla como cualquier evento que ocasione la rotura de los límites del equipo. Por lo que se puede afirmar que la falla considerada en IBR es la pérdida de la función de contención del fluido presurizado, dicho en otras palabras, la fuga del fluido presurizado al medio ambiente.

Un programa exhaustivo de IBR debe incluir todos los equipos estáticos que componen la barrera de contención de presión del sistema en evaluación, de acuerdo con las necesidades del usuario. Estos equipos deben ser, entre otros, recipientes a presión (torres, tambores, tanques, etc.) y sistemas de tuberías de proceso.

EL análisis IBR completo implica tres fases diferentes:

- Fase I. Análisis cualitativo de riesgo.
- Fase II. Análisis semi – cuantitativo de riesgo. Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.
- Fase III. Análisis cuantitativo de riesgo.

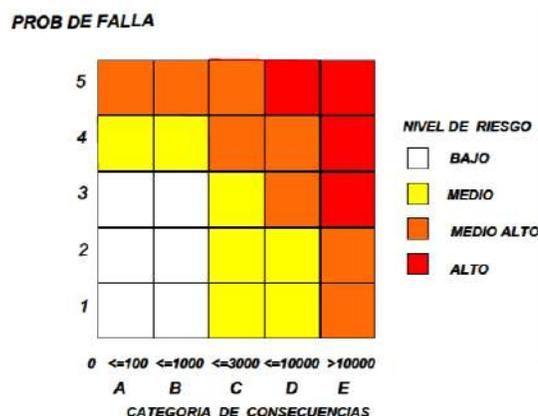


Figura 9. Matriz de Riesgo según IBR.

Como se mencionó previamente, esta metodología propone la determinación del riesgo con base en modelos de cálculo que consideran el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta La calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Estos cálculos son bastante mas detallados y exhaustivos que los realizados para las metodologías de criticidad previamente expuestas y los procedimientos para realizarlos están contenidos las Normativas API 580 y 581.

Metodología de Análisis de Criticidad de los puntos

La estructuras de criticidad que provee la llamada “metodología de los puntos” tiene su origen en el movimiento de mejora de la confiabilidad de los procesos productivos que se inicio en la industria petrolera del Mar del Norte en la década del 90 [manual de criticidad de PDVSA – CIED] y hoy es ampliamente utilizada en la industria petrolera; por supuesto, com múltiples adecuaciones y modificaciones.

La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”.

La ecuación base para el cálculo de criticidad en esta metodología es la siguiente:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Fallas} \times [(\text{Nivel de Producción} \times \% \text{ Impacto} \times \text{TPPR}) + \text{Costo Rep.} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb}]$$

La figura 10 muestra tabla para estimación de puntajes y la matriz de riesgo que propone la metodología. Su uso es intuitivo, de facil manejo y rápida aplicación.

Como todo análisis semi-cuantitativo, puede ser altamente impactado por la subjetividad en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases o premisas que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la “clara definición” de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación. Adicionalmente, se recomienda la participación de “equipos naturales de trabajo” en la valoración de la criticidad para minimizar el sesgo y la subjetividad.

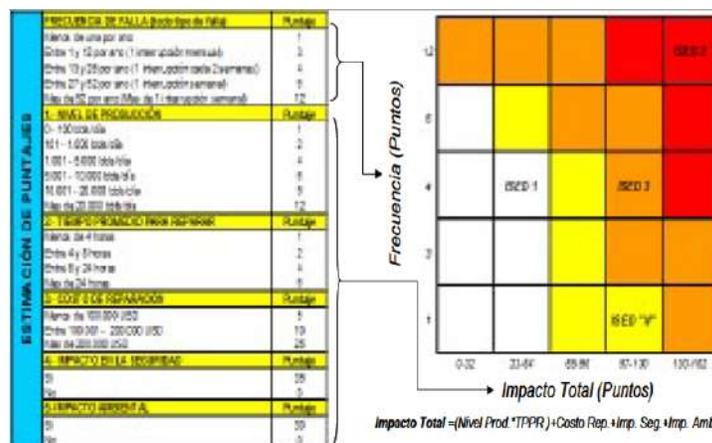


Figura 10. Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos.

Análisis de Criticidad Integral de Activos.

En esta sección se propone una nueva Metodología para el Análisis de Criticidad denominada “Análisis de Criticidad Integral de Activos®”; la cual se fundamenta en algunas de las metodologías de criticidad previamente expuestas tales como: Método de Ciliberti, Norma Norsok Z-008, Mantenimiento Basado en Criticidad y la Fase Cualitativa del estudio de Inspección Basada en Riesgo (Norma API 581), complementada con las experiencias prácticas en la aplicación de estudios de criticidad en plantas de proceso y diversas instalaciones industriales alrededor del mundo.

En este sentido, la metodología propuesta adopta las virtudes de las metodologías tradicionales, e incorpora novedosos elementos dirigidos a resolver algunas de las más importantes limitaciones y dificultades que se han presentado en la práctica al realizar análisis de criticidad de plantas de proceso de gran escala; entre las cuales podemos mencionar:

- Las metodologías como Ciliberti, Mantenimiento Basado en Criticidad y la Norma Norsok Z-008 permiten modelar bastante bien la criticidad de equipos dinámicos y equipos eléctricos; pero no permiten modelar “con la adecuada resolución” la criticidad de equipos estáticos y de equipos de instrumentación y control, razón por la cual cuando se utilizan estos enfoques se sub-estiman o sobre estiman en demasía las criticidades de los mismos. Para resolver esta dificultad, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” propone procedimientos especiales para caracterizar la criticidad de componentes estáticos y de instrumentación y control.

- Las metodologías tradicionales para el cálculo de criticidad requieren una gran cantidad de información de fallas y de reparaciones; así como de sus impactos en el proceso. Teóricamente, esta información debería estar disponible en los sistemas de información de cada empresa; pero en la práctica esta información “no siempre” o “casi nunca” esta registrada adecuadamente en dichos sistemas o no se dispone por otras razones. Para estos casos el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” propone procedimientos especiales para aprovechar fuentes de información alternativas tales como:
 - * Opinión de Expertos.
 - * Conocimiento Genérico (Bases de Datos Genéricas de Fallas y Reparaciones tales como OREDA, PARLOC, WELL MASTER, EXIDA, IEEE entre otras).
- Uno de los puntos más álgidos en toda aplicación de las metodologías de criticidad tradicionales, es la valoración que se le da al impacto de fallas en términos de seguridad, higiene y ambiente. Para minimizar la subjetividad de estas valoraciones el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se ampara en lo establecido en la norma NFPA 704 especializada en análisis de riesgo y con particular énfasis en seguridad, higiene y ambiente.
- Las metodologías de criticidad tradicionales, proponen matrices de riesgo con límites de tolerabilidad pre-establecidos. En múltiples ocasiones, los custodios de procesos de producción exigen que la criticidad de sus instalaciones sean presentados en matrices que ellos han adoptado y que difieren de las matrices pre-establecidas por las metodologías tradicionales. Para resolver esta dificultad el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se diseñó de tal manera que adopta la matriz de riesgo con los límites de tolerabilidad aceptados por el custodio o dueño del proceso.
- Los análisis de criticidad de gran escala presentan dificultades especiales para el tratamiento de la información por la gran cantidad y diversidad de equipos que conforman un sistema de producción. En estos casos hablamos de “miles” de equipos. Esta realidad genera muchas incongruencias y desacuerdos en términos de nomenclatura de equipos y sistemas y múltiples discusiones por el concepto o definición del volumen de control que se considera “un equipo”. Para minimizar estas discusiones, agilizar el análisis y unificar nomenclaturas en aras de facilitar el tratamiento de las bases de datos, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” incorpora el concepto de “Equipment Group” y la nomenclatura propuestos por la norma ISO 14224 que facilita la división de un sistema en “funciones” y propone una codificación o taxonomía estandar.
- La gran mayoría de metodologías tradicionales para criticidad abundan en detalles de cómo calcular la criticidad; pero no ofrecen una metodología clara de trabajo con el equipo de especialistas que intervienen en el análisis. Sin embargo, en la práctica, las dificultades para realizar un análisis de criticidad están más relacionadas con la dinámica de trabajo en equipo que con la propia dificultad técnica para el análisis. El “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” incorpora los conceptos de trabajo en “equipos naturales” y “equipos de alto desempeño” y define una metodología exhaustiva de revisión de las bases de datos, P&ID, diagramas de flujo, narrativas operacionales, manuales de operación, datos técnicos de los equipos, condiciones operacionales y entrevistas/análisis con el personal de mantenimiento, ingeniería y operaciones.

En resumen, el “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” para optimizar Planes de Cuidado de Activos, es una evolución de las metodologías pre-existentes diseñada para resolver las principales dificultades que se presentan en la práctica cuando se acometen estudios de criticidad de plantas de proceso a gran escala.

Fundamentos de “Análisis de Criticidad Integral de Activos®”

Los objetivos fundamentales del “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” pueden resumirse de la siguiente forma:

Objetivo general

- Proveer un método integral para jerarquizar ised’s de acuerdo a su criticidad; entendiendo criticidad como el efecto combinado de la frecuencia de fallas de cada ised con el impacto que dicha falla genera en el negocio. Esta jerarquización permite la adecuada distribución de los recursos hacia las áreas según su impacto en el negocio.

La estructura de criticidad resultante es el insumo fundamental para la metodología de “Cuidado Integral de Activos®” que genera planes óptimos de mantenimiento e inspección de ISED’S.

Objetivos específicos

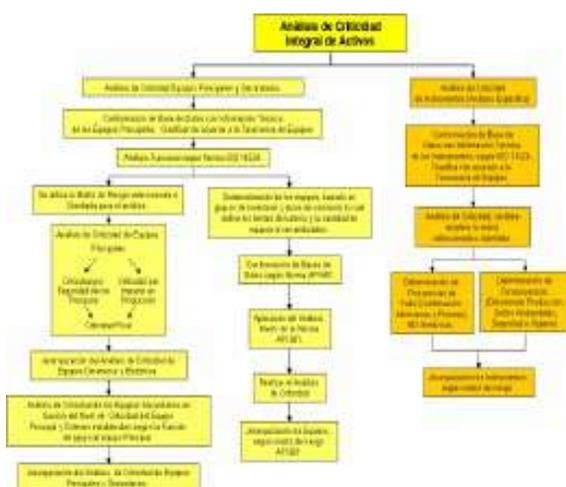
- Proveer un método de cálculo de criticidad que permita caracterizar la criticidad de equipos estáticos y de equipos de instrumentación y control con “suficiente resolución” como para generar acciones de mitigación del riesgo específicas sustentadas en una “adecuada” valoración del riesgo para estos componentes.
- Proveer una figura que permita discretizar cuanto de la criticidad esta relacionada con el impacto de la falla de un ised en la producción y cuanto de la criticidad esta relacionada con el impacto de la falla en la seguridad, higiene y ambiente; para seleccionar acciones de

mitigación del riesgo adecuadas para cada tipo de impacto.

- Generar una base de datos de frecuencias de falla y de impactos de las fallas de los componentes de un sistema de producción, estandarizada según la nomenclatura y clasificación funcional de la norma ISO 14224, que sirva como base para otros estudios de la confiabilidad del sistema de producción
- Proveer un método que tome en cuenta las dificultades que se presentan en las aplicaciones de criticidad en plantas de proceso a gran escala.

Descripción de la metodología de “análisis de criticidad integral de activos”

La metodología de Análisis de Criticidad Integral de Activos® se resume en el flujograma de la figura 11:



Como puede observarse en el flujograma de la Metodología de “Análisis de Criticidad Integral de Activos®”, este se divide en dos vías principales, una para la jerarquización de Equipos Principales y Secundarios de las familias de equipos dinámicos, estáticos y eléctricos, y otra vía para el análisis específico de criticidad de los instrumentos.

Cada una de estas etapas de la Metodología del “Análisis de Criticidad Integral de Activos®” se describe a continuación:

Figura 11. Flujograma de la Metodología Análisis de Criticidad Integral de Activos.

Determinación del nivel de criticidad para equipos principales de un equipment group

La determinación de los niveles de criticidad para estos equipos principales se fundamenta en base a los niveles de consecuencias y probabilidad que tiene cada equipo principal en los aspectos de Seguridad, Higiene y Ambiente y así como también el impacto en el Proceso (Perdidas de Producción) (Ver Figura 11), empleando para ello la Matriz de Riesgo definidas para un negocio en específico y tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación (parámetros operacionales) y probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que conozcan sobre los riesgos asociados al equipo en análisis.

Adicionalmente parte del análisis de riesgo para el manejo de fluidos, establecido por la norma NFPA 704.

- Para el caso de impacto en el proceso, pérdida total de la función que desempeña el activo. Para este caso el análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar (TPPR), porcentaje de pérdida de producción (% Pérd. Prod.) y costos asociados.
- La existencia de equipo de reemplazo como medio de mitigación, puede disminuir en el grado de riesgo del equipo solo para el riesgo asociado al impacto en proceso.
- Este análisis debe realizarse conjuntamente con el personal de Mantenimiento y Operaciones o con cualquier otro que manifieste conocimiento sobre los riesgos desde el punto de vista de seguridad existente en la unidad en estudio o en el equipo que se analiza.

- Se determina que el nivel de criticidad final del equipo o sistema será el que represente el mayor nivel de criticidad resultante de la jerarquización por SHA y Procesos.

Adicionalmente para determinar la criticidad de estos equipos se requiere disponer de la siguiente información para los equipos principales de un Equipment Group:

- Tipo de Producto Manejado, para determinar los valores de In amabilidad, Reactividad y Riesgo en Salud (NFPA 704).
- Velocidad de rotación (RPM, Para equipos dinámicos), Presión de Operación y Temperatura de Operación, nos permite determinar los riesgos asociados a las variables operacionales.
- % Pérdida de Producción producido por la falla del equipo. Este valor dependerá del plano de análisis adoptado por el analista. Si el análisis de criticidad será realizado a nivel de la planta analizada, este impacto será a nivel de planta; por el contrario, si el plano es más amplio, por ejemplo, a nivel de todo un complejo, este impacto será a nivel del complejo, es decir, % pérdida de producción del complejo. Bajo este último enfoque, se obtienen resultados más amplios con los que se pueden comparar equipos de diferentes unidades sobre la misma base.
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR). Este valor es importante para determinar el grado de impacto total de los equipos porque permite calcular el impacto financiero global de un equipo al definir el tiempo de indisponibilidad de este.
- Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF). Este valor debe ser tomado de las Bases de datos de fallas reales de los equipos. En caso de no disponerse de datos reales, podrán utilizarse bases de datos de fallas genéricas.

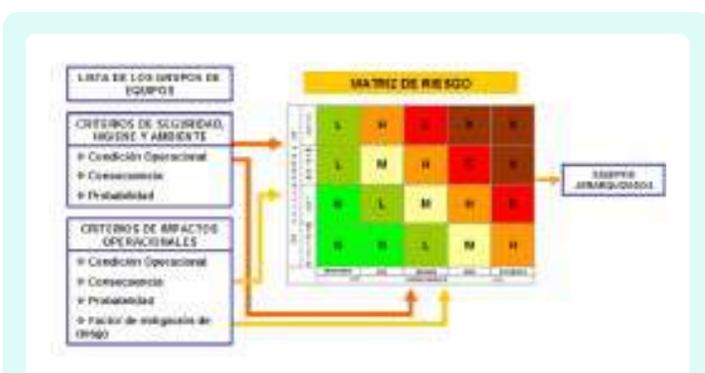


Figura 12. Metodología de Análisis de Criticidad para Equipos Principales.

Determinación del nivel de criticidad de los equipos secundarios de un equipment group, en función del nivel de criticidad del equipo principal y los criterios establecidos

Los equipos secundarios de un “Equipment Group” son aquellos que asisten o soportan al equipo principal en el desempeño de sus funciones. Por lo tanto en este caso su nivel de criticidad dependerá del nivel de riesgo final del equipo principal y las funciones y configuraciones que este cumpliendo dentro del Equipment Group, para la cual se establecen los siguientes criterios para el Nivel de Criticidad en Seguridad Higiene y Ambiente e Impacto en Procesos según el tipo de equipo, como se muestra a continuación:

Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)

Transmisores y elementos de medición de procesos

Equipos Altamente Críticos:

- Equipos con señalización 1 en ESD y 1 en DCS.
- Equipos con señalización 1 en ESD.
- Equipos con señalización Votación 2 de 2.
- Equipos con señalización Votación 1 de 2.

Las votaciones se refieren a la cantidad de equipos que deben estar en funcionamiento para evitar la ocurrencia de un evento no deseado. Ejemplo Votación 1 de 2, debe estar operando uno de los dos para que el sistema no se detenga.

Equipos de Criticidad Alta – Media:

- Equipos con señalización Votación 2 de 3.
- Equipos cuya función sea control.
- Equipos de Criticidad Baja.
- Equipos cuya función sea Indicación.

Válvulas de parada de emergencia

Equipos Altamente Críticos:

- Válvulas asociadas a torres o columnas, hornos, compresores y válvulas cuya función sea aislar por completo todo un sistema dentro de una unidad de proceso.

Equipos de Criticidad Alta:

- Válvulas asociadas a bombas, recipientes a presión, intercambiadores de calor y enfriadores.

Paneles de protección, panel anunciador de alarmas, detectores de llama

- Equipos Altamente Críticos:
- La criticidad SHA deberá ser considerada como crítica.

Válvulas de control, analizadores, detectores de llama, elementos de medición de vibración y velocidad, válvulas de seguridad sin respaldo, equipos de generación de potencia a equipos principales, equipos auxiliares de lubricación

- La criticidad SHA deberá ser igual a la criticidad SHA calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz.

Paneles de operación de equipos, sistema de control de vibración, equipos controladores de velocidad, RTD, terminales remotas y solenoides

- La criticidad SHA deberá ser igual a la criticidad SHA calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz.

Válvulas de seguridad tipo 3, equipos auxiliares del equipo principal, instrumentos no asociados a un SIS conectados al DCS y cuya función sea alarma o disparo

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en una (1) unidad a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

Válvulas de seguridad que disponen de una válvula de respaldo y de aquellas que disponen de una facilidad de respaldo y con cuya falla o indisponibilidad de la misma el equipo no queda desprotegido

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz

Instrumentos cuya función sea Indicación

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en el proceso

Válvulas de seguridad que no disponen de una facilidad de respaldo y aquellas que no tienen disposición para realizar mantenimiento, válvulas de control sin bypass, analizadores, detectores de llama, solenoides, elementos de medición de vibración, gobernadores de turbinas, equipos de generación de potencia a equipos principales, Instrumentos conectados al DCS o ESD cuya función sea parada o alarma.

- La criticidad para procesos deberá ser igual a la criticidad procesos calculada para el equipo principal, es decir estarán en la misma diagonal de riesgo de la matriz y tendrán el mismo código de criticidad.

Válvulas de seguridad que disponen de una válvula de respaldo y de aquellas que disponen de una facilidad de respaldo y con cuya falla o indisponibilidad de la misma el equipo no queda desprotegido, equipos auxiliares del equipo principal, válvulas de control con bypass, instrumentos conectados al DCS o ESD cuya función sea control.

- La criticidad procesos para el equipo secundario, deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en una (1) unidad a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

Instrumentos cuya función sea Indicación.

- La criticidad SHA deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal, con referencia a las diagonales de riesgo de la matriz.

Una vez determinado el nivel de riesgo de seguridad, higiene y ambiente y el impacto en proceso para los equipos secundarios, se selecciona el nivel de criticidad más alto arrojado por los dos criterios, con la finalidad de determinar el nivel de riesgo real de los activos, dado que los métodos que combinan las criticidades SHA y Proceso para obtener un nivel de riesgo final estarían reduciendo el riesgos mas elevado por SHA y Procesos.



Figura 13. Metodología de Análisis de Criticidad para Equipos Secundarios.

Determinación del nivel de criticidad de los equipos estáticos de un equipment group, empleando el nivel I de la norma API 581

Este Fase I de la Metodología corresponde a un análisis cualitativo que determina el nivel de riesgo para una instalación en funcionamiento, jerarquizando cada unidad en función de los dos elementos del riesgo: probabilidad y consecuencia. Ver Figura 13.

Las consecuencias son evaluadas en dos aspectos:

- Explosión e Incendio.
- Toxicidad.

Esta evaluación es útil para obtener un panorama general preliminar del nivel de riesgo para los equipos estáticos.

Para la determinación de la probabilidad de falla se deben calcular seis (6) sub-factores que afectan la probabilidad de un escape grande de producto. Posteriormente se realiza una suma algebraica de estos seis factores para determinar el factor total de probabilidad de falla (FTP). La categoría probabilidad entonces se asigna basada en el factor total de probabilidad y es representada con números de 1 al 5 en el eje de las ordenadas de la Matriz del apéndice "A" de la Norma API 581 (Ver Figura 14).

Para la aplicación de esta metodología se requiere el tratamiento de la información técnica, histórica y de condición, con la cual se genera el primer producto del análisis, que es la sistematización de la instalación basada en grupos de inventario y lazos de corrosión lo cual define los límites de batería y la cantidad de equipos a ser analizados. Seguidamente, se aplica una herramienta de valoración del sistema de gestión de integridad mecánica a fin de determinar la influencia del factor gerencial en la probabilidad de falla de los equipos.

Simultáneamente, es desarrollado el mapeo de riesgo cualitativo de unidades de las instalaciones con el objetivo de:

- Jerarquizar las unidades dentro de la instalación bajo análisis con el fin de seleccionar el nivel del análisis necesario.
- Clasificar el nivel del riesgo dentro de las unidades y de asignarlas en una posición dentro de una matriz del riesgo.
- Identificar áreas de atención especial en la planta, que puede merecer programas especiales de inspección.

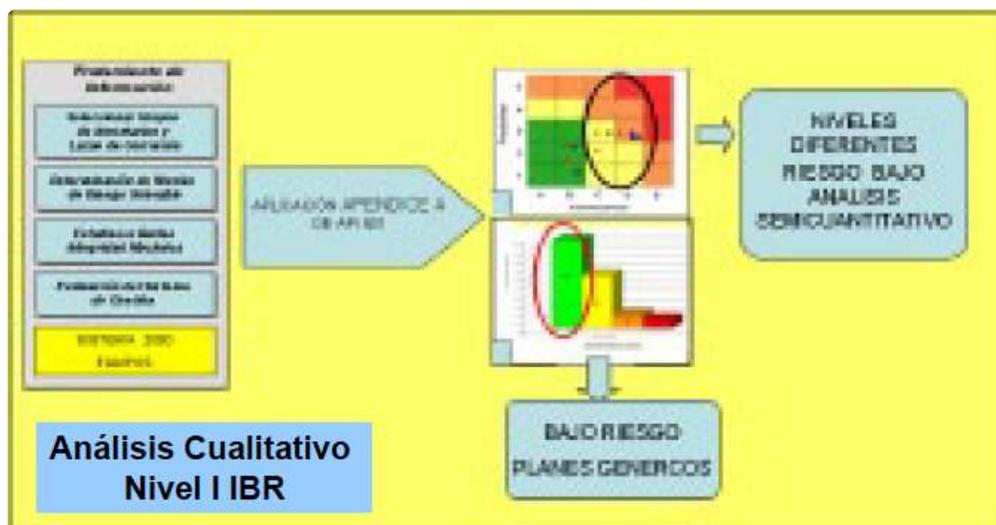


Figura 14. Flujograma del Fase I Análisis Cualitativo de IBR.

Los resultados de este análisis son presentados en una matriz de riesgo como la descrita en la Figura 14, la cual es útil para localizar áreas de potenciales de riesgo y decidir qué porciones de la unidad de proceso necesitan la mayor atención desde el punto de vista de la inspección u otros métodos de reducción del riesgo, y puede también ser utilizado para decidir si es necesario realizar un estudio cuantitativo completo.

Determinación del nivel de criticidad para los instrumentos, según matriz de riesgo del sistema bajo análisis de un equipment group

El nivel de criticidad para estos equipos se determina en base a los niveles de consecuencias y probabilidad, empleando la Matriz de Riesgo definidas para un negocio en específico.

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación y probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que conozcan sobre los riesgos asociados al equipo en análisis.
- Para el caso de impacto en el proceso, pérdida total de la función que desempeña el activo. Para este caso el análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar
- (TPPR) y costos asociados.
- Este análisis debe realizarse conjuntamente con el personal de Mantenimiento y Operaciones o con cualquier otro que manifieste conocimiento sobre los riesgos desde el punto de vista de seguridad existente en la unidad en estudio o en el equipo que se analiza.
- La determinación del nivel de criticidad es directo, empleando la matriz de riesgo correspondiente al sistema bajo análisis.
- Se puede aplicar sinergia para los casos en donde aplique, con el objeto de facilitar y acortar el tiempo de este estudio.

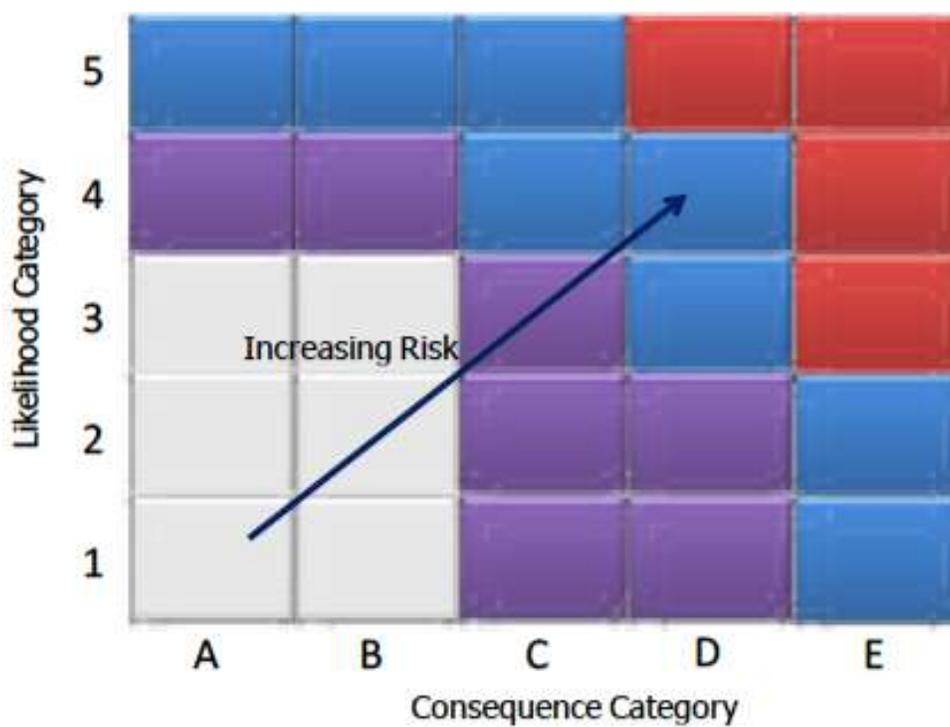


Figura 15. Matriz de Riesgo API 581

Autores: Edwin Gutiérrez, Miguel Aguero, Ivaneska Calixto
R2M. S.A Reliability and Risk Management

Maximizando la Efectividad de Equipos con OEE: Estrategias Avanzadas para la Industria 4.0



Autor: Leonardo Vieira
Founder, CEO México at TRACTIAN

En la era de la Industria 4.0, donde la tecnología y la conectividad están transformando rápidamente la industria, buscar la máxima eficiencia operativa se ha vuelto más crucial que nunca. En este contexto, la Efectividad General de Equipos (OEE) se vuelve una herramienta indispensable para las empresas que buscan optimizar la productividad, prevenir fallas y mantener una ventaja competitiva.

El OEE es un indicador clave de rendimiento que mide la eficiencia global de un equipo o una línea de producción. Se calcula multiplicando la disponibilidad, el rendimiento y la calidad del equipo, lo que proporciona una visión integral de su desempeño. En la industria moderna, donde cada minuto de tiempo de actividad y cada unidad producida son críticos, el OEE se ha convertido en un elemento fundamental para medir y mejorar la eficiencia operativa.

¿Qué es el OEE y su importancia en la industria moderna?

El OEE es un indicador que permite a las empresas evaluar y mejorar el rendimiento de sus equipos. Al proporcionar una métrica cuantificable de la eficiencia operativa, el OEE ayuda a identificar áreas de mejora y a implementar estrategias para optimizar el rendimiento y la productividad.

En la industria moderna, donde la competencia es enorme y las demandas de los clientes son cada vez más exigentes, maximizar la eficiencia operativa es crucial para el éxito a largo plazo de una empresa. El OEE proporciona una forma sistemática de medir y mejorar la eficiencia, lo que permite a las empresas identificar y eliminar los cuellos de botella, minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la producción.

Evolución del OEE hacia la Industria 4.0

Con la llegada de la Industria 4.0, el OEE ha evolucionado para adaptarse a las nuevas tecnologías y tendencias en la fabricación. La conectividad, la automatización y el análisis de datos están transformando la forma en que se mide y se optimiza la eficiencia operativa, permitiendo a las empresas tomar decisiones más informadas y proactivas.

En la Industria 4.0, el OEE se ha convertido en una herramienta aún más poderosa, gracias a la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las cosas (IoT), el análisis de datos en tiempo real y el aprendizaje automático. Estas tecnologías permiten a las empresas monitorear y analizar el rendimiento de sus equipos en tiempo real, identificar patrones y tendencias, y predecir posibles fallas antes de que ocurran.

Componentes Clave del OEE en el Contexto de la Industria 4.0

Para comprender mejor cómo el OEE se integra en la Industria 4.0, es importante analizar sus componentes clave y cómo se relacionan con las nuevas tecnologías y prácticas en la fabricación moderna.

» **Disponibilidad:** Conexión con mantenimiento predictivo

Uno de los componentes del OEE es la disponibilidad, que mide el tiempo en que un equipo está disponible y listo para operar en comparación con el tiempo total programado. En la Industria 4.0, la disponibilidad está estrechamente relacionada con el mantenimiento predictivo, que utiliza sensores y análisis de datos para predecir y prevenir fallos antes de que ocurran. Mediante el monitoreo en tiempo real de los equipos y el análisis de datos históricos, las empresas pueden identificar y abordar proactivamente los problemas de mantenimiento antes de que afecten la disponibilidad y la productividad.

» **Rendimiento:** Optimización mediante análisis de datos

El rendimiento es otro componente clave del OEE, que mide la velocidad real de producción en comparación con la velocidad teórica óptima. En la Industria 4.0, el rendimiento se optimiza mediante el análisis de datos en tiempo real y el uso de algoritmos de aprendizaje automático para identificar y eliminar cuellos de botella, minimizar tiempos de inactividad y maximizar la eficiencia de los procesos de producción. Al analizar datos como la velocidad de producción, la tasa de rechazo y el tiempo de ciclo, las empresas pueden identificar áreas de mejora y tomar medidas para aumentar el rendimiento y la productividad.

» **Calidad:** Aseguramiento mediante tecnologías avanzadas

La calidad es el tercer componente del OEE, que mide la proporción de productos buenos producidos en comparación con el total de productos producidos. En la Industria 4.0, el aseguramiento de la calidad se mejora mediante el uso de tecnologías avanzadas como la visión por computadora, la detección de defectos y el control de procesos en tiempo real. Estas tecnologías permiten a las empresas identificar y corregir problemas de calidad de manera rápida y eficiente, reduciendo los costos de reprocesamiento y aumentando la satisfacción del cliente.



DISPONIBILIDAD: CONEXIÓN CON MANTENIMIENTO PREDICTIVO



RENDIMIENTO: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE DATOS



CALIDAD: ASEGURAMIENTO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS

¿Cómo calcular el OEE?

El cálculo tradicional del OEE se basa en tres métricas principales: disponibilidad, rendimiento y calidad. Sin embargo, en la era digital, se están desarrollando nuevos métodos y enfoques para calcular el OEE de manera más precisa y eficiente. Por ejemplo, en lugar de calcular el OEE manualmente utilizando datos recopilados manualmente, las empresas pueden utilizar sistemas de monitoreo en tiempo real y software de análisis de datos para recopilar automáticamente datos de rendimiento y calidad y calcular el OEE en tiempo real. Esto permite a las empresas obtener una visión más precisa y actualizada de la eficiencia operativa de sus equipos.

Herramientas y plataformas tecnológicas

En la era digital, las empresas tienen acceso a una amplia gama de herramientas y plataformas tecnológicas diseñadas específicamente para ayudar en el cálculo y la gestión del OEE. Estas herramientas pueden incluir software de gestión de activos, sistemas de monitoreo en tiempo real, sistemas de mantenimiento predictivo, software de análisis de datos y más. Al utilizar estas herramientas y plataformas tecnológicas, las empresas pueden automatizar el proceso de recopilación, análisis y toma de decisiones.

Implementación de OEE en la Industria 4.0

La implementación exitosa del OEE en la Industria 4.0 requiere un enfoque estratégico y una comprensión profunda de las tecnologías y prácticas relevantes.

- » **Evaluar la infraestructura existente:** Antes de implementar el OEE, es importante evaluar la infraestructura tecnológica y de datos existente de la empresa para identificar cualquier brecha o área de mejora. Esto puede incluir la evaluación de sistemas de monitoreo en tiempo real, software de gestión de activos, sistemas de mantenimiento predictivo y más.
- » **Definir objetivos y métricas clave:** Una vez que se ha evaluado la infraestructura existente, es importante definir claramente los objetivos y métricas clave para la implementación del OEE. Esto puede incluir objetivos relacionados con la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, así como métricas específicas para medir el éxito de la implementación.
- » **Seleccionar tecnologías y herramientas adecuadas:** Una vez que se han definido los objetivos y métricas clave, es importante seleccionar las tecnologías y herramientas adecuadas para la implementación del OEE. Esto puede incluir software de monitoreo en tiempo real, sistemas de mantenimiento predictivo, software de análisis de datos y más.
- » **Desarrollar un plan de implementación:** Una vez seleccionadas las tecnologías y herramientas adecuadas, es importante desarrollar un plan detallado de implementación que establezca los pasos y plazos necesarios para alcanzar los objetivos establecidos. Esto puede incluir la asignación de recursos, la capacitación del personal y la coordinación de actividades entre diferentes equipos y departamentos.

1

EVALUAR LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

2

DEFINIR OBJETIVOS Y MÉTRICAS CLAVE

3

SELECCIONAR TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS ADECUADAS

4

DESARROLLAR UN PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Planificación estratégica y evaluación de tecnologías

La planificación estratégica y la evaluación de tecnologías son aspectos clave de la implementación exitosa del OEE en la Industria 4.0. Esto incluye la identificación de tecnologías y herramientas relevantes, la evaluación de sus capacidades y limitaciones, y la selección de aquellas que mejor se adapten a las necesidades y objetivos de la empresa.

En la Industria 4.0, las empresas tienen acceso a una amplia gama de tecnologías y herramientas diseñadas específicamente para ayudar en la implementación y gestión del OEE. Estas pueden incluir sistemas de monitoreo en tiempo real, software de análisis de datos, sistemas de mantenimiento predictivo, y más. Al seleccionar las tecnologías adecuadas y desarrollar un plan estratégico de implementación, las empresas pueden maximizar el éxito de su implementación del OEE y lograr mejoras significativas en la eficiencia operativa y la productividad.

El análisis predictivo es una técnica que utiliza modelos estadísticos y algoritmos de aprendizaje automático para predecir eventos futuros basados en datos históricos. Al aplicar el análisis predictivo al OEE, las empresas pueden identificar tendencias y patrones ocultos en los datos de rendimiento y calidad para mejorar la eficiencia operativa y maximizar el rendimiento de sus equipos.

Desafíos y Soluciones en la Implementación del OEE

- » **Falta de datos de calidad:** Esto puede deberse a una variedad de factores, como sistemas de monitoreo obsoletos, errores humanos en la recopilación de datos y falta de integración entre diferentes sistemas. Las empresas deben implementar sistemas de monitoreo en tiempo real y software de análisis de datos que garanticen la calidad y precisión de los datos recopilados.
- » **Resistencia al cambio:** Otra barrera importante para la implementación del OEE es la resistencia al cambio por parte de los colaboradores. Muchos de ellos pueden temer que la implementación del OEE afecte sus trabajos o rutinas diarias, lo que puede generar resistencia y dificultar la adopción de nuevas prácticas y tecnologías. Para superar este desafío, las empresas deben comunicar claramente los beneficios del OEE y proporcionar capacitación y apoyo adecuados a los empleados para facilitar la transición.

Además de superar los desafíos operativos y culturales, las empresas también deben asegurarse de que los datos recopilados para el cálculo del OEE sean precisos y confiables. Esto requiere la implementación de medidas de aseguramiento de la calidad de datos, como la validación y verificación de datos, la identificación y corrección de errores, y la garantía de la integridad y exactitud de los datos recopilados.

En la era digital, donde la cantidad de datos generados por los sistemas de monitoreo en tiempo real y otros dispositivos conectados puede ser abrumadora, **la precisión analítica también es crucial**. Esto requiere el uso de herramientas y técnicas avanzadas de análisis de datos, como **el aprendizaje automático y la inteligencia artificial**, para identificar tendencias y relaciones en los datos y tomar decisiones más informadas y proactivas para mejorar la eficiencia operativa y maximizar el rendimiento de los equipos.

El futuro del OEE en la Industria 4.0 es prometedor, con nuevas tecnologías y tendencias que están transformando la forma en que se mide y optimiza la eficiencia operativa. Al aprovechar estas tendencias y adoptar un enfoque proactivo hacia la mejora continua, las empresas pueden maximizar su efectividad operativa y mantener una ventaja competitiva en un mercado cada vez más cambiante y dinámico.

¿Cuánto está gastando tu empresa por su baja eficiencia energética?



Cargo Factor de Potencia 53,228.80



¡Evita multas!

Monitorea la energía

TRACTIAN

Calculando la cantidad óptima de repuestos de alta rotación



Autor: Edgar Fuenmayor

Senior Reliability Engineer | Asset Management Strategist | Trainer

Resumen

¿Cuándo se debe pedir? y ¿Cuánto inventario se debe pedir? Si se mantienen inventarios demasiado altos, el costo podría llevar a una empresa a problemas financieros graves. Esto ocurre porque un inventario parado inmoviliza recursos que podrían ser mejor utilizados en funciones más productivas de la organización.

Además, el inventario parado tiende a tornarse obsoleto y corre el riesgo de dañarse así como generar costos elevados de mantenimiento en el almacén. Por otro lado, si se mantiene un nivel insuficiente de inventario, podría generar consecuencias muy altas en cuanto a la producción no realizada durante la indisponibilidad del material en el almacén, lo cual genera reducción de ganancias o rentabilidad del negocio.

El manejo de inventario ha llegado a la cumbre de los problemas de la administración de empresas debido a que es un componente fundamental de la productividad. La empresa de hoy tiene que ser productiva para sobrevivir y prosperar.

En la mayoría de los negocios, los inventarios representan una inversión relativamente alta y producen efectos importantes sobre todas las funciones principales de la empresa, específicamente para el departamento de mantenimiento donde se requiere disponer de los materiales en el momento oportuno tanto para baja rotación como para alta rotación y de esta manera disminuir el lucro cesante debido a la indisponibilidad del repuesto durante el tiempo de reposición.

En este artículo se mostrará la matemática utilizada para determinar los parámetros claves de inventario a través de la aplicación de un caso de estudio para un repuesto de un equipo crítico de una planta de proceso.

Palabras Claves

Criticidad, Demanda, Punto de Re-Orden, Tiempo de Reposición, Abastecimiento, Nivel de Servicio, Factor de Seguridad, Distribución Normal, Inventarios, Depreciación.



Artículo extraído de
Edición No. 40

Introducción

Los inventarios o stocks son la cantidad de bienes que una empresa mantiene en existencia en un momento dado. En una primera aproximación estos inventarios pueden ser de los siguientes tipos:

- Inventarios de proceso o de distribución.
- Inventarios cíclicos o de lote.
- Inventarios de seguridad.
- Inventarios especulativos.
- Materias Prima.
- Productos en Proceso.
- Productos Terminados.
- Materiales MRO (Mantenimiento, Reparación y Operaciones).

En la actualidad los inventarios de alta rotación representan un dolor de cabeza importante para cualquier departamento de mantenimiento ya que la indisponibilidad de ellos pudieran afectar de manera considerable la continuidad operacional de cualquier proceso productivo si se solicita y no se tiene disponible en el almacén debido a su criticidad.

En muchos almacenes o bodegas de materiales para mantenimiento reposan repuestos de alto costo en estado de obsolescencia debido a que fueron solicitados para garantizar la continuidad operacional si llegase a ocurrir una falla funcional del activo físico y sobreestimaron los niveles de inventarios direccionando los recursos económicos hacia inversiones no rentables para la organización en el caso de repuestos de baja rotación o críticos.

Por otro lado la clasificación y la criticidad de los materiales aun en día se lleva a cabo a través de la consulta a un experto de la planta para que sea el quien determine según su experiencia cuanto es el mínimo y el máximo para un determinado repuesto, incurriendo en el error de sobre estimar el pedido o quedar por debajo de lo que realmente se necesita para la maquina o activo físico.

Una acertada gestión de inventarios para mantenimiento busca tomar las mejores decisiones para lograr minimizar la inversión en materiales sin correr el riesgo de tener pérdidas económicas originadas por la indisponibilidad de algún repuesto que interrumpa la continuidad de las operaciones. La gestión eficaz del inventario MRO es un reto complejo. Tradicionalmente, esta ha girado en torno a comprar de forma manual y subjetiva o con base en información histórica errónea.

Comportamiento típico de los inventarios para mantenimiento

La gestión de los materiales MRO es más complejas que la de los inventarios de materias primas y productos terminados por las siguientes razones. Los inventarios para mantenimiento se comportan de manera muy diferente con respecto a los llamados inventarios convencionales como materia prima, material en proceso o producto terminado en los siguientes aspectos:

- La variedad de artículos
- La diferencia de la demanda
- La diferencia en precios
- La diferencia en criticidad
- La diferencia en tiempos de entrega

Factores que promueven el exceso de inventario de mantenimiento

- Estimación inicial de mínimos y máximos sin cambios
- Política de gestión de inventario estacionaria
- Falta de inversión para adquirir herramientas informáticas
- Responsabilidades desalineadas
- El sistema de gestión
- El numero de almacenes
- Punto de pedido elevado
- Tamaño de pedido elevado
- Desconocimiento de la obsolescencia
- Variedad y complejidad de los artículos
- Proyectos y situaciones especiales
- Requerimientos de operaciones logísticas

Los costos en la gestión de inventarios para mantenimiento

- Costos de Ordenar
- Costos de Almacenamiento
- Costos de Capital
- Costos de Espacio de Almacenamiento
- Costos de Servicios de Inventarios
- Costos de Riesgo de Inventarios
- Costos de Faltas de Existencias

Diez errores a evitar en la gestión de inventario para mantenimiento

1. Suponer los Tiempos de Reposición de inventario
2. Falta de disciplina con la política de inventario.
3. Pensar que la sola estimación del nivel de inventario lo soluciona.
4. Desconocer la clasificación de los artículos.
5. Falta de indicadores para la toma de decisión.
6. Falta de capacitación del personal.
7. Creer tener un muy alto nivel de servicio.
8. Poco empleo de las herramientas tecnológicas.
9. Débil documentación de los procesos.
10. Control de accesos al inventario.

Proceso de gestión de inventario

En el siguiente diagrama se muestra como la gestión de inventario parte de la definición de la política de inventario la cual nos lleva a una estrategia de inventario que debe estar alineada con los indicadores del negocio para que pueda ser implementada dicha estrategia y obtener la medición y evaluación del desempeño, y finalmente una revisión y validación por la gerencia lo cual da una retroalimentación a la estrategia de inventario completando de esta manera el ciclo del proceso.

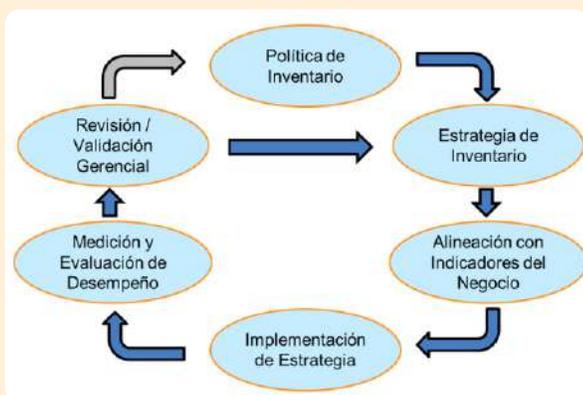


Figura 1. Proceso de Gestión de Inventario

Políticas de reposición

Las políticas de reposición se refieren a la estrategia adoptada para reponer el nivel de inventario cuando este ha llegado a un nivel mínimo preestablecido o punto de pedido.

Existen tres políticas de reposición básicas:

- Método MIN/MAX
- Método PP/CP
- Intervalo constante/Cantidad variable.

En el caso de estudio mostrado en este artículo será utilizada la política de reposición de Punto de Pedido/Cantidad Económica de Pedido para la solución del problema ya que es recomendable para materiales con alta tasa de utilización.

Clasificación de materiales para mantenimiento

Los materiales empleados durante la ejecución de las actividades de mantenimiento presentan diferentes características en cuanto a precios, demanda y criticidad, razón por la cual, desde el punto de vista de su administración, no deben ser tratados de igual manera.

Si se quiere mejorar la eficiencia de la gestión de los materiales empleados en mantenimiento, la primera tarea que se debe emprender es agruparlos en función de esas características y así darles el tratamiento adecuado para que con la mínima inversión garantizar el nivel de servicio necesario y no correr el riesgo de interrumpir la continuidad de las operaciones.

Desde el punto de vista de la tasa de utilización o Demanda se hace una primera clasificación en: Inventarios de artículos activos (Alta Rotación), Inventarios de artículos pasivos (Baja Rotación) e inventarios de materiales de consumo. Existen dos técnicas de clasificación: Clasificación ABC y Clasificación XYZ (Contreras, 2018).

Clasificación ABC

Es la técnica de clasificación más ampliamente utilizada para clasificar los inventarios y su principal aplicación está en la clasificación de los inventarios con fines comerciales ya que permite determinar los artículos que tienen un alto valor de uso.

Si bien es cierto que esta clasificación es de gran utilidad y contribuye a optimizar los inventarios, para los inventarios de mantenimiento no es la técnica prioritaria para clasificar los materiales ya que solo analiza los materiales que tienen demanda durante un periodo determinado, generalmente un año y precisamente en mantenimiento los materiales que tienen mayor impacto sobre el valor del inventario son

aquellos que tienen una tasa de utilización o demanda extremadamente baja por lo que no se mueven durante periodos muy largos.

El objetivo de esta técnica de clasificación es definir tres categorías de materiales denominadas materiales tipo A, materiales tipo B, y materiales tipo C. Los materiales tipo A son aquellos con el mayor valor de uso, los materiales tipo B son los que tienen un valor de uso intermedio y los materiales tipo C son aquellos con el valor de uso más bajo.

A pesar de lo explicado anteriormente, la técnica no debe ser descartada para clasificar los materiales de mantenimiento ya que se puede encontrar oportunidades para su optimización como reducción de precios; búsqueda de nuevos proveedores; disminución del punto de pedido; y disminución de la cantidad de pedido. (Contreras, 2018).

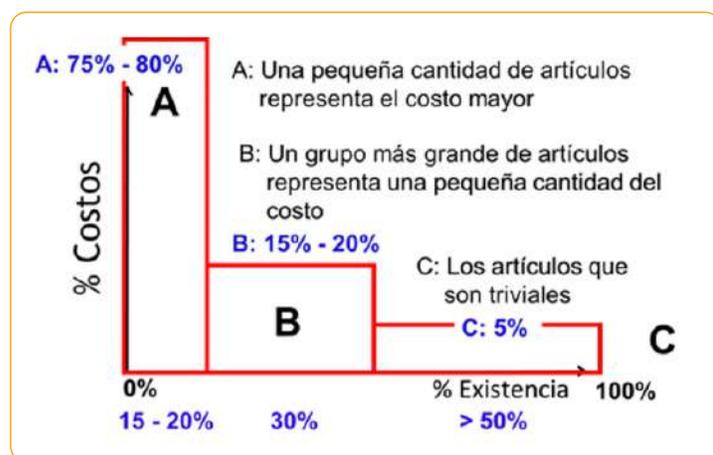


Figura 2 Clasificación ABC - Pareto

Clasificación XYZ

Esta técnica permite determinar tres categorías de materiales en función del valor que tienen respecto al valor total del inventario. La categoría X agrupa aquellos materiales cuyo valor representa un alto porcentaje del valor total.

Típicamente este grupo está conformado por una pequeña cantidad y variedad de materiales que usualmente ronda entre el 5 y el 10% del total de materiales almacenados pero su valor generalmente supera el 60% del valor total del inventario.

La categoría Y representa un valor y una variedad intermedia mientras que la categoría Z agrupa una gran cantidad de materiales, alrededor del 50% de toda la variedad de materiales almacenados, pero con un valor relativamente bajo que puede estar entre el 10% y el 20% del valor total del inventario.

A diferencia de la clasificación ABC que se hace para un periodo determinado, generalmente un año, esta clasificación es realizada en cualquier momento y muestra como está distribuido el valor total del inventario en tres categorías denominadas X,Y,Z, cada una de las cuales comprende un porcentaje específico de todos los materiales almacenados. (Contreras, 2018).

Análisis de criticidad - Jerarquización de materiales

En toda organización es imprescindible establecer una jerarquía entre los materiales en función del impacto que puede generar en la continuidad operacional la indisponibilidad de un repuesto cuando es necesitado y no está disponible en el almacén.

Este impacto está vinculado con las consecuencias de la indisponibilidad y el tiempo de entrega del repuesto en el almacén. Se pueden obtener tres niveles de criticidad: Alta Criticidad, Media Criticidad y Baja Criticidad. En un almacén típico de materiales para mantenimiento cerca del 10% de los materiales representan alrededor del 90% del valor total de los inventarios (Moncrief, 2006).

En muchas organizaciones es evidente la necesidad de emprender un programa para la OPTIMIZACIÓN de sus inventarios y cualquier intento para lograr este objetivo debe comenzar por clasificar los materiales de acuerdo a su criticidad y valor para establecer prioridades en cuanto a los esfuerzos dedicados a la determinación de los parámetros y políticas de inventarios para los distintos materiales existentes en el almacén. (Contreras, 2018).

Es de resaltar que las variables importantes para un análisis de criticidad es la indisponibilidad de no tener el repuesto cuando es necesitado en la planta para su continuidad operacional y el tiempo de entrega por el proveedor. Las consecuencias por la indisponibilidad se analiza preguntándose qué sucede si ocurre una falla funcional del elemento

INDISPONIBILIDAD	PARALIZA LA PRODUCCIÓN	MEDIA (2)	ALTA (3)	ALTA (3)
	LA AFECTA PARCIALMENTE	BAJA (1)	MEDIA (2)	ALTA (3)
	NO AFECTA LA PRODUCCIÓN	BAJA (1)	BAJA (1)	MEDIA (2)
		< 10 DÍAS	ENTRE 10 Y 30 DÍAS	> 30 DÍAS
		TIEMPO DE ENTREGA		

Figura 3. Matriz de Criticidad. Fuente: Gestión y Optimización de Inventarios, José Contreras 2018.

y vamos al almacén y no está disponible el repuesto lo que puede resultar en paralizar totalmente la producción, afectar parcialmente la producción o no sucede nada.

Es muy común que en muchas organizaciones consideren para el análisis de criticidad como criterio el impacto en la seguridad, ambiente e imagen de la organización criterios no necesarios para este análisis. Cabe destacar, que esta matriz es un modelo que puede ser una representación para algunas empresas pero para otras se debe calibrar a la medida de la organización.

Diferencia entre consumo y tasa de utilización o demanda

El CONSUMO es la cantidad de unidades de un artículo que son retiradas del almacén en un periodo de tiempo dado. En producción es frecuente medir el consumo en unidades por semana, día o incluso horas. Sin embargo en mantenimiento los materiales se mueven más lentamente y es habitual medir el consumo en unidades por mes.

Mientras que la TASA DE UTILIZACIÓN O DEMANDA es la cantidad de piezas utilizadas en determinado periodo de tiempo. Los modelos matemáticos para estimar la demanda de un repuesto específico asumen que el patrón de demanda es constante, pero en realidad no es así, la demanda es variable y en el caso de materiales utilizados en mantenimiento fluctúa de manera considerable.

Por otro lado, el concepto de demanda es similar al de consumo, pero a diferencia de este, se refiere a la cantidad de unidades solicitadas y no a las despachadas.

Si existe suficiente stock, el consumo es igual a la demanda, ya que cada unidad solicitada es despachada. Si se presenta una ruptura de stock y durante este periodo se requieren materiales, la demanda será superior al consumo.

Esta diferencia constituye el Back-log. Normalmente se prefiere calcular los inventarios de seguridad usando la demanda en vez del consumo ya que la demanda representa la necesidades reales del usuario.

Tiempo de reposición

El tiempo de reposición es el tiempo comprendido entre la detección de la necesidad de comprar una cierta cantidad de un material y el momento en que este llega físicamente al almacén. El tiempo de reposición puede descomponerse fundamentalmente en dos partes:

1. El tiempo que transcurre desde la detección de la necesidad de realizar la compra hasta que se emite la orden de compra.
2. El tiempo que transcurre desde la emisión de la orden de compra hasta la recepción física del material. Este tiempo es muy importante para compras internacionales. El tiempo de entrega o reposición también conocido como “Lead Time”, incluye los siguientes componentes:
 - Tiempo para notificar que un artículo está por debajo del punto de pedido.
 - Tiempo requerido para preparar y distribuir la orden de compra.
 - Tiempo para colocar la orden de compra.
 - Tiempo para que el proveedor prepare el pedido.
 - Tiempo para entregar.
 - Tiempo para recibir.
 - Tiempo para almacenar y notificar lo recibido.

Cálculo del punto de pedido – Punto de re-orden

Se define como el nivel de inventario para el cual se coloca un pedido para asegurar que no exista rotura de stock antes de que el pedido sea recibido y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Punto de Pedido} = \text{Stock Mínimo} + \text{Stock de Seguridad}$$

Por su parte el stock mínimo se define como el nivel de inventario que podrá satisfacer la demanda durante el tiempo de entrega. Se calcula mediante la expresión:

$$\text{Stock Mínimo} = \text{Tiempo de Entrega Promedio} \times \text{Tasa de Utilización Promedio}$$

Por otra parte el stock de seguridad se calcula con la siguiente expresión matemática la cual está en función de un factor de seguridad (NºDAP) el cual está en función del nivel de confianza deseado. Existen tablas tabuladas para este factor de seguridad o NºDAP (Numero de la Desviación Absoluta Promedio). Para mayor detalle del análisis por favor consultar la bibliografía recomendada.

$$\text{Stock de Seguridad} = \text{Stock M\u00ednimo} \times \frac{\text{N}^\circ \text{DAP} \times \text{Desviaci\u00f3n Absoluta Promedio}}{\text{Tasa Promedio de Utilizaci\u00f3n Mensual}}$$

Es importante destacar que el punto de pedido tambi\u00e9n depende del stock de seguridad el cual es una cantidad adicional al stock m\u00ednimo que sirve de amortiguador a las variaciones de la demanda y su valor debe ser estimado de acuerdo a la criticidad del art\u00edculo en relaci\u00f3n al nivel de confianza deseado. En la siguiente tabla se muestra como cambia el punto de pedido en relaci\u00f3n al factor de seguridad (Z) y el nivel de confianza (NC).

NC	Sm	Z	Desviaci\u00f3n	DM	SS	PP
50	2,0	0	1,5	5	0	2,0
80	2,0	1	1,5	5	0,6	2,6
95	2,0	2	1,5	5	1,2	3,2
99	2,0	3	1,5	5	1,8	3,7
99,9	2,0	4	1,5	5	2,4	4,3
99,99	2,0	5	1,5	5	3,0	4,9

Tabla 1. Relaci\u00f3n del Punto de Pedido con el Factor de Seguridad.

Significado del nivel de servicio

En gesti\u00f3n de inventarios, el nivel de servicio es uno de los indicadores m\u00e1s importantes, se podr\u00eda decir que el m\u00e1s importante desde el punto de vista operacional. El nivel de servicio se puede ver desde dos perspectivas, primero como predictor, interpret\u00e1ndose como la probabilidad de disponer de una pieza cuando es solicitada al almac\u00e9n y en segundo lugar como resultado de la gesti\u00f3n de inventarios que representa la demanda atendida con respecto a la demanda total ver la ecuaci\u00f3n (1), por ejemplo, si un art\u00edculo tuvo una demanda de 20 unidades en un mes y solo se atendió 18 unidades entonces el nivel de servicio fue de 90% (18/20).

El nivel de servicio est\u00e1 relacionado con el nivel de confianza establecido en el stock de seguridad y el punto de pedido. El nivel de servicio representa la probabilidad de disponer del art\u00edculo en el almac\u00e9n cuando es requerido en cualquier momento del a\u00f1o. El nivel de servicio ser\u00e1 afectado negativamente si:

- El nivel de confianza es bajo
- El tiempo de entrega es largo
- El n\u00famero de pedidos es grande.

El nivel de servicio ser\u00e1 mejorado si se aumenta el stock de seguridad, disminuye el tiempo de entrega y se realizan pedidos de grandes cantidades. De las tres opciones anteriores, la \u00fanica que no implica incrementar el nivel de inventario y por lo tanto la mejor alternativa, es la disminuci\u00f3n del tiempo de entrega, objetivo que se puede lograr agilizando los procesos administrativos necesarios para el desarrollo del ciclo pedido-entrega. (Contreras, 2018).

Cantidad económica de pedido – Formula de Wilson

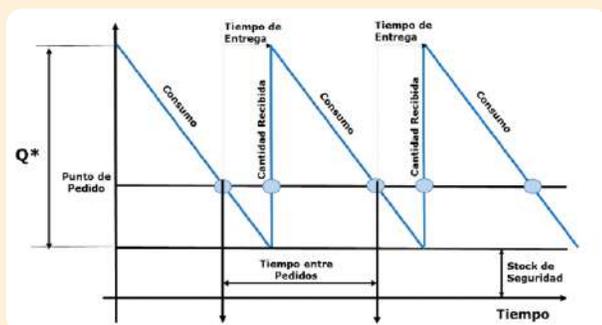


Figura 4. Diagrama de consumo de un artículo.

La cantidad económica de pedido (conocida por sus siglas en inglés como Economic Order Quantity o por la sigla EOQ), es el modelo fundamental para el control de inventarios.

El principio del EOQ es simple, y se basa en encontrar el punto en el que los costos por pedir un producto y los costos por mantenerlo en inventario son iguales. La EOQ es la cantidad del pedido de compra para el **reabastecimiento** que minimiza los costos de inventario totales. El pedido se desencadena cuando el nivel de inventario llega al **punto de re-orden**.

La EOQ se calcula para minimizar una combinación de costos, como el costo de compra (que puede incluir descuentos por volumen), el costo de almacenaje de inventario, el costo de pedido, etc. La optimización de la cantidad de pedido es complementaria a la optimización de las **existencias de seguridad**, que se centra en encontrar el umbral óptimo para desencadenar la re-orden.

A continuación, se muestran los diagramas del modelo de Wilson con stock de seguridad y la gráfica de la combinación de los costos proyectados. En estos diagramas se puede observar que la cantidad económica de pedido es la cantidad de unidades que se deben solicitar una vez se llegue al punto de pedido o re-orden. En este modelo es importante la determinación del tiempo entre pedidos y el número de pedido por año, así como los costos de pedido o colocación y costos de almacenamiento.

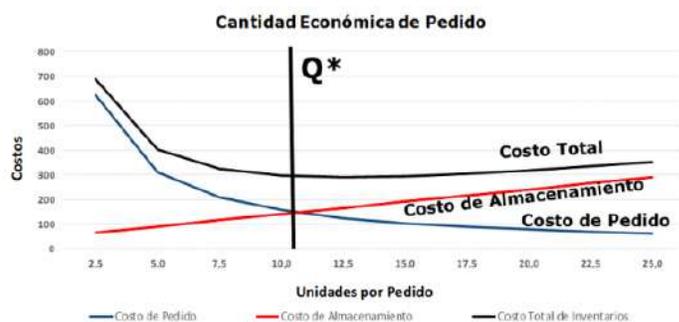


Figura 5. Diagrama de costo total de inventario.

A continuación, se muestran las ecuaciones importantes para determinar la cantidad económica de pedido de un artículo.

$$C_p = s \cdot N = \frac{s \cdot D}{Q}$$

$$C_a = g \cdot \left(\frac{Q}{2} + ss \right)$$

$$N = \frac{D}{Q}$$

$$T = \frac{365}{N}$$

NOMENCLATURA:

C_p = Costo Anual de Pedido
 s = Costo de Realizar un Pedido
 N = Numero de Pedido
 T = Tiempo entre Pedidos
 D = Demanda Anual
 Q = Cantidad optima que permite a la empresa minimizar los costos de inventarios
 SS = Stock de Seguridad
 g = Costo de Mantener una Unidad en el Almacén
 Ca = Costo de Almacenamiento
 CT = Costo Total de Inventario
 $CT = C_p + C_a$
 Q = Cantidad Optima que permite a la empresa minimizar los costos de inventarios

Caso de estudio

Una empresa petroquímica tiene instalado en una de sus plantas un repuesto de alto consumo para un equipo crítico con un tiempo de reposición igual a 30 días y la indisponibilidad del repuesto no afecta totalmente la producción del proceso productivo.

El repuesto tiene un costo por unidad de 100\$ y el costo de realizar el pedido es 30\$, el costo de mantenimiento en el almacén es 20% del precio de compra. La tasa de utilización o demanda es como se muestra en la siguiente pantalla de la herramienta computacional ADA-REPUESTOS. La herramienta computacional usada permite conocer la criticidad del repuesto para luego poder determinar los parámetros claves de inventarios tal como se describió a lo largo del artículo.

Cabe destacar, que para la solución de este problema la herramienta hace uso de la distribución normal ya que estamos en presencia de un repuesto de alta rotación es decir al menos una pieza es consumida por mes. ¿Determinar los parámetros claves de la gestión de inventarios?

DEMANDA MENSUAL				TIEMPO DE REPOSICION	
Enero	2	Julio	2	Tiempo Administrativo (Días)	5
Febrero	4	Agosto	1	Tiempo del Proveedor (Días)	25
Marzo	7	Septiembre	7	CONSECUENCIAS POR INDISPONIBILIDAD	
Abril	3	Octubre	8	NO AFECTA LA PRODUCCION	
Mayo	5	Noviembre	5	CRITICIDAD DEL COMPONENTE	
Junio	6	Diciembre	2	BAJA	
Demanda Anual	52 Unidades				
Demanda Promedio	4 Unidades				
Orden Múltiplo de	4 Unidades				
Costo de Realizar un Pedido		30	Costo Unitario del Artículo		100
Costo de Almacenamiento %		20	Costo de Almacenamiento		20
RESULTADOS					
Punto de Pedido	6,82		Nivel de Confianza (%)	90	
Nivel de Servicio (%)	96,58		Índice de Rotación de Inventario	5	
Cantidad Económica Óptima de Pedido	12,49		Costo de Pedido	124,90	
Número de Pedido por Año	4,16		Costo de Almacenamiento	124,90	
Tiempo entre Pedido	87,67		Costo Total Anual	249,80	

Tabla 2. Datos de entrada y resultados de la herramienta.

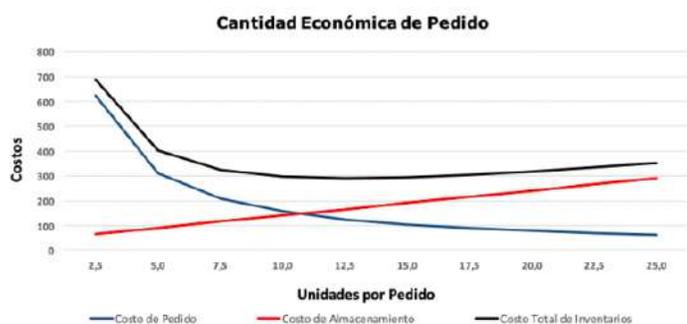


Figura 6. Gráfica de los costos de inventario.

En este caso de estudio se puede observar que de acuerdo a la política de reposición empleada el punto de pedido es igual a 6,82 unidades es decir cuando se llegue a 6 o 7 unidades se debe colocar una orden para comprar 12,49 unidades o 12 unidades y de esta manera garantizar la continuidad operativa de la máquina.

El nivel de servicio esperado es igual 96,58% y la criticidad del artículo es baja de acuerdo a la indisponibilidad y tiempo de entrega del componente. El número de pedido por año es aproximadamente igual a 4 pedidos. El tiempo de entrega entre pedido es igual 87,67 días aproximadamente igual a 88 días y un costo total igual a 249,80\$.

En la gráfica se muestra como los costos de almacenamiento se incrementan con la cantidad de artículos en el almacén mientras los costos de colocación disminuyen.

Conclusiones

En este trabajo de investigación se pudo mostrar la importancia de los inventarios de alta rotación o elementos activos ya que en cualquier departamento de mantenimiento es imperativo conocer ¿CUÁNDO PEDIR? y ¿CUÁNTO PEDIR? de tal manera de no impactar de manera considerable el proceso productivo.

En conclusión, los departamentos de mantenimiento de cualquier organización deberían invertir tiempo y recursos para conocer los parámetros de inventarios y que los mismos puedan ser actualizados de manera constante ya que estos indicadores no son estáticos por el contrario cambian con el desgaste y uso normal de la máquina. Es de resaltar, que nunca se debe preguntar a ningún experto cuales son los niveles de inventarios necesarios según su experiencia sino cual es el impacto de no disponer del repuesto en el almacén y cuál sería el tiempo medio para la falla del artículo objeto de estudio.

Una acertada gestión de inventarios para mantenimiento busca tomar las mejores decisiones para lograr minimizar la inversión en materiales sin correr el riesgo de tener pérdidas económicas originadas por la indisponibilidad de algún repuesto que interrumpa la continuidad de las operaciones.

La gestión optimizada de los materiales para mantenimiento debe tener la importancia requerida para garantizar que cuando ocurre una falla funcional de un activo físico el mismo pueda ser restaurada su función en el menor tiempo posible y con las consecuencias económicas más bajas posibles.

TRACTION

Inteligencia Artificial al servicio de tu mantenimiento.



www.traction.com

El Entrenamiento como Pilar de la Operación y Mantenimiento en la Industria



Autor: Víctor D. Manríquez
Ingeniero Mecánico. MSC Energías Renovables



Artículo extraído de
Edición No. 03

El junio de 2010, entró en operación en Perú, la primera planta de Licuefacción de Gas Natural de Sudamérica. Pocos días después se completaba el primer embarque de GNL (Gas Natural Licuado) hacia México.

Así, Perú LNG (PLNG), el consorcio conformado por Hunt Oil, Repsol, Marubeni y SK Energy daba inicio a sus operaciones culminando de manera exitosa este megaproyecto con una inversión de 3 900 millones de dólares, la mayor inversión hecha en el Perú hasta entonces.

CB&I (Chicago Bridge & Iron) una de las grandes compañías globales de EPCM (Engineering, Procurement & Construction Management) recibió la adjudicación para la construcción de la Planta ubicada en Pampa Melchorita 168 km al sur de Lima.

Uno de los aspectos más importantes de este proyecto y el cual reseñaremos en este artículo fue el entrenamiento del personal operador y de mantenimiento de COLP, Compañía Operadora de LNG del Perú. Se buscaba de esta manera asegurar la operación y mantención eficiente y segura de la planta de licuefacción.

CB&I fue requerido contractualmente para proponer un Plan de Entrenamiento a PLNG doce meses después que la NTP (Notice To Proceed: Autorización de Proceder) fue comunicada el 22 de enero de 2007. Este Plan de Entrenamiento fue enviado y aprobado por PLNG. Luego comenzó el desarrollo de los materiales de entrenamiento. Este plan era revisado y enviado al cliente para su aprobación cada seis meses.



Figura 1. Vista de la Planta de Licuefacción de Gas Natural en Melchorita



Figura 2. Clases del curso de la Unidad de Nitrógeno suministrada por Air Liquide a cargo de Philippe Mouroux, instructor profesional. Asistieron a este curso 18 colaboradores de COLP.

El entrenamiento proporcionado por CB&I estuvo alineado con los requerimientos aplicables de la norma OSHA 29 C.F.R. 1910.119, esto significó que CB&I debió tanto entrenar como, demostrar la competencia de los empleados de PLNG.

El desarrollo de los programas y materiales de entrenamiento complementó los manuales de operación y procedimientos elaborados para el proyecto. Estuvieron basados en la información suministrada por:

- Manuales de operación y mantenimiento desarrollados por CB&I.
- Datos operacionales.
- Planos de los Proveedores.
- Documentación provista por los suministradores de procesos licenciados y equipos.

Se desarrollaron cuatro tipos de entrenamiento para el personal operativo de COLP:

- Entrenamiento en Clase (Classroom Training)
- Entrenamiento a cargo de los proveedores de los equipos (Vendors Training)
- Entrenamiento en el trabajo (OJT: On the Job Training)
- Entrenamiento en simulador de operaciones (OTS: Operator Training Simulator)

El entrenamiento en clase fue dirigido a 40 miembros del personal técnico operador y de mantenimiento de COLP y comprendió lo siguiente:

- Desarrollo de una matriz de entrenamiento para COLP donde se muestra los cursos por puesto de trabajo.
- Desarrollo de 24 módulos de entrenamiento y planes de clase.
- Entrenamiento en clase de duración de 4 semanas a tiempo completo por cada persona designada.
- Prueba de entrada y final por cada sesión de entrenamiento.

En cumplimiento de OSHA29 C.F.R 1910.119, se acordó entre CB&I y PLNG una marca mínima de 80% en las preguntas de proceso y 90% en las preguntas de seguridad.

El contenido típico de cada módulo de entrenamiento estuvo compuesto de la siguiente manera:

- Objetivos Claves del entrenamiento.
- Vista 3D de la Planta de GNL de Melchorita.
- Vista Horizontal de la Planta de GNL de Melchorita.
- Vista 3D de la unidad.
- Resumen ejecutivo.
- Introducción.
- Vista general del proceso.
- Datos de diseño.
- Principios de proceso y operación.
- Ajuste de alarmas y enclavamientos.
- Fases Operativas.
- Consideraciones de peligro, seguridad, medio ambiente y salud.
- Apéndices: PFD (Process Flow Diagram), P&ID (Process & Instrumentation Diagram), MSDS (Material Safety Data Sheet), Matriz Causa y Efecto y documentos del proveedor.

Unidad No.	Descripción
Unidad ----	Visión General de la Planta
Unidad 1000	Interfase aguas arriba e ingreso de gas
Unidad 1100	Remoción de gas ácido
Unidad 1300	Unidad de deshidratación
Unidad 1400	Sistema de refrigeración de propano
Unidad 1400	Sistema de refrigeración MR
Unidad 1400	Intercambiador de calor criogénico principal
Unidad 1500	Unidad de remoción de mercurio
Unidad 3100	Almacenamiento de refrigerantes y purificación
Unidad 3400	Almacenamiento de GNL
Unidad 3400	Carga de GNL
Unidad 4000	Sistema de generación de energía
Unidad 4000	Sistema de distribución de energía
Unidad 4100	Sistema de aceite caliente
Unidad 5200	Unidad de gas combustible
Unidad 5300	Unidad de Diesel & Gasolina
Unidad 6100	Unidad de suministro de agua
Unidad 6200	Unidad de Protección C/explosiones súbitas y drenaje de HC
Unidad 6300	Unidad de agua de servicio
Unidad 6400	Unidad de agua potable
Unidad 6500	Unidad de desmineralización de agua
Unidad 6600	Unidad de aire de instrumentación
Unidad 6700	Unidad de nitrógeno
Unidad 7600	Unidad de protección contra el fuego

Tabla 1.

El entrenamiento en clase se realizó en dos etapas, cada una de ellas comprendió 24 unidades que se realizaron del 2 de abril al 11 de junio del 2009, representando cerca de 7500 horas-hombre de capacitación. Todas estas clases fueron registradas en vídeo.

El segundo tipo de entrenamiento que proporcionó CB&I al personal operativo de COLP; fue el entrenamiento a cargo de los proveedores de los equipos.

Los objetivos de este entrenamiento fueron lograr que los empleados de COLP entiendan completamente los equipos o sistemas suministrados por los proveedores, a fin de operarlos y mantenerlos de forma segura y eficiente dentro de la Planta.

Se completaron 5000 horas hombre de entrenamiento en clase por parte de instructores profesionales de los proveedores.

Este entrenamiento aseguró que el personal de COLP opere y mantenga los equipos durante su operación normal y también en situaciones anormales como pueden ser emergencias; identificando las fallas y corrigiéndolas eficazmente, haciendo el diagnóstico de las mismas.

Se desarrollaron un total de 49 cursos a cargo de proveedores, en el Centro de Instrucción de pampa Melchorita.

Se diseñaron dos tipos de cursos de proveedores:

- Cursos dictados por instructores profesionales (29) que incluyeron entrenamiento en clase y entrenamiento en el trabajo.
- Cursos desarrollados por los ingenieros de comisionado (20) los cuales incluyeron un breve entrenamiento en clase y principalmente entrenamiento en el trabajo.

Todos estos cursos fueron dictados en inglés. Como parte del contrato los proveedores debieron suministrar copias impresas y digitales en inglés y español del material de entrenamiento, el cual fue transferido por CB&I a COLP al término de las labores de entrenamiento.

Los cursos programados con instructores profesionales fueron los siguientes:

Curso	Proveedor
Compresores y secadores de aire	Atlas Copco
Unidad de Nitrógeno	Air Liquide
Operación de turbinas de gas GE LM-2500 Mantenimiento de turbinas de gas GE LM-2500 Sistemas de Control de turbinas de gas GE LM-2500	GE Energy
Sistema de gestión de potencia	Rockwell
Unidad de Remoción de gas ácido	BASF
Turbinas de gas de circuito de refrigeración Compresores Centrifugos Sistema Control sobretensiones VSIDS Helper Motor Regulador de velocidad Speedtronic Mark VI	Nuovo Pignone, GE Oil & Gas
Intercambiador de calor criogénico principal, Medición de nivel de tanques de almacenamiento	Air Products Enraf
Bombas criogénicas, Compresor BOG	Nikkiso Pumps Siemens AG
Sistema de monitoreo de equipos	Bentley Nevada, GE Infra
Sistema Integrado de Control y Seguridad	Emerson

Tabla 2.

Para las clases de los cursos del ICSS basado en la Implementación del Sistema Delta V de Emerson, se habilitó un salón con 6 módulos de entrenamiento de esta compañía, dictándose un total de 11 cursos.



Figura 3. Equipo.

Todo este proceso de entrenamiento previo al arranque y puesta en operación de la planta de licuefacción de gas natural se ha visto reflejado en los altos estándares de operación, mantenimiento y seguridad en sus operaciones.

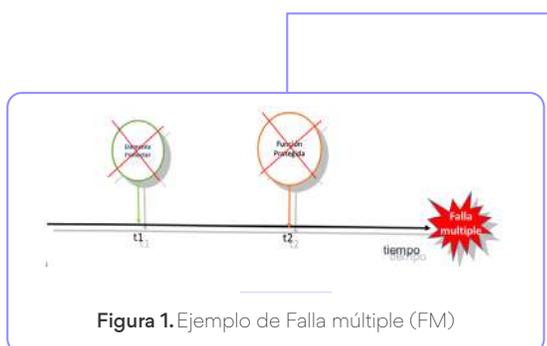
Introducción al Análisis de Fallas Múltiples



Autores: Arquimedes Ferrera Martinez
Senior Reliability Engineer

Resumen

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



1. Introducción

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

Una falla múltiple ocurre cuando falla la función protegida mientras el propio dispositivo de seguridad, protección o control está averiado o en falla¹, yo ampliaría esta definición de John Moubray de su libro RCMII, no solo cuando falla un dispositivo de seguridad, protección o control asociados a la función protegida, sino también cuando falla al arranque un equipo de respaldo o de “spare” como ejemplo bombas de respaldos de sistemas contra incendio, plantas generadoras de electricidad de respaldo para cubrir picos de consumo.

Las fallas múltiples están asociadas principalmente a fallas ocultas:

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

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

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

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

2. Análisis de Fallas Múltiples

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

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

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

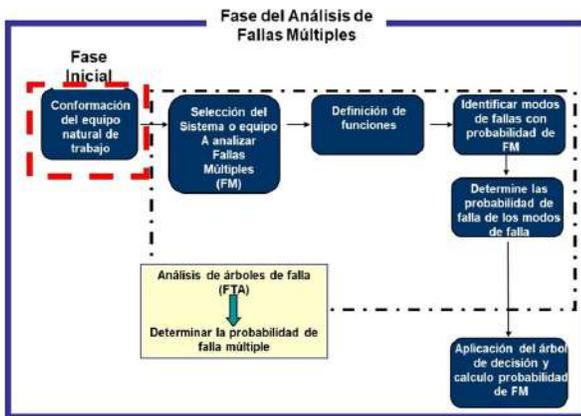


Figura 2. Metodología de Análisis de Falla múltiple (AFMOp©)

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

2.1 Selección del sistema y/o equipo

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

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

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

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

De los valores obtenidos del Rango de Criticidad, se establecerá la Jerarquización de Criticidad del Activo (Instalación, Proceso, Sistema o Equipo). A continuación en la Tabla 1, se muestra un ejemplo de tales niveles de Criticidad:

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

Tabla 1.

2.2. Definición de las funciones del sistema y/o equipo

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

En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de las funciones de un sistema de bombeo de aceite.

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

Tabla 2.

2.3. Identificar los modos de fallas

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

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

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

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

Tabla 3.

2.4. Determinar las probabilidades de falla

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

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

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

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

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

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

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

Por ejemplo una bomba de aceite de una turbina que ha operado 380,069.00 horas y ha tenido 6 fallas en ese periodo significa que tiene un MTBF de 63,344.83 es decir en promedio cada 7.23 años, lo que significa una TFA de 0.1383 fallas al año.

Las tasas de falla de los diversos equipos se muestran en la Tabla 4. La confiabilidad y la probabilidad de falla se calculan para cada componente individual asumiendo un periodo de operación determinado.

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

Tabla 4.

2.5. Árbol de falla y cálculo de probabilidad de falla múltiple

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

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

Uno de los principales usos que tiene un FTA son:

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

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

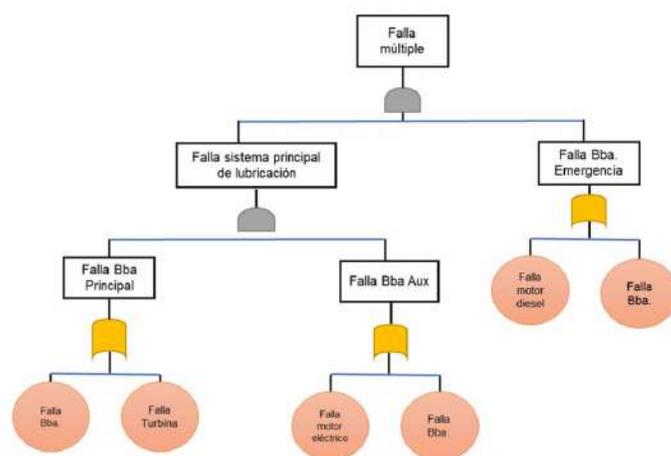


Figura 3. Análisis de Árbol de Falla.

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

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

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

Tabla 5.

2.6. Análisis cualitativo del árbol de fallos

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

Para los componentes que están en serie:

$$RSist(t) = R1(t) \times R2(t) = \pi Ri ; Psist(t) = 1 - RSist(t)$$

Para los componentes que están en paralelo:

$$PSist(t) = P1(t) \times P2(t) = \pi Ri ; Rsist(t) = 1 - PSist(t)$$

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

- $PFBP = P1 \times P2$;
- $PFBAux = P3 \times P4$;
- $PFBE = P5 \times P6$;

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

- $RFM = (1 - PFBP) \times (1 - PFBAux) \times (1 - PFBE)$
- $PFM = 1 - RFM$

Sustituyendo los números proporcionados en la Tabla 5 y resolviendo la ecuación

$$PFM = 0.000111\%$$

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

3. Abreviaturas y Acrónimos

Algunas abreviaturas específicas utilizadas son:

- **AFMOp©**: Metodología de Análisis de Falla Múltiple Optimizado.
- **FTA**: Análisis del Árbol de Fallas.
- **FM**: Falla Múltiple.
- **MTBF**: Tiempo Promedio Entre Fallas.
- **P(t)**: Función de Probabilidad de Falla.
- **RCM**: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- **R(t)**: Función de Probabilidad de Confiabilidad.
- **TFA**: Tasa de Falla Anualizada.
- λ : Tasa de Falla.
- **UF**: Falla no Detectado u Oculta.

4. Conclusiones

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

[1] John Moubray; – RCMII – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
 [2] ISO 14224:2016 – Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
 [3] SAE JA1011 “Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
 [4] IEC 61025 – “Fault tree analysis (FTA)
 [5] Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224:2016).

[6] Klaus Schmiedt – High Availability and Disaster Recovery: Concepts, Design, Implementation (Inglés) 2006th Edición.
 [7] D.A. Crowl and J.F. Louvar, “Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications”, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
 [8] MIL-STD-1629A “Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA).
 [9] Arturo Trujillo – El Árbol de Fallos y el Análisis de Importancia, dos herramientas para la optimización de la gestión de distintos tipos de riesgos”.

Certificaciones y Diplomas en Mantenimiento y Confiabilidad



Autor: Ernesto Primera

Traducción y adaptación: Carlos Mario Pérez Jaramillo
American Society for Engineering Management | Associate International Director



Artículo extraído de
Edición No. 19

El tema de Certificaciones y Acreditaciones siempre ha generado muchas controversias en las redes sociales donde participan profesionales de las áreas de Mantenimiento, Confiabilidad, Riesgo y Gestión de activos, impulsado por el cotidiano uso de estas palabras por empresas que ofrecen servicios, certificaciones y hasta acreditaciones en la materia.

Cabe destacar que los términos no son sinónimos. Según la Real Academia Española, estos son sus conceptos:

Certificar:

- Asegurar, afirmar, dar por cierto algo.
- Hacer constar por escrito una realidad de hecho.

Certificación:

- Acción y efecto de certificar.
- Documento en que se asegura la verdad de un hecho. Sinónimos: asegurar, aseverar, autenticar, legalizar, visar, afirmar, hacer constar.

Acreditar:

- Hacer digno de crédito algo, probar su certeza o realidad.
- Dar seguridad de que alguien o algo es lo que representa.

Acreditación:

- Acción y efecto de acreditar.
- Documento que acredita la condición o facultad para desempeñar determinada actividad. Sinónimos: atestiguar, demostrar, justificar, garantizar, confirmar, autorizar, consignar.

Vamos a la practica

Interesantes definiciones, pero al mismo tiempo muy parecidas y tienden a confundir. Trataré en unas breves líneas de mostrar las principales diferencias entre ellas, y brindar información que les permita discernir cuál es la más atractiva: Certificación, Acreditación, Diploma o Certificado en cuanto al valor agregado de éste a su carrera profesional, a su trabajo y su futuro. En mi opinión, cuando hablamos de CERTIFICACIÓN estamos refiriéndonos a la posibilidad de asegurar / legalizar un:

- Proceso.
- Producto.
- Sistema.
- Competencia.

Éstos se miden a través de estándares preestablecidos.

Los estándares son desarrollados por Asociaciones, Agremiaciones, Instituciones y Organizaciones sin fines de lucro. Estos estándares no son más que guías de referencias, que los organismos reguladores, como Agencias de Gobierno, los convierten en normas incluyéndolos dentro de su legislación y dándole un carácter de ley.

Estas certificaciones se obtienen mediante exámenes o auditorias.

La **ACREDITACIÓN** es la facultad que se le otorga a un ente independiente para administrar los programas de **CERTIFICACIÓN**. Éste ente acreditado se reconoce como un Tercero Neutral, por esa razón son de preferencia organizaciones sin fines de lucro. Cuando es lo contrario, existen protocolos establecidos por los organismos acre-

ditadores donde se pueden utilizar los conocidos **PROC-TORS** Neutrales; personas sin compromisos o relaciones comerciales con el ente acreditado que atestigüe y asegure la transparencia del proceso de evaluación (Examen o Auditoría).

La **ACREDITACIÓN** es otorgada por lo que se conoce en inglés como Official Accreditation Body que es un organismo autorizado por la legislación o cuya trayectoria y méritos le dan el reconocimiento. Éste ente varía en cada país, así que podríamos encontrar, dependiendo el país, muchos escenarios diferentes.

Mostraré como es la dinámica de estos procesos a través de organizaciones en USA, UK, Australia y Canadá.

Dependiendo del tema que se esté abordando, existen muchas organizaciones acreditadoras y certificadoras, sin embargo, iniciaré mostrando ejemplos en Confiabilidad.

En los Estados Unidos (USA) la organización facultada para **ACREDITAR**, en materia de Confiabilidad y Gestión de Activos, es la ANSI (American National Standard Institute) y a través de ella muchas organizaciones profesionales y sin fines de lucro acuden para aplicar el proceso de Certificación, como, por ejemplo:

- La NFPA para Temas de Protección contra Incendios.
- La ASME para temas relacionados con la Integridad Mecánica de Equipos Mecánicos.
- Y la SMRP quien es la organización acreditada para certificar Ingenieros de Mantenimiento y Confiabilidad.
- La ASNT para Ensayos no destructivos.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) a través del comité E53, publicó un estándar sobre Gestión de Activos desde el año 2000 que podrá ser el proceso de **ACREDITACIÓN** de ANSI para entes interesados en **CERTIFICAR** en la materia. Esto ocurrió antes de la publicación de la PAS55 en el 2004.

En el Reino Unido (UK) tienen el UKAS (United Kingdom Accreditation Services). El UKAS inició en el 2014, un proceso de **ACREDITACIÓN** para **CERTIFICACIÓN** en Gestión de Activos, alineado al estándar ISO-55001 y durante este proceso las organizaciones que participaron fueron las siguientes:

- Afnor UK.
- BSI Assurance UK.
- Bureau Veritas Certification Holding.
- SAS – UK Branch.
- DNV Certification.
- Intertek Certification.
- Lloyds Register Quality Assurance.
- Parsons Brinckerhoff.
- SGS UK.

Como observaron en el nombre del programa de la UKAS, el canal para la **CERTIFICACIÓN** es el estándar ISO-55000 que nació del IAM (The Institute of Asset Management) como PAS55 para luego convertirse en estándar internacional ISO.

Sin embargo, el IAM no aparece entre los entes que participaron en el programa de **ACREDITACIÓN** para **CERTIFICACIÓN**. Esto no es de extrañar, ya que suele ser muy parecido en USA, mientras organizaciones sin fines de lucro, agremiaciones e institutos, desarrollan estándares, no siempre certifican las competencias relacionadas a estos, muchas veces son otras organizaciones quienes participan en programas para **ACREDITARSE** como **CERTIFICADORES**.

En Australia está el “Asset Management Council” organización sin fines de lucro basada en membresías. Australia y Nueva Zelanda desarrollaron un esquema de **ACREDITACIÓN** (Joint Accreditation System of Australia and New Zealand) que lo llamaron AMS Scheme (Asset Management Systems Scheme) aquí están los requerimientos para quienes desean certificar Sistemas de Gestión centrados en Gestión de Activos.

En Canadá está el PEMAC (Plant Engineering & Maintenance Association Of Canada) cuenta con certificaciones en Mantenimiento y Gestión de Activos.

Podría seguir mostrando detalles de cómo trabajan, y respaldar el aval de estas importantes instituciones de Certificación, sin embargo, prefiero mostrar unas conclusiones con algunas recomendaciones.

Cabe destacar que todos los entes **CERTIFICADORES** que mencioné, cumplen y se centran en la norma ISO- 17024 Conformity assessment – (General requirements for bodies operating certification of persons).

Competencias profesionales

Si deseamos certificar nuestras competencias profesionales lo más importante es saber con detalle, ¿Qué queremos? y ¿Para qué lo queremos?

- ¿Es para tener un mejor desempeño en su trabajo actual?
- ¿Es para buscar un mejor trabajo o una mejor posición dentro de su empresa?
- ¿Es para poder ofrecer servicios de consultoría y capacitación?
- ¿Para ser más competitivo en el área laboral?
- ¿Deseas buscar trabajo en España, USA, Canadá, UK, Australia, Escandinavia...etc?

Podemos hacer un resumen de programas sobre Confiabilidad, Mantenimiento y Gestión de Activos, los relacionados a Riesgo serán descritos en el segundo workshop.

Certificaciones Internacionales con un alto reconocimiento industrial

1.1. CRE Certified Reliability Engineer (Certificado Ingeniero de Confiabilidad)

Lo organiza:



Años de creación: Más de 40 años.
Número de personas certificadas: Más de 5.000 (Actualizado Abril 2015)
Duración del examen: 4 horas. (Inglés y Español)
Número de preguntas: 159
Tiempo de validez de la credencial: 3 años.

Elementos (Dominios) de Conocimiento:

- Gestión de la Confiabilidad.
- Probabilidad y Estadística para la Confiabilidad.
- Confiabilidad en el Diseño y Desarrollo.
- Modelos de Confiabilidad y Predicción.
- Pruebas/Ensayos de Confiabilidad.
- Mantenibilidad y Disponibilidad.
- Recolección de datos y su uso.

Cuerpo del conocimiento:

Una de las ventajas de esta certificación, es que cuenta con un cuerpo de conocimiento concentrado y organizado en un libro/manual. Este cuenta con dos ediciones. El contenido del manual son los elementos de dominio de la certificación.

La certificación CRE y su cuerpo de conocimiento, están diseñados para entender los principios de evaluación del desempeño y predicción de la confiabilidad para mejorar el producto, el servicio, la seguridad y mantenimiento de sistemas industriales productivos.

Esta certificación es mencionada por la SRE Society of Reliability Engineers (Sociedad de Ingenieros de Confiabilidad)



1.2. CMRP Certified Maintenance & Reliability Professional (Certificado Profesional de Mantenimiento y Confiabilidad)



1.3. CMRT Certified Maintenance & Reliability Technician (Certificado Técnico de Mantenimiento y Confiabilidad)



Las organiza:



SMRP Society of Maintenance and Reliability Professional (Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad)

Años de creación: Más de 14 años.
Número de personas certificadas: Más de 3.500 (Actualizado Abril 2015)
Duración del examen: 2.5 horas (Inglés y Español)
Número de preguntas: 110
Validez de la credencial: 3 años.

La CMRP y su cuerpo de conocimiento es un programa de certificación de competencias el cual garantiza que las personas que posean esa certificación tienen las habilidades, el liderazgo y conocimientos necesarios para dirigir y ejecutar con éxito la gestión de mantenimiento y confiabilidad en cualquier industria.



La certificación es avalada y aprobada por la ANSI American National Standards Institute bajo el número 0739.

Elementos (Dominios) de Conocimiento:

1. Negocios y Gestión.
2. Confiabilidad en Procesos de Manufactura.
3. Confiabilidad de Equipos.
4. Organización y Liderazgo.
5. Gestión del Trabajo.

Cuerpo del conocimiento:

Negocios y Gestión:

1. Maintenance Strategy by Anthony Kelly.
2. Toyota Way by Jeffery Liker.

Confiabilidad en Proceso de Manufactura:

3. Juran's Quality Handbook by Joseph Juran.
4. Maintenance & Reliability Best Practices by Ramesh Gulatti.
5. World Class Manufacturing By Richard Schonberger.

Confiabilidad de Equipos:

6. Gateway to World Class Maintenance by Anthony M. Smith.
7. Making Common Sense Common Practice by Ron Moore.

Organización y Liderazgo:

8. 7 Habits of Highly Effective People by Stephen Covey.
9. Successfully Implementing TPM by Edward Hartmann.

Gestión del Trabajo:

10. Computerized Maintenance Management Syst. by Terry Wireman
11. Planning & Scheduling by Doc Palmer (first 3 chapters).

1.4. CRL Certified Reliability Leader (Certificado Líder de Confiabilidad)

Las organiza:



AMP Association of Asset Management Professional (Asociación de Profesionales de Gestión de Activos)

Años de creación: Más de 2 años.
 Número de personas Certificadas: Más de 950 (Actualizado Julio 2016)
 Duración del examen: 2 horas (Inglés y Español)
 Número de Preguntas: 125
 Validez de la credencial: 2 años.

La certificación CRL se centra en las decisiones sobre la gestión de la vida de los activos y todo el valor entregado durante ese ciclo a través del liderazgo. El sistema proporciona una guía para aplicación de sus principios de forma temprana, en lugar de la típica forma de operar y mantener el activo, que la mayoría de las organizaciones utilizan. El cuerpo del conocimiento de la certificación es un mapa para involucrar y empoderar a todas las partes interesadas en una organización de cómo liderar la confiabilidad.

Elemento (Dominios) de conocimiento:

1. Ingeniería de Confiabilidad para mantenimiento.
2. Gestión de la condición de activos.
3. Gestión de la ejecución del trabajo.
4. Liderazgo para la confiabilidad.

Cuerpo del conocimiento:

1. The Certified Reliability Leader: Passport series & Travel Guide by Uptime.
2. Don't Just Fix it, Improve! It: By Winston Ledet.
3. Level 5 Leadership at Work: By Winsto Ledet.
4. People: A Reliability Success Story: By Cliff Williams.
5. Clean Green and Reliable: By Doug Plucknette and Chris Colson.
6. The Certified Reliability Leader: Complete Body of Knowledge by Uptime.

1.5. MMP Maintenance Management Professional (Certificado Profesional de Mantenimiento)

Las organiza:



PEMAC - Plant Engineering & Maintenance Association Of Canada. (Asociación Canadiense de Mantenimiento e Ingeniería de Planta)

Años de creación: Más de 3 años.
 Número de personas certificadas: Más de 950 (Actualizado agosto 2016).
 Cursos: En inglés y Francés.

Elementos (Dominios) de Conocimiento:

- Módulo 1: An Integrated Strategy for Maintenance Management (15 horas)
- Módulo 2: Production and Operations Management for the Maintenance Manager (30 horas)
- Módulo 3: Human Resources Management for the Maintenance Manager (30 horas)
- Módulo 4: Financial Management for the Maintenance Manager (30 horas)
- Módulo 5: Developing and Implementing Maintenance Tactics (30 horas)
- Módulo 6: Maintenance Work Management (30 horas)
- Módulo 7: Computerized Maintenance Management Systems (30 hours)
- Módulo 8: Capstone Project

Cuerpo del conocimiento:



1.6. CEEMM Certified European Experts in Maintenance Management (Certificado Europeo Experto en Gestion de Mantenimiento)

1.7. CEMTS Certified European Maintenance Technician Specialist (Certificado Europeo Especialista Técnico en Mantenimiento)

Las organiza:

EFNMS - European Federation of National Maintenance Societies vzw. (Federacion Europea de Sociedades Nacionales de Mantenimiento)



Años de creación: Más de 23 años.
Número de personas certificadas: Más de 220 (Actualizado 2015).
Duración del examen: 8 horas (en Varios Idiomas incluidos: inglés).
Número de Puntos: 100
Aprobación: ≥ 70

Elementos (Dominios) de Conocimiento:

- Gestión y Organización.
- Desempeño de la Confiabilidad en Plantas de Producción.
- Sistemas de Información de Mantenimiento.
- Mantenimiento Métodos y Técnicas.

Cuerpo del conocimiento:



1.8. CAMA Certified Asset Management Assessor (Certificado para Asesor de Gestión de Activos)

Las organiza:

CAMA
Certified Asset Management Assessor

“WPIAM Partnership” Proyecto de colaboración entre los organismos certificadores de USA, Canadá, Australia, Francia y Brasil.

Años de creación: Más de 3 años.
Número de personas certificadas: Más de 250 (Actualizado Abril 2015).
Duración del examen: 2 horas (Inglés, Español y Portugués).
Número de Preguntas: 110
Validez de la credencial: 3 años.



La certificación se centra en el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 17021-5, competencia para la auditoría y certificación de sistemas de gestión de activos. Esto requiere que los auditores tengan experiencia en ciertos tipos de industria y clases de activos, por lo que esta certificación requiere un perfil profesional previo con las siguientes características:

- Tener un mínimo de 5 años de experiencia en la gestión de activos.
- Proporcionar una hoja de vida / CV.
- Completar un perfil profesional.

Elementos (Dominios) de Conocimiento:

1. ISO 55000 – Overview, principles and terminology.
2. ISO 55001 – Asset management – Management systems Requirements.
3. ISO 55002 – Management systems – Guidelines for the Application of 55001.

Cuerpo del conocimiento:



Certificados Universitarios

2.1. Certificado: REC® Reliability Engineering Certification (Certificación en Ingeniería de Confiabilidad)



Este programa está desarrollado en conjunto con el “Life Cycle Institute – LCI” y está enfocado en aprender las habilidades prácticas que se pueden aplicar en el trabajo de inmediato y así demostrar su compromiso con la confiabilidad, la mejora continua y aumentar su valor en la organización.

El objetivo del programa es construir y sostener un programa estratégico de Ingeniería de Confiabilidad, centrado en las siguientes premisas:

- Preparar estrategias de control que reducen el riesgo y mejoran los activos y su utilización.
- Desarrollar programa de mantenimiento predictivo.
- Establecer un programa de análisis de causa raíz que minimizará el tiempo de inactividad, aumentar la producción y crear una cultura de mejora continua.
- Demostrar la aplicación práctica del aprendizaje.
- Confiabilidad y excelencia en la Ingeniería.
- Gestión de activos basada en riesgo.
- Competencias demostradas en Ingeniería de Confiabilidad mediante la aplicación de trabajo documentado en:

1. Análisis de criticidad.
2. FMEA.
3. RCA.

El REC es para las personas que son responsables de la mejora de la capacidad de los activos y la confiabilidad, la disminución de fallas repetitivas, la construcción de programas de mantenimiento predictivo sostenibles, y la creación de una cultura de mejora continua.

Cursos REC®:

Estrategias de mantenimiento predictivo	Excelencia en Ingeniería de Confiabilidad	Gestión de Activos basada en Riesgo	Análisis causa raíz (RCA)
Horas: 24	Horas: 24	Horas: 24	Horas: 24

2.2. Certificado: REC® Reliability Engineering Certification (Certificación en Ingeniería de Confiabilidad)



Este programa está desarrollado en conjunto con el “Life Cycle Institute – LCI” y está centrado en prácticas que se pueden aplicar en el trabajo de inmediato, y demostrar su compromiso con la construcción de un sólido programa de mantenimiento.

Para obtener una certificación de Gestión de Mantenimiento (MMC), el participante debe completar cuatro cursos y pasar con éxito el examen final de certificación sobre Gestión del Mantenimiento, dentro de un periodo de tres años.

Cursos requeridos:

- Habilidades de Gestión de Mantenimiento.
- Planificación y Programación de Mantenimiento.
- Seleccionar dos (2) de las siguientes optativas:
- Gestión de Materiales e Inventarios.
- Estrategia de mantenimiento predictivo.
- Gestión de Manufactura y el Proceso de Mantenimiento.
- Mantenimiento de Facilidades.

Cursos MMC®:

Habilidades de gestión de mantenimiento	Planificación y Programación de Mantenimiento	Gestión de Materiales e Inventarios
Horas: 16	Horas: 16	Horas: 16

Estrategia de Mantenimiento predictivo	Gestión de Manufactura y el proceso de mantenimiento	Mantenimiento de facilidades
Horas: 16	Horas: 16	Horas: 16

2.3. Certificado: RMIC® Reliability & Maintainability Implementation Certification (Certificación de Implementación de Mantenimiento y Confiabilidad)



Duración de la credencial: 3 años.

Este programa proporciona los fundamentos básicos y conocimientos de mantenimiento y confiabilidad. Ofrece la flexibilidad para incluir la formación específica que necesita. La Universidad ha diseñado el programa para profesionales que trabajan y brinda actividades de educación práctica de mantenimiento y confiabilidad. El participante debe tomar tres (3) o más cursos del programa y es de carácter obligatorio el curso «Introducción a los Conceptos Modernos de Confiabilidad y Mantenimiento – Boot Camp».

Igualmente debe tomar por lo menos una certificación de una tecnología predictiva. El participante debe implementar un proyecto de 3 a 6 meses, el cual será guiado por un consultor de la universidad y hacer una presentación a la empresa, luego de culminado el proyecto.

Cursos RMIC®:

Introducción a los conceptos modernos de Confiabilidad y Mantenimiento (3 Cursos obligatorios)	Una Certificación de Tecnología Predictiva	Proyecto de Implementación (3-6 meses)
Amplia Lista de Cursos Disponibles por la Universidad y proveedores autorizados.	-Vibraciones. -Termografía. -Tribología.	- El proyecto será guiado por un consultor y se presentará a la empresa.

Amplia Lista de Cursos Disponibles por la Universidad y proveedores autorizados:

- Vibraciones.
- Termografía.
- Tribología.
- El proyecto será guiado por un consultor y se presentará a la empresa.

Programas / Diplomas universitarios

3.1. MRM Maintenance and Reliability Management Diploma (Diploma en Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad)



Este diplomado está desarrollado en conjunto con el “Marshall Institute” y está enfocado en la práctica el mantenimiento de vanguardia y la educación de gestión de confiabilidad en un formato de tres módulos únicos.

Tres módulos integrales de una semana de duración que otorgan un diploma en Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad.

Es uno de los pocos programas de su tipo en los Estados Unidos (USA), diseñado para los profesionales. Se puede completar en menos de dos (2) años.

Nota: Las sesiones semanales no tienen que ser tomadas en secuencia, pero debe completar todos los requisitos en un plazo de tres años a partir del primer módulo que toma. Usted recibirá su diploma al término de los tres módulos.

La Universidad del Estado de Carolina del Norte (USA), en colaboración con el Instituto Marshall, ofrecen este certificado en conjunto. Un programa de tres semanas que va a desarrollar su conocimiento en mantenimiento y confiabilidad y mejorar sus habilidades de liderazgo para el mercado global cada vez más competitivo. Este programa le expondrá ejemplos del mundo real y le proporcionará los conocimientos y habilidades aplicables en su planta o centro de práctica. La obtención de este diploma representará una evidencia sólida de haber finalizado con éxito todos los requisitos del curso e ilustrará su dedicación a incrementar el conocimiento en el campo del mantenimiento y la gestión de confiabilidad.

Un examen a libro abierto se ejecutará al final de cada módulo. Después de la finalización con éxito del programa, se le otorgará un diploma del Instituto Marshall y la Oficina de Desarrollo Profesional de la Universidad Estatal de Carolina del Norte.

Además, al final de la última semana, recibirá la oportunidad de tomar el examen para certificar CMRP.

Cursos MRM:

OPD-ZFMRM1-C: Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad I: Liderazgo Estratégico, Planificación y Control	OPD-ZFMRM2-B: Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad II: Flujos de Trabajo y Gestión de Materiales	OPD-ZFMRM3-C: Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad III: Gestión de Confiabilidad y Riesgo
Horas: 16	Horas: 16	Horas: 16

3.2. Certificado: PAM Physical Asset Management Certificate (Certificado en Gestión de Activos Físicos)



Este programa tiene 16 años enfocado en los gestores de activos responsables de las estrategias de mantenimiento y confiabilidad de las organizaciones y los Gerentes de Planta que buscan la excelencia aplicando estrategias probadas que dan ventajas competitivas sobre sus competidores. Gran parte de la instrucción se centra en cuestiones relacionadas con los costos y en el aspecto financiero de sus organizaciones.

Materias:

Liderazgo y Control	Gestión de la Confiabilidad y el Riesgo	Metodologías de optimización	Mejoras de la confiabilidad a través del Mantenimiento preventivo y la Optimización de inventarios
Horas: 8	Horas: 8	Horas: 8	Horas: 8

Cursos PAM:

Confiabilidad a través del Mantenimiento predictivo	Uso efectivo de recursos de Mantenimiento: Planificación y Programación	Gestión del costo del ciclo de vida	Implementación de la optimización del Mantenimiento y la Confiabilidad
Horas: 8	Horas: 8	Horas: 8	Horas: 8

Certificados de empresas

4.1. Certificación CRP Certified Reliability Professional Program (Certificado Profesional de Confiabilidad)



El programa de CRP fue iniciado y es administrado por ReliaSoft Corporation.

El programa de Certificación CRP es un programa de para distinguir ingenieros de confiabilidad que han adquirido y demostrado con éxito incuestionable experiencia en el campo.

Cada actividad gana puntos hacia el logro de la certificación (los llaman «créditos»). Todos los requisitos deben ser completados en un lapso de no más de 5 años.

Para lograr la certificación, los candidatos deben completar una serie de cursos de formación centrados en temas importantes de Ingeniería de Confiabilidad, y aplicar con éxito el contenido aprendido en el lugar de trabajo y en público, presentando un caso en una conferencia de la industria y en una revista técnica.

Se necesitan 40 créditos para la certificación CRP y estos se deben obtener a través de cursos de formación elegibles.

Todos los participantes deben completar 13 créditos del plan de estudio.

Este es el portafolio de cursos de ReliaSoft:

- G400 Fundamentos de Ingeniería de Confiabilidad y Análisis de Modelado de Datos. (5 créditos)
- M440 Análisis de confiabilidad y mantenibilidad de los sistemas reparables. (5 créditos)
- G522A Sistema y análisis de confiabilidad, mantenibilidad y Optimización. (3 créditos)
- D560 Diseño de Confiabilidad (DFR) Planificación y ejecución de programas. (5 créditos)
- M560 Mantenimiento basado en confiabilidad, planificación y ejecución en el Programa de Gestión de Activos. (5 créditos)

Cursos optativos:

Para los restantes 7 créditos, se puede seleccionar cualquier combinación de cursos adicionales para hacer frente a sus intereses y necesidades particulares. Los cursos potenciales incluyen FMEA, RCM, FRACAS, Predicción de confiabilidad y muchos otros.

Resumen

En mi opinión cada una de las ofertas de Certificaciones y Diplomas que se describen en el artículo, representan las fuentes de conocimiento más importantes a nivel mundial en la materia, cada una de ellas con muchas fortalezas en cuanto a experiencia, investigación, desarrollo y academia.

La tabla resumen muestra que las CERTIFICACIONES están disponibles en Inglés y español, también muestra una serie de alternativas de Diplomas y Certificados complementarios.

Observarán que para las opciones de formación continua (Diplomas y Certificados Universitarios) solo abordé los de habla inglesa, esto motivado que durante mi

investigación y experiencia, las opciones de formación continua en habla hispana, tienen una característica importante de notar, y es que en Hispanoamérica hay muchas más ofertas de capacitación en Confiabilidad, Mantenimiento y Gestión de Activos que en la suma de los países de habla inglesa (Canadá, USA, UK, Australia, NZ), en mi opinión se debe al carácter netamente comercial, una oferta abrumadora de cursos, diplomas, certificados, certificaciones...etc. en la materia.

Por tal motivo utilicé solo buenas referencias conocidas en mi experiencia y en la experiencia adquirida por colegas de ejemplar trayectoria e identificadas durante mi investigación.

Certificaciones en Confiabilidad	Certificaciones en Mantenimiento	Certificaciones en Gestión de Activos	Referencia
CMRT® SMRP CMRP® SMRP CRE® ASQ CRL® AMP	CMRT® SMRP CMRP® SMRP	CAMA® WPIAM	Certificaciones Internacionales de reconocimiento Industrial y reconocida trayectoria. Disponibles en Inglés y Español.
	MMP® PMAC* CEEMM® EFNMS* CEMTS® EFNMS*		Certificaciones Internacionales de reconocimiento industrial y reconocida trayectoria. Disponibles en Inglés. *Se desconoce si está disponible en Español.
REC® Life Cycle Institute The University of Kansas Ohio State University Clemson University	MMC® Life Cycle Institute The University of Alabama		Certificados Universitarios. Sólo disponibles en Inglés.
RMIC® University of Tennessee	RMIC® University of Tennessee		
MRM® Marshall Institute North Carolina State University	MRM® Marshall Institute North Carolina State University	PAM® University of Toronto Centre for Maintenance Optimization and Reliability Engineering C-MORE	Diplomas Universitarios. Sólo disponibles en Inglés.
CRP® ReliaSoft Corp.	CRP® ReliaSoft Corp.		Certificados de Empresas. Disponibles en Inglés y Español.

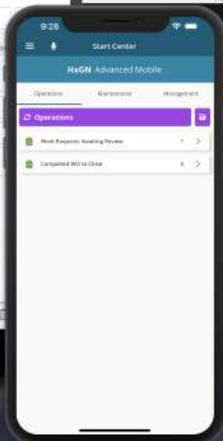
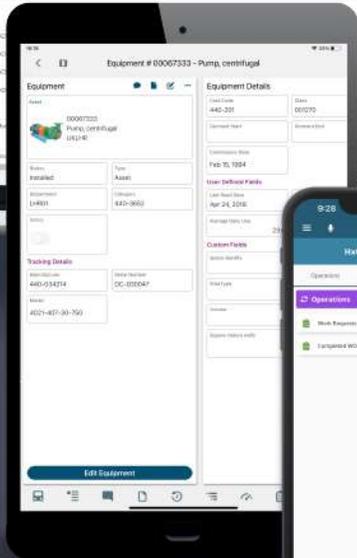
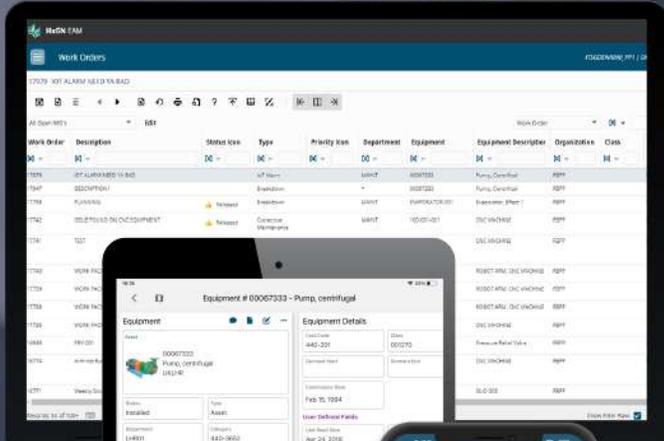
United Kingdom Accreditation Services – UK
American National Standard Institute – USA.
Plan Engineering and Maintenance Association – Canada.
International Standard Organization ISO.
Certified Asset Management Assessor CAMA;
American Society for Testing and Materials ASTM.
Life Cycle Institute.

C-MORE Centre for Maintenance Optimization and Reliability Engineering.
Certified Reliability Engineer Handbook, ASQ Reliability Division – 2009.
Maintenance and Reliability Body of Knowledge, SMRP – 2011.
Uptime® Elements™ and the CRL Body of Knowledge (BoK), AMP – 2014.
Master en Mantenimiento, Universidad de Sevilla – 2012.
Master en Confiabilidad y Riesgo – MICRO, Universidad de Las Palmas de Gran Canarias –2014.

Incrementa la eficiencia de tu trabajo en campo con las aplicaciones móviles de HxGN EAM



Nifersa
Information
Technology



Escanea y obtén más info

Escanea etiquetas NFC y códigos de barras
Trabaja modo offline
Sincroniza tus datos en tiempo real
Ejecuta inspecciones y checklists
Crea solicitudes de trabajo, piezas y reservas.
Accede al portal de contratistas.
Registra nuevos equipos y mucho más

Hexagon Certified

HxGN EAM Technical Implementor
2023

Hexagon Certified

HxGN EAM Functional Implementor
2023



Channel partner

#SomosEAMLATAM

ICA Fluor O&M

Invierte en **+5,000 horas** de capacitación para su equipo de Mantenimiento, que incluye profesionales técnicos, supervisores y gerentes con **PREDYC**

Entrevista por: Lisset Chávez | Dirección Editorial Predictiva21

ICA Fluor es una empresa dedicada principalmente al desarrollo de proyectos IPC (ingeniería, procuración y construcción) de plantas industriales para los sectores público y privado en México, Centro América y el Caribe. En los últimos seis años, ha venido desarrollando una nueva unidad de negocios especializada en servicios de Operaciones y Mantenimiento (O&M) industrial.

El equipo de Operaciones y Mantenimiento puede llegar a ser de hasta 1,000 personas dependiendo del número de proyectos o contratos y de los picos de trabajo, como cuando tienen lugar los paros de planta. Conversando con Carlos Lozano subdirector de la división de Operaciones y Mantenimiento, nos comenta que atienden diversas industrias, incluyendo petróleo y gas, petroquímica y manufactura, entre otras, sin preferencia específica ya que el Mantenimiento es inherente a cualquier tipo de planta operativa e instalación industrial. Lo anterior, teniendo siempre en mente que la meta es agregar valor y garantizar el retorno a la inversión de sus clientes.

Carlos menciona que Atlacomulco es uno de los proyectos más interesantes que han atendido, no por el tamaño, sino porque en ese caso ICA Fluor fue el constructor y hubo una transición hacia actividades de operación y mantenimiento. Casos como este, brindan tranquilidad adicional al cliente, ya que la empresa que realiza la construcción también se encarga del mantenimiento posterior, disminuyendo la posibilidad de que aparezcan vicios ocultos, o de que la calidad en el servicio de los fabricantes de componentes decrezca después de los períodos de garantía.

Para cada contrato, ICA Fluor O&M asigna personal específico según las necesidades del proyecto. En general, cada equipo está compuesto por un líder de proyecto, supervisores y técnicos, apoyados por un equipo de preparación de ofertas. Además, se cuenta con el soporte de oficina matriz en la Ciudad de México para tareas que requieren ingeniería avanzada o apoyo en compras.

La capacitación es fundamental para nosotros porque hacemos el trabajo a través de personas. Si el personal no entiende el equipo que está atendiendo ni las estadísticas de mantenimiento, no hay forma de que puedan hacer su trabajo correctamente. Se convierten en lo que yo llamo, entre comillas, «aprietatuercas»: solo aprietan y sueltan tornillos sin resolver problemas. Por eso, además de su entrenamiento formal, ya sea técnico o como ingeniero, deben comprender la máquina por dentro.

- Carlos Lozano

ICA FLUOR O&M

Carlos Lozano

Subdirector de operaciones y Mantenimiento



Predyc PREDICTIVA21

Desde una perspectiva IPC, el manejo de los equipos se relaciona con el cumplimiento de una función dentro del proceso de transformación de una materia prima a un producto comercial, pero en el mantenimiento necesitas entender la máquina por dentro para poder solucionar los problemas que la operación y el desgaste demandan. Siempre pongo el ejemplo de una bomba: si una bomba no está dando la presión de descarga o el flujo para el cual fue diseñada, puede ser debido a múltiples razones, como una obstrucción, desgaste interno o una válvula de descarga cerrada. Si una persona no entiende cómo funciona una bomba y sus componentes internos, no podrá identificar ni ayudar a resolver el problema.

- Carlos Lozano

Nosotros como mantenimiento, estamos aquí para ayudar y debemos aportar valor al cliente. Si no lo hacemos, nos convertimos en un commodity, fácilmente reemplazable por cualquier otro proveedor que ofrezca el servicio a un precio más bajo. Pero cuando aportamos valor, creamos una alianza y una razón para estar allí. Esto es lo más importante y la razón por la que la capacitación es crucial.

¿Qué miembros de tu equipo consideras clave para recibir entrenamiento?

Carlos Lozano – El entrenamiento es clave en toda la organización y debe realizarse a todos los niveles. Por lo tanto, en ICA Fluor hemos implementado una matriz de capacitación. Dependiendo del nivel y de la relación que cada empleado tiene con el cliente, se determina el tipo de entrenamiento necesario.

Para algunos, el entrenamiento será mucho más técnico. Los supervisores, por ejemplo, necesitan una formación técnica, incluyendo temas de mantenimiento, confiabilidad y planeación. A medida que se asciende en la jerarquía, las gerencias deben comprender cómo funciona el negocio del mantenimiento. La capacidad de comunicarse de manera efectiva con el cliente es crucial. Si los gerentes no entienden lo que les están indicando, pueden orientar a la organización de manera inadecuada.

Nuestra empresa ha trabajado mucho en proyectos IPC, y hay diferencias significativas entre manejar un proyecto IPC y un contrato de mantenimiento. En el primer caso, el cliente se enfoca en terminar el proyecto en tiempo, forma y costo para poner a producir a la planta según el plan anticipado y así, iniciar el retorno de la inversión. En el caso de una planta en operación, el cliente se enfoca en mejorar el desempeño financiero, siendo fundamental el papel del equipo de mantenimiento, dado que el disminuir las fallas y/o mejorar disponibilidad y confiabilidad de los equipos y por ende de la planta, contribuye a mejorar los indicadores financieros.

Por eso, es importante tener una estructura de entrenamiento escalonada o matricial, porque no todos necesitan el mismo tipo de formación. Esta matriz asegura que cada integrante reciba el entrenamiento adecuado según su rol y relación con el cliente.

¿Cómo llegaste a la conclusión de que tu personal necesitaba capacitación? ¿En qué te basaste para determinar las áreas de capacitación necesarias para cada rol?

Carlos Lozano – La identificación de las necesidades de mantenimiento está estrechamente relacionada con el tipo de trabajo que estás ejecutando.

Te encontrarás con familias de equipos en todas partes, como bombas, compresores, variadores y motores eléctricos. Por lo tanto, es necesario validar el nivel de conocimiento y/o competencias de las personas que están asignadas al contrato, a través de las cuales se ofrece el servicio. Además, es probable que existan particularidades en cada planta, lo que requerirá buscar alternativas de entrenamiento específicas para cada caso. Lo ideal es que las personas que intervengan en los equipos los entiendan y conozcan a fondo.

Por otro lado, nadie tiene el conocimiento del 100% de los equipos con los que trabajan. Por eso, el entrenamiento es esencial, y la matriz de entrenamiento es útil para identificar dónde se encuentra cada persona en términos de conocimientos y cuáles son sus brechas.

Estas brechas a menudo dependen de la industria o de la planta a la que te enfrentas.



¿Cómo estás capacitando a tu equipo?

Carlos Lozano – En ICA Fluor disponemos de un importante acervo de información y de una estructura completa de entrenamiento para el personal a cargo de la ejecución de proyectos IPC. Siendo una empresa nueva en el sector de Operaciones y Mantenimiento, teníamos muy poco en términos de capacitación específica.

Para abordar esto, teníamos dos opciones: desarrollar el entrenamiento internamente, lo cual es lento, largo y costoso, o buscar alternativas en el mercado. Encontramos a Predyc, que ofrece una gran flexibilidad para agrupar los cursos por técnico, supervisor o gerente, ya sean mecánicos, eléctricos o instrumentistas, y adaptarlos a las necesidades específicas del trabajo.

Una ventaja importante es la facilidad de tomar los cursos en línea. Desplazar al personal para recibir entrenamiento siempre ha sido un desafío debido a la ausencia del trabajo, los costos y la logística involucrada, como vuelos y hoteles. Realizar el entrenamiento en línea ayuda a reducir estos gastos y facilita el proceso.

En colaboración con Predyc, establecimos los temas que cada persona debe conocer y estudiar. Diseñamos un plan en el que los técnicos, supervisores y gerentes dedican un tiempo específico cada mes al estudio. Dividimos esto en un año, asegurando que cada persona tenga claras sus asignaciones de formación.

Estimamos que es beneficioso entrenarse al menos 3 horas a la semana, es decir, 12 horas al mes.

La plataforma permite el monitoreo del desempeño de los participantes para asegurar que estén progresando adecuadamente. La herramienta de Predyc le facilita al participante manejar la agenda de mantenimiento, promoviendo la autogestión.

Además, la herramienta nos permite monitorear el tiempo y avance de cada participante, lo cual es valioso tanto para nosotros, como para recursos humanos. Esto asegura que el entrenamiento a distancia sea efectivo. Trabajamos estrechamente con recursos humanos, que nos apoyan en la creación de la matriz de entrenamiento y en la parte regulatoria. El entrenamiento se da por necesidad, pero también conlleva obligaciones para cada participante, involucrando a ambas áreas en el proceso.

¡Felicitaciones **PREDICTIVA21**!



"**Mis felicitaciones** a todo el equipo de trabajo de **Predictiva21** en su Edición No.50. Que mantengan su constancia y entusiasmo, diseminando informaciones útiles, conocimiento relevante y pluralidad de opiniones en nuestra disciplina. **Próximo objetivo:** ¡**Edición número 100!!**" - *Luis Felipe Sexto*



"**Es un placer ver la Edición 50 de Predictiva21**, quiero felicitarlos por todo el esfuerzo que han venido haciendo para mantener este canal que le permite a nuestros profesionales hispanohablantes del área de Mantenimiento y Confiabilidad, mantenerse conectados, actualizados y enriquecidos con la información y conocimientos que a través de la revista se transmiten. Quiero resaltar la pluralidad de pensamientos e información que ustedes han impulsado a través de cada edición, **lo que demuestra que la revista es de todos y para todos.** ¡**Felicitaciones!**" - *Ernesto Primera*



"Quisiera extender una muy amplia y merecida felicitación a la **Revista Predictiva21**, por varias razones:

1. Por la alta calidad de sus contenidos.
2. Por la actualidad de los temas tratados.
3. Por ser un excelente medio de comunicación y difusión en muchos países, el crecimiento ha sido notable.
4. Algo muy importante: por ser una fuente latina de excelente información y no como otras publicaciones que, son solo traducciones del inglés...

¡Enhorabuena por crear contenido latino para todo el mundo! ¡Muchas felicidades! ¡Bien hecho! ¡**A celebrar esa Edición No. 50!**" - *José Páramo*



"Parece que fue ayer cuando leí la primera edición de la Revista **Predictiva21...** ¡y ya van 50! Y cada edición, **llena de artículos y entrevistas enriquecedoras**, plenas de experiencia, experiencias y conocimientos, con **los mejores expertos internacionales** en el ámbito del Mantenimiento, la Gestión de Activos... la Industria en general. **¡Enhorabuena...y seguid así!**" - *Juan Antonio Criado*



"Muchas felicidades a toda **una referencia en la región**, conformada por un equipo muy comprometido, de alta calidad humana, que impregnan de positivismo, de avance, hermandad, calidad y calidez, que ha abierto las puertas a muchos profesionales relacionados en el área a lo largo de la región LATAM. **Fiel reflejo de como un pequeño proyecto bajo un esquema organizado**, bien estructurado lograr llegar consensuada mente a expandirse y crecer bajo bases solidas, me llena de mucho orgullo ver como crecen en cada nuevo proyecto y publicación. Mis felicitaciones a todo el equipo por todo lo que han logrado, mi agradecimiento por toda su calidez y confianza y **¡éxito para todas las metas por cumplir!** Un gran abrazo desde la comunidad de WIRAM LATAM!" - *Gabriela Mejias (WIRAM LATAM)*



"**¡Felicidades, Predictiva21!** Es un honor poder celebrar con ustedes el impresionante hito de alcanzar la **Edición No. 50 de su Revista Digital**. En un mundo en constante evolución, Predictiva21 se ha establecido como una fuente confiable y esencial de información, análisis y perspectivas sobre el mundo del mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos. Desde su lanzamiento, **Predictiva21 se ha convertido en una fuente invaluable de conocimiento y actualización para todos nosotros**. Cada edición ha demostrado un compromiso inquebrantable con la calidad, la innovación y la excelencia en la transmisión de información técnica y relevante que nos ayuda a enfrentar los desafíos diarios en nuestras industrias. **Gracias por ser una plataforma que no solo informa, sino que también inspira y educa**. Su dedicación a proporcionar contenido de alta calidad, entrevistas exclusivas, análisis profundos y las últimas tendencias en el campo de la confiabilidad y el mantenimiento de activos industriales, ha sido fundamental para el desarrollo y crecimiento de nuestra comunidad. Celebramos con ustedes este importante logro y esperamos con entusiasmo muchas ediciones más llenas de contenido valioso que seguirá ayudando a profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad mejorar sus operaciones y alcanzar la excelencia. ¡Enhorabuena, Predictiva21, por estas 50 ediciones y por muchas más que vendrán!" - *Tibaldo Alfredo Díaz*



"¡¡**Felicitaciones Predictiva21!!** Es un gusto tener la oportunidad de estar en este momento de la publicación cuando se consolida el éxito, es un momento único para todos los que hacen la publicación. Felicito a todos por el esfuerzo, la dedicación y los resultados de un largo esfuerzo en ser cada vez mejores. **Quiero agradecer la oportunidad que me brindan de participar con las publicaciones y en la Columna Mundo ACR,** como también lo hacen otros colegas dando calidad y profesionalismo a la publicación. Con mucho placer seguiré colaborando para seguir consolidando el éxito. Nuevamente les deseo éxito y un futuro lleno de buenas noticias. **¡Felicitaciones Predictiva21!**" - *Augusto Constantino*



"Parece que fue ayer, han pasado casi 11 años desde el primer número de la revista. **El valor transmitido con estas 50 ediciones es incalculable,** por esto y por muchas más razones no puedo dejar de felicitaros. **¡¡Enhorabuena a todos por vuestro excelente trabajo. Seguimos!!**" - *David Faro*



"**¡Felicidades a Predictiva21 por su publicación número 50!** Quiero expresar mi sincero agradecimiento por brindar **una plataforma invaluable para que los profesionales en Mantenimiento y Confiabilidad** compartan sus conocimientos y experiencias. **Su dedicación ha sido fundamental para el crecimiento de nuestra comunidad técnica.** Les deseo muchos éxitos continuos y que sigan inspirando a más profesionales en el futuro. **¡Enhorabuena!**" - *Robinson Medina Nuñez*



"Hola equipo de Predictiva21, **¡Felicitaciones por alcanzar la Edición No. 50!** Es un verdadero placer ver como **Predictiva21 se ha consolidado como el medio de divulgación del mantenimiento predictivo con mayor alcance en la región latinoamericana.** En los últimos meses, su esfuerzo por impulsar esta tarea ha sido notable, con un incremento significativo en el número de publicaciones y ediciones que lanzan periódicamente. Personalmente, me siento muy orgulloso de que la revista publique mis artículos, validando así mi conocimiento y reputación en el sector del mantenimiento predictivo. Gracias por su constante apoyo y dedicación. **¡Un fuerte abrazo y por muchas ediciones más!**" - *Carlos E. Torres*