

PMM Project Magazine

Volumen II - ISSN 1887-018X

project & maintenance
management

www.pmmlearning.com



"No dejes al azar la gestión de tu activo"

Un equilibrio entre el factor humano, organización, métodos, técnicas e indicadores.

Asset Management

¿Cómo?

Estrategia Inteligente del Negocio



Más allá de grandes teorías sobre la definición de la estrategia de Asset Management, pienso que lo primero que hemos de tener claro es qué es y para qué sirve la estrategia. La estrategia consiste en hacer un **profundo análisis tanto de nuestra organización como del entorno para definir un plan de acción que nos lleve a mejorar nuestra posición sobre los competidores** en el medio-largo plazo. La estrategia es elegir un camino.

El Asset management debe ser vista como un proceso que permite obtener beneficios para la empresa y se debe dirigir como un negocio. La gestión integrada de activos como estrategia de

negocio debe estar alineado con los negocios claves de la compañía. Este punto de vista nos lleva a un escenario distinto al de enfocar la función de activos como un centro de gastos.

Al observar la función del asset management como un negocio, el pensamiento estratégico se debe orientar hacia la forma como un sistema tradicional de mantenimiento de activos se debe transformar en una unidad de servicios rentables, de alta calidad y oportunos. La estrategia de mantenimiento de activos no consiste únicamente en definir la nueva visión de los activos (postura), sino también la forma como se logrará la transformación esperada (***Implantación de la Estrategia***).

Inteligencia de Negocio es la información sobre eventos pasados y sus tendencias con el propósito de realizar acertados procesos de toma de decisiones en el futuro. La mayor parte de las organizaciones tienen toda la información necesaria en sus bases de datos operacionales u otras fuentes no estructuradas para realizar decisiones de negocios inteligentes. Sin embargo, estos datos no están organizados de tal forma que puedan ser consultados de forma eficiente para obtener indicadores, estadísticas y tendencias con diferentes criterios

La automatización de los procesos permite racionalizar múltiples aspectos claves en el día a día, y es en este sentido donde las aplicaciones ayudan a las empresas a lograr una mayor comprensión y optimización de sus propios procesos, mejorando los canales de comunicación tanto dentro de la propia empresa como fuera, relacionándose con los diferentes socios colaborativos, lo que permite a las compañías flexibilizar sus procesos, sin que por ello se vean afectados el desarrollo de los mismos y sus costes.

La estrategia a seguir, proyectos cortos e integrales donde el cliente pueda ver en todo momento y desde el principio los resultados de su inversión, sin perder la perspectiva de un proceso sólido y evolutivo que capitalice su experiencia y conocimiento del negocio en Asset Management.

Dr. Luis José Amendola
Editor
PMM Institute for Learning
ESPAÑA

CARTA DEL EDITOR

PMM Projeet - ISSN: 1887-018X

Editor:

Dr. Luis Amendola
Asesor del PMM Institute for Learning, España.
Investigador de la Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería.
Consultor Industrial en Europa, Iberoamérica y USA.
España.

Senior Editor:

Ing. MSc. Tibaire Depool
Consulting & Coaching PMM Institute for Learning en Iberoamerica.
España.

Editorial Board:

Dr. Francisco José Morant Anglada
Catedrático de Universidad, Investigador del Instituto de Automática Industrial.
Grupo de Supervisión y Diagnóstico de Automatismo y Sistema de Control.
Universidad Politécnica de Valencia.
España.

Editorial Board:

Dr. Ángel Sánchez
Director del CEIM (Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento).
Asesor Industrial en América latina.
Cuba.

Editorial Board:

Ing. Víctor Ortiz.
Presidente de IPEMAN (Instituto Peruano de Mantenimiento).
Asesor de empresas.
Perú.

Editorial Board:

Dr. Rafael Lostado.
Director del Máster en Dirección y Administración de Proyectos.
Grupo de Investigación en Project Management, Instituto de Economía Internacional.
Universidad de Valencia.
España.

Editorial Board:

Ing. Lourival Tavares
Ingeniero Electricista.
Gerente general de PTC - Planeamiento, Entrenamiento y Consultoría Ltda.
Fue Director nacional de ABRAMAN (Asociación Brasileña de Mantenimiento)
Brasil.

Graphic Designer:

Lcda. Yannella Amendola
Licenciada en Investigación y Técnicas de Mercado, Ingeniero en Diseño Industrial.
Asesor de Diseño PMM Institute for Learning.
Austria.

CONSEJO EDITORIAL

COL@BORACIONES

La Revista está abierta a colaboraciones en sus diferentes secciones. Las colaboraciones habrán de enviarse por medio electrónico (e-mail) en formato Microsoft Word. La extensión de los artículos no sobrepasará los cinco folios A4 a doble espacio, y de contener notas, éstas irán al final del trabajo sin usar mecanismos de procesador de texto o inserción automática de notas.

Las lenguas oficiales de la Revista son las de la Unión Europea. En caso de utilización de una lengua distinta del castellano será necesaria la inclusión de un resumen de 300 palabras del estudio en cualquiera de las otras lenguas oficiales de la Unión Europea.

Las colaboraciones y correspondencia serán enviadas a la atención:



Dr. Luis Amendola: luigi@pmmlearning.com

Ing. Msc. Tibaire Depool: tibaire@pmmlearning.com

Está prohibida la utilización comercial de sus contenidos sin permiso escrito de los autores.

ISSN 1887-018X

Ministerio de Cultura, España

Centro Nacional Español de ISSN

Octubre, 2006

SUMARIO

6. **ASSET MANAGEMENT**
Administración del Rendimiento de Activos.
13. **GESTIÓN DE COSTES "Valor Ganado"**
Control de Proyectos de Corta Duración.
17. **CONFIABILIDAD**
Validación del Modelo de Confiabilidad Humana con el apoyo de Expertos en Empresas.
22. **CONFIABILIDAD**
Implantación y Gestión de Mantenimiento Preventivo en la Industria Química a través de RCM.
28. **CONFIABILIDAD**
Confiabilidad y Curvas de Conocimiento.
30. **INTERVIEW**
Antonio José Fernández Pérez, Iberdrola.
32. **PRESENCIA GLOBAL**
PMM Institute for Learning en Iberoamérica.
34. **VALENCIA TE ESPERA...**
Participa en nuestro programa de formación 2007.



Administración del Rendimiento de Activos

Ramón A. Díaz Toledo, Ingeniero Mecánico
Gerente de Cuentas para Meridium Inc. cubriendo el mercado internacional.
USA.

Un alto rendimiento continuo de los activos en instalaciones industriales como refinerías, plantas de generación de electricidad, minas y plantas petroquímicas es esencial para poder cumplir con las demandas de producción, cumplir con las regulaciones e iniciativas de seguridad y ambiente, limitar la pérdida de producción y exitosamente lograr la reducción de costos operativos.

La meta es trasladarse de las estrategias de mantenimiento reactivas a las proactivas que maximizan el "Up Time" y minimizan las fallas de los equipos. Para obtener dicho fin, las instalaciones han enfocado una gran cantidad de tiempo y dinero para desplegar las mejores tecnologías y expertos en el tema (sólo para encontrarse atascados en un modo reactivo). Recientemente, un ejecutivo de una de las petroquímicas más importantes lo puntualizó, asegurando que "Nosotros salimos en busca y compramos las mejores soluciones productivas. Posteriormente, contratamos a expertos para utilizar las soluciones productivas. Y aún así años después seguimos siendo 60% reactivos".

¿Cómo se puede evitar dicha situación? La evidencia más reciente sugiere que es posible trasladarse a un estado altamente proactivo, al implantar un enfoque bien estructurado, integrado y amplio en relación con la confiabilidad llamado Administración del Rendimiento de Activos (APM, por sus siglas en inglés). Con APM, el administrar y finalmente el mejorar el rendimiento de los activos significa administrar a través de toda la vida útil de un activo.

En su forma más sencilla, APM se define como:

- La creación de estrategias enfocadas al mantenimiento para la mejora del rendimiento de los activos
- La ejecución de aquellas estrategias, incluyendo la generación de indicadores claves del rendimiento
- La asignación de criterios para iniciar un análisis profundo del rendimiento de los activos
- La selección de las herramientas de soporte o apoyo de decisiones para evaluar el rendimiento de los activos
- Implantación de las estrategias revisadas en el enfoque inicial o actual cuando no obtiene los resultados deseados/esperados

La integración sistemática es la clave para lograr el éxito deseado incluyendo, una producción predictiva, administración proactiva de los activos y un lugar de trabajo seguro.

Impulsores de Negocios

Aquellos que han trabajado durante muchos años en las industrias antes mencionadas recordarán cuando se introdujeron los programas e iniciativas de seguridad a gran escala. Debido al enfoque de un entendimiento único sobre la seguridad, los accidentes e incidentes, que en algún momento eran algo común, ahora se consideran inaceptables. La seguridad es una meta estratégica aceptada por la gerencia - tanto en la ejecución como en la evaluación por medio de métricos. En donde se requiere una mejora, se crean e implantan nuevas estrategias. La seguridad se considera en el diseño de los sistemas y prevalece en las operaciones y ejecuciones diarias de las tareas de trabajo y en las juntas departamentales rutinarias.

Quizás lo más importante de todo es que la seguridad se ha vuelto una meta para toda la empresa en donde los trabajadores, en todos y cada uno de los niveles, rinden cuentas sobre su desempeño. Al entrar a través de la puerta principal de cualquier refinería o petroquímica importante es probable que vea un letrero que diga cuando fue la última vez que se presentó la última lesión con pérdida de tiempo, ésta se detalla en horas o días - o tal vez en años- .

El punto principal de esta idea: en lugares en donde se ha obtenido un rendimiento óptimo de la seguridad usted encontrará programas que se han estructurado e integrado adecuadamente y que además son de gran amplitud.

ASSET MANAGEMENT

Los impulsores de negocios en APM son muy similares al conjunto de impulsores de negocios que dieron origen a las primeras iniciativas de seguridad. Primero, existe un incentivo financiero significativo para mantener un rendimiento alto de los activos. En la mayoría de las instalaciones, prevalece el caso de la pérdida de dinero por no producir, situación originada por la interrupción no programada del servicio debido a un rendimiento insuficiente o inadecuado de los activos. En un estudio reciente, llamado Industry Answers, una refinería de alto nivel reportó un promedio de 10 fallas por día, o aproximadamente 3,600 fallas relacionadas con las órdenes de trabajo. El costo promedio de cada falla se reportó en US\$3,963. Esto se traduce en más de US\$14,000,000.00 anuales. En el mismo estudio, reportó que la Pérdida de Producción típicamente duplica el costo de las fallas relacionadas con las órdenes de trabajo. Por tanto, los costos por Pérdida por Oportunidad de Producir (LPO) para esta instalación de refinación fueron de más de US\$28,000,000. Así que si la seguridad y las cuestiones ambientales son preocupaciones mayores para las instalaciones de producción, entonces ¿Por qué no son las fallas en los activos?

En la industria existen impulsores de negocios típicos y específicos que trasladan una organización hacia una visión de administración del rendimiento de los activos. Éstos incluyen:

- Reducciones en las pérdidas por oportunidad de producir (LPO's son típicamente eventos inesperados que dan como resultado la incapacidad de cumplir con las demandas de producción)
- Iniciativas de seguridad que exigen operaciones seguras y confiables del proceso
- Iniciativas ambientales y de la salud que demandan, por ejemplo una reducción en fugas de compuestos orgánicos volátiles (VOC)
- Retorno neto y cumplimiento de las metas claves del Retorno sobre los Activos Netos (RONA) o el Retorno sobre el Capital Empleado (ROCE)
- Reducción en dólares para el mantenimiento e interrupciones inesperadas o interrupciones en el trabajo planeado o programado
- Cumplimiento de las demandas de producción y satisfacción de los clientes con entregas 100% a tiempo.
- Objetivos propios de Confiabilidad, Disponibilidad y Capacidad de Mantenimiento.

Los Tres Dominios Primarios

Existen tres dominios primarios que forman parte de APM. Estos son *Estrategia*, *Evaluar* y *Ejecutar*. En la Figura 1, se muestran en forma de un flujo continuo, que enfatiza que no se termina en la fase de evaluación. A diferencia, el enfoque debe ser en la estrategia inicial o previamente utilizada y la re-estrategia como mejora continua.

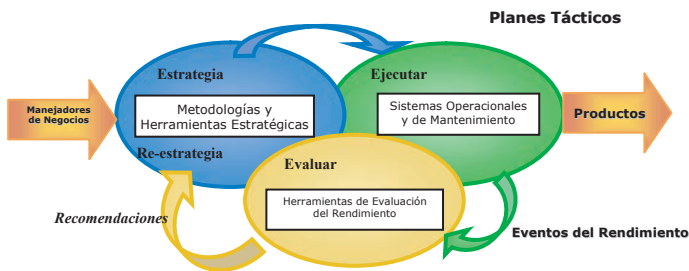


Figura 1. Los Tres Dominios Primarios de la APM

Para comprender el enfoque APM, se deben entender las actividades típicas que se presentan en cada dominio. Hay que recordar que algunas de estas actividades se solapan y se pueden realizar en uno, dos o en los tres dominios, dependiendo de los procesos de trabajo dentro de la organización.

El Dominio de Estrategia

Algunas, pero no todas, las actividades típicas que se presentan en el dominio de *Estrategia* incluyen:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento (Ej. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM)• Diseño del Equipo• Diseño del Proceso• Análisis de Criticidad• Diseño del Proceso Funcional• Análisis de Necesidades de los Recursos Humanos• Evaluación de Refacciones• Determinación de Herramientas y Equipos de Prueba | <ul style="list-style-type: none">• Cumplimiento Reglamentario• Necesidades de Documentación y Datos• Administración de Contratos• Administración y Control de Inventarios• Compras y Adquisiciones• HAZOP• Revisiones de Proveedores |
|--|---|

El Dominio de Ejecución

Las actividades que generalmente se presentan en el dominio de *Ejecución* incluyen:

- Operación de la Planta
- Actividades del Proceso
- Tareas de Mantenimiento
- Tareas de Inspección
- Registro de Incidentes/Eventos
- Actividades de Procesamiento
- Monitoreo de Condiciones
- Actividades de Cumplimiento Reglamentario

El Dominio de Evaluación

Sigue el dominio de *Evaluación* que incluye el análisis de qué tan bien han rendido los activos junto con la rendición de cuentas de qué tan bien se han llevado a su fin las tareas.

Las tareas típicas que se identifican en este dominio son:

- Efectividad de la Estrategia
- Rendición de Cuentas
- Medición de KPIs (indicadores claves de rendimiento)
- Mediciones de Eficiencia
- Análisis de Rendimiento
- Administración de Capacidades Operativas
- Confiabilidad del Sistema
- Análisis de Causa Raíz

Un número cada vez mayor de compañías están reconociendo que el simple hecho de realizar estas actividades no es suficiente. Como lo hemos identificado, aún las mejores soluciones productivas, realizadas por la mejor gente no llevan a la excelencia en el rendimiento de los activos. En cada dominio, puede existir la experiencia técnica, es posible que estén funcionando los equipos multidisciplinarios, y se pueden aplicar las soluciones productivas – pero *todavía las actividades reactivas dominan el área de trabajo*. La tecnología por sí sola no es suficiente.

Por otra, parte la administración del rendimiento de activos, es tanto un enfoque tecnológico como un enfoque para obtener la excelencia operacional. Se define a través de estrategias centradas en mantener el rendimiento en todo el lapso de vida del activo.

Procesos de Trabajo y de Negocio

APM proporciona a administración, operaciones, ingeniería y mantenimiento la habilidad de lograr la excelencia operacional con todos sus beneficios implícitos: rentabilidad, predicción de producción al menor costo posible, y operaciones libres de fallas. También proporciona un contexto dentro del cual se determina el uso correcto de tecnologías para poder realizar beneficios operacionales confiables.

APM da una vista holística de la mejor forma en que un activo se debe administrar. Uno de los errores que cometen muchas compañías es concentrar sus esfuerzos en sólo uno de los dominios y esperar que mejore el rendimiento de dicho activo. La empresa dedica la mayoría de las actividades a la recopilación de datos y no dedica tiempo suficiente en realmente analizar los mismos. Sin embargo, debido a que los datos no están integrados, es casi imposible notificar a los usuarios de que se ha excedido un criterio pre-establecido y al no examinar las estrategias inefectivas no se llega a la solución del problema.

Un mejorador de crudo en Sudamérica y una empresa de Gas del Medio-Oriente, tomaron un enfoque holístico aún antes de colocar los primeros cimientos o se hayan adquirido los primeros equipos. La compañía ha establecido una política con un enfoque totalmente proactivo.

Los activos se definen dentro de los sistemas funcionales y se evalúan para establecer un nivel de criticidad. Las metodologías utilizadas incluyen Inspección Basada en Riesgo (RBI) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), junto con otras mejores prácticas para identificar las estrategias iniciales de los activos. La ejecución de las tareas definidas y la medida del rendimiento de los activos por medio de los registros de los eventos (resúmenes detallados de inspección, información de reparación y eventos de falla), específicamente diseñados por activo o tipo de rendimiento (Ej. Bomba centrífuga, motor de inducción, tanque de presión, analizador, etc.) y la toma de datos relacionados específicamente con el proceso (desde historias del proceso) todos se han definido con flujos de trabajo muy específicos.

Las herramientas relacionadas con la confiabilidad para analizar datos sobre el rendimiento y los eventos también se configuran y diseñan para puntualizar los problemas potenciales (por medio de KPI's y constructores de búsquedas o consultas/informes), identifican las probabilidades de fallas y la optimización de mantenimiento programado (por medio de modelos de Crecimiento y Distribución tales como AMSSA y Weibull), se determinan las causas raíz utilizando una metodología probada (PROACT® de Meridium) y se re-evalúa la estrategia inicialmente utilizada para prevenir que se presente el evento no programado. Toda la información pertinente para administrar exitosamente los datos reside en un sistema integrado o empresarial.

Este sistema proporciona los siguientes beneficios al **usuario**:

- Los datos electrónicos en una ubicación central, incluyendo visualizaciones de los datos relacionadas con el proceso
- La habilidad para automatizar la transferencia de datos de un lugar a otro para facilitar la creación de tendencias e informes
- Establecimiento de los criterios para automatizar la notificación del análisis requerido
- Más tiempo para el análisis, sin necesidad de recopilar y construir (y re-construir) consultas/búsquedas de datos e informes
- Habilidad para captar información detallada relacionada con eventos planeados e inesperados (Reparaciones y Fallas) incluyendo costo y datos de LPO (pérdida de producción)
- Capacidades potentes de clasificación de datos a partir de datos técnicos, datos del proceso y registros de eventos
- Herramientas analíticas para predecir fallas y puntualizar causas raíz
- Herramientas para dar seguimiento a las recomendaciones
- Enlaces con las estrategias iniciales para la re-evaluación

Como es cierto en otras iniciativas de negocio, hay muchos retos que hay que sobrepasar dentro de cada uno de los dominios descritos. El implantar un sistema de administración del rendimiento de los activos requiere compromiso y dedicación para poder obtener logros y éxito.

A continuación podemos ver los retos más importantes que hay que considerar luego que se haya tomado la decisión de establecer una iniciativa APM:

Estrategia

Reto #1: Seleccionar los Métodos y Herramientas Correctas para Construir o Re-evaluar las Estrategias

Hoy día, existe una multitud de metodologías disponibles para definir las estrategias de los activos. Las opciones más populares incluyen el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) e Inspección Basada en Riesgo (RBI) y se ha probado que vale la pena el esfuerzo de implantación de cada una de ellas. Hay numerosos proveedores tanto para RBI como RCM – pero, una de las consideraciones principales debe incluir la utilización de software empresarial para formalizar y homogeneizar los procesos de trabajo.

Otra opción incluye la inversión a largo plazo en una taxonomía de equipos. Una taxonomía, en términos de la administración del rendimiento de activos, comúnmente se asocia con la incorporación de información de eventos asociados al equipo, indicadores claves de rendimiento y en particular el agrupamiento que relaciona activos dentro de una jerarquía. La Figura 2 ejemplifica las consideraciones que típicamente se otorgan a los activos dentro del dominio de *estrategia*:

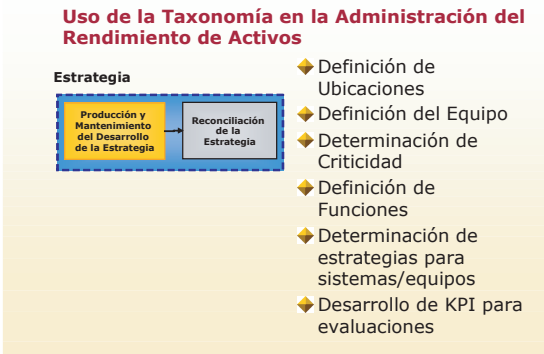


Figura 2. Consideraciones de Taxonomía en el Dominio de *Estrategia*.

Como se muestra en la Figura 2, el determinar la criticidad de los activos es una estrategia básica pero muchas compañías ignoran identificar la criticidad dentro de su taxonomía y caen en la trampa de trabajar con el “problema del día”.

Para aclarar aún más el punto del “problema del día”, considere el ejemplo del ingeniero que trabajó en una bomba de agua con un bajo impacto de seguridad, con un impacto limitado en los negocios y prácticamente sin ningún historial de mantenimiento. El problema fue asociado al rotor no balanceado, debido al desgaste a largo plazo del impulsor. Se dedicó un día completo desmontando el rotor, haciéndole el balanceo y montando el ensamble reconstruido. El ingeniero ayudó a los trabajadores de mantenimiento en la adquisición de las refacciones, comprobó el balanceo y se aseguró que se siguieran todas las especificaciones de mantenimiento e ingeniería, incluyendo el uso correcto de las hojas de verificación “checklists” de inspección. El resultado fue un ensamble del rotor bien balanceado listo para regresar a su servicio. Sin embargo, tardó un mes en poner la bomba en servicio debido a que la planta tenía una bomba de respaldo. ¿Por qué se invirtió tanto esfuerzo y atención a un activo con impacto tan limitado?

Ahora consideremos otro problema del “mundo real”; una bomba de hidrocarburos sin respaldo y altamente crítica tanto en servicio como en rendimiento, pero que su tiempo medio entre fallas (MTBF) era menor a tres meses. Los datos dictaban que esta bomba tenía una probabilidad mayor al 75% de falla – pero nadie estaba trabajando en la mejora de este MTBF aun siendo una bomba altamente crítica. Por lo contrario, se concentraron en el “problema del día” y todos los niveles de administración reforzaron su comportamiento. Días después, la planta tuvo un paro debido a que falló la bomba de hidrocarburos. Ahora los ingenieros de confiabilidad, el departamento de mantenimiento y el personal de operaciones tendrían que cambiar al modo reactivo y responder al problema crítico que anteriormente no tenía un enfoque o que tenía limitado.

El identificar en donde se localizan los activos críticos dentro de las instalaciones y el asegurarse que se identifiquen y utilicen las estrategias de mantenimiento bien analizadas representan la clave para ser proactivos y prevenir fallas. Una taxonomía de equipos contribuye directamente a este proceso de trabajo. Si no se selecciona una taxonomía y no se utiliza una estrategia, los escenarios como los que se describieron antes se convierten en algo común. Más aún, el no identificar los activos que son altamente críticos y que tienen una alta probabilidad de falla resulta en un modo de operación reactivo y costoso.

Ejecutar

Reto #2: Producción del Producto Dentro de las Especificaciones, A tiempo y sin Fallas

Dentro del dominio de *ejecutar*, existen rubros y actividades relacionadas con la administración de sistemas de mantenimiento, producción y sistemas de monitoreo de condiciones. También existen actividades de registro de eventos complementarias. Se presenta un ejemplo de actividades de registro de eventos y datos en la Figura 3.

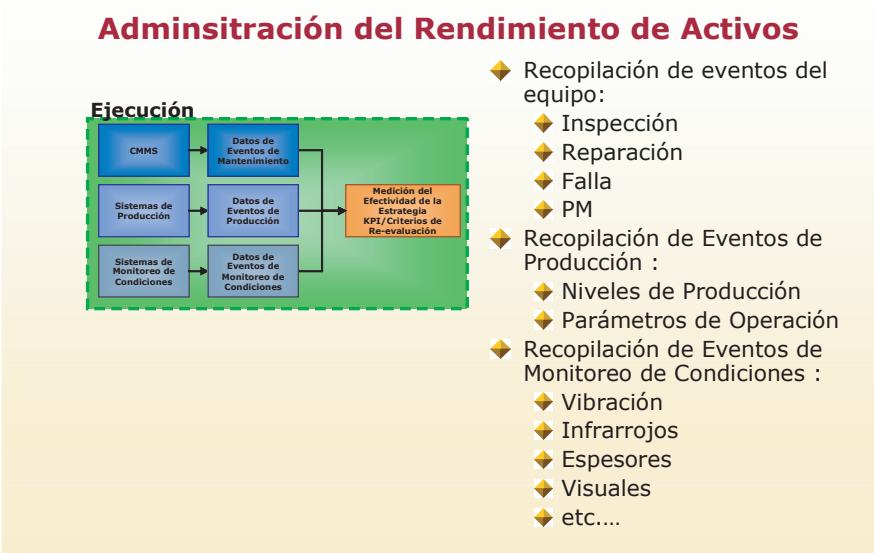


Figura 3. Actividades Típicas del Dominio de Ejecución “Recopilación de Datos”

Al definir una estrategia de administración del rendimiento de los activos las compañías deben entender el valor que tiene la captura de los datos de cada evento con información correlacionada de los sistemas de mantenimiento, producción y monitoreo de condiciones. Un error común en muchas compañías es el tratar de “forzar” los sistemas de administración de mantenimiento a que se conviertan en un lugar en donde se capturen los datos relacionados con el rendimiento de los activos. El hecho es que estos sistemas están primariamente diseñados para administrar el trabajo y adquirir partes para realizar el trabajo.

Al mismo tiempo, los ingenieros, técnicos y analistas dedican la mayor parte de su tiempo en la *recopilación* de datos, en lugar de analizarlos. La meta debe ser que el personal dedique 70-80 por ciento de su tiempo al análisis de los datos y a tomar decisiones con basamentos y oportunas. Por lo contrario, el personal de confiabilidad dedica 80 por ciento o más de su tiempo en la recopilación de datos y termina sin tener tiempo para analizarlos.

Esto proporciona otro motivo para sistematizar esta actividad con aplicaciones que puedan capturar información de las órdenes de trabajo de mantenimiento, parámetros de procesos críticos y datos de monitoreo de condiciones.

Evaluar
Reto #3: Ya tengo los datos ¿Ahora qué?

Inherente en la habilidad de mejorar el rendimiento de los activos se encuentra la evaluación y el análisis de los datos para tomar decisiones constatadas. Cuando se enfrenta ante el reto de evaluar los datos de rendimiento y eventos, las herramientas y metodologías correctas son los puntos más importantes a considerar. La Figura 3 incluye unos grupos de tareas típicas dentro del dominio de *evaluar*.

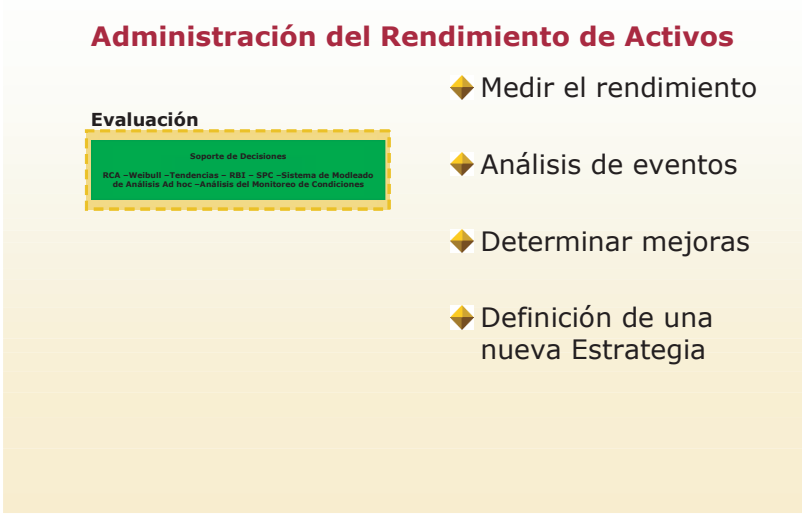


Figura 3. Actividades Típicas en el Dominio de *Evaluación*.

Evaluar y Re-estrategia

Existen cientos de soluciones que proporcionan la habilidad de realizar el análisis de los datos. La Inspección Basada en Riesgo, el Análisis de Causa Raíz, las herramientas de tendencias y los programas Weibull son tan solo unas cuantas herramientas que se utilizan comúnmente.

Desafortunadamente, a menudo estas herramientas analíticas son responsables de crear silos inmensos de información – los resultados de los análisis permanecen en los PCs o en escritorios, y raramente, si es que alguna vez se llega a hacer, se integran con otras soluciones.

El resultado son problemas que incluyen:

- Los analistas de confiabilidad no tienen acceso a toda la extensión de datos de los sistemas involucrados, lo que lleva a una visualización sesgada de los problemas.
- Muchas herramientas analíticas están en PCs y los resultados de sus análisis a menudo no se incorporan dentro de los mismos sistemas operacionales y de mantenimiento.
- Una cantidad desproporcionada de tiempo se dedica a la recopilación de datos y a la toma manual de datos en lugar de dedicarlo al análisis.
- Los resultados de los análisis no conducen a la reevaluación de estrategias; se continúa con procesos de trabajo ineficientes e inefectivos y los intentos por eliminar los defectos fracasan.

La solución, entonces, es de utilizar sistemas empresariales que utilizan información generada en sistemas CMMS y ERP, junto con los datos generados por las herramientas de mantenimiento predictivo e historiales del proceso. Al tener automáticamente todos estos detalles, le permite a las plantas cambiar de forma efectiva de un enfoque reactivo a un enfoque proactivo.

Los pasos sugeridos para la implantación de un sistema incluyen:

1. **Identificación de los impulsores de negocios**
2. **Definición de la criticidad de los activos**
3. **Desarrollo de estrategias**
4. **Selección e implantación de una taxonomía.**
5. **Toma de datos relacionados con eventos .**
6. **Analizar los datos con el conjunto de herramientas**
7. **Solución de Causas Raíz y Estrategias**

Los mismos serán explorados en un futuro artículo.

Conclusión

A un Ingeniero de Confiabilidad, se le escuchó decir una vez: “Estamos haciendo nuestro mejor esfuerzo con las herramientas que tenemos. Contamos con la mejor gente utilizando herramientas analíticas geniales. Cuando se presentan las fallas, podemos resolverlas”.

El mismo ingeniero con un enfoque proactivo diría, “La falla de activos críticos y los paros son inaceptables, debemos usar las estrategias y las tareas para predecir de forma oportuna o prevenir que se presente otra vez la falla.” En lugar de aceptar una falla como un evento esperado, la ideología debe enfocarse en eliminar la falla... así como hoy día se enfoca el negocio en relación con la seguridad.

Un sistema integrado para la Administración del Rendimiento de Activos prueba y comprueba dicha ideología para mejorar el rendimiento de los activos al eliminar las fallas, optimizar las estrategias y cumplir con las metas de producción propuestas.

Administración del Rendimiento de Activos Empresarial
Tres Dominios



Beneficios al Negocio

Las compañías que actualmente utilizan o han implementado una iniciativa para la Administración del Rendimiento de los Activos reportan un promedio desde ¼% a 2% de aumento en la utilización de capacidad y un 15% a 40% de reducción en los costos relacionados a las fallas de sus equipos. Estos son números significativos. Las mejoras en ganancias publicadas en refinerías son de US\$1,000,000 a US\$5,000,000, por planta/complejo anualmente.

La producción predecible, la administración de las acciones proactivas y un lugar de trabajo seguro son posibles al implantar un enfoque bien estructurado, integrado y extenso en toda la empresa.



Ramón Díaz: Ingeniero Mecánico, egresado de la Universidad de Puerto Rico, Colegio de Ingeniería Mayagüez, posee estudios en Gerencia de Empresas de la Universidad de Carolina del Norte. Desde Febrero 2001 hasta la actualidad, se desempeña como Gerente de Cuentas para Meridium Inc. cubriendo el mercado internacional. Certificado como Profesional de Mantenimiento y Confiabilidad de SMRP. En Agosto de 1984, ingresó a General Electric Company, En Febrero de 1989, pasó a ser Gerente de Producto, En febrero de 1994, fue transferido a la División de Turbinas. En Agosto de 1994, fue transferido a Puerto Rico. En Julio de 1996, fue transferido a la División de Controles de Turbinas en Salem.

Control de Proyectos de Corta Duración

Dr. Cassanelli (*) A. N.
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata
Bs. As., Argentina.
acassane@fi.mdp.edu.ar.



Resumen: En este trabajo se revisa la consistencia de los indicadores de valor acumulado con la información que representan y su estabilidad en proyectos de corta duración mediante una revisión bibliográfica de trabajos publicados cuya particularidad consiste en que tienen diferentes duraciones.

Existe abundante referencia de proyectos con duraciones medidas en años. En estos, el estudio sistemático de los indicadores de control de proyectos basados en la metodología de valor acumulado se encuentra suficientemente documentado y existen antecedentes sobre la información que representan y la consistencia con la misma.

Además, de las estimaciones del comportamiento futuro del proyecto apoyado en diferentes estrategias de análisis y acumulación utilizadas para los indicadores de programación y costo. Para el caso de proyectos cuya duración es menor las referencias son escasas en la bibliografía independientemente que los indicadores son utilizados regularmente para reportar avances y realizar análisis de proyectos con estas características.

EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VALOR ACUMULADO

El concepto de valor acumulado tiene sus primeras referencias en los trabajos de Frederick W. Taylor, Frank y Lillian Gilbreth, Henry Lawrence Gantt, etc. [1]. Desde el punto de vista de la administración de proyectos, la referencia formal relevante que incluye el concepto de valor acumulado para la evaluación del desempeño de sus contratistas es del año 1965, (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Cuando la fuerza aérea de USA (USAF) forma un equipo de trabajo para el desarrollo de un estándar en este sentido.

Para el año 1967 el departamento de defensa (DoD) presenta sus criterios para el control de costo y programación (C/SCSC) de los proyectos que desarrolla mediante contratos. Para el año 1995 el la National Defense Industry Association (NDIA) comienza la reformulación de los criterios para adaptarlos a las necesidades de la industria privada.

En diciembre de 1996 el subsecretario de defensa para adquisiciones y tecnología del gobierno de USA, el Dr. Paul Kaminski, acepta la lista con 32 criterios de valor acumulado de la industria siendo estos incorporados en el año 1997 al documentos DoD Instruction 5000.2R.

Luego mediante gestiones de la NDIA se incorporan los 32 criterios como un documento de la American National Standard Institute/Electronic Industry Association (ANSI/EIA), en julio de 1998 se oficializa el ANSI/EIA 748 Guide.

Recientemente el Project Management Institute (PMI) reconoce a la metodología de valor acumulado como una herramienta esencial para la planificación, control e integración del alcance, la programación y los recursos mediante el desarrollo de un standard denominado "The Practice Standard for Earned Value Management (PSEVM)" [2].

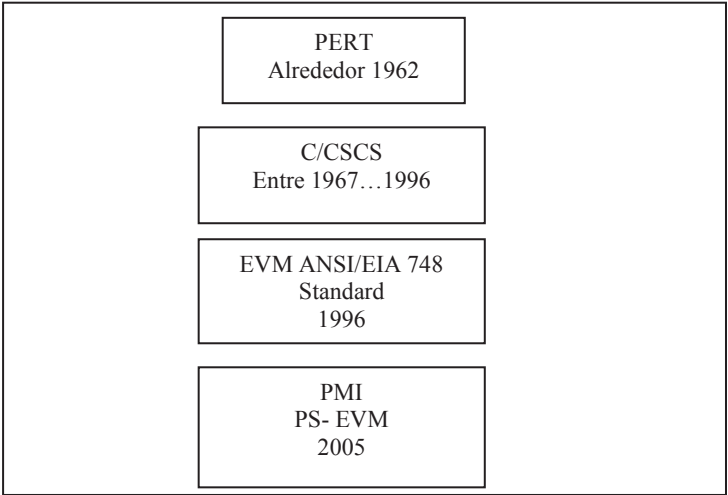


Fig. 1 – Evolución histórica Metodología Valor Acumulado.

GESTIÓN DE COSTES "VALOR GANADO"

METODOLOGÍA DE VALOR ACUMULADO

Mediante la metodología de valor acumulado se puede evaluar, utilizando tres variables, el estado de un proyecto durante su ejecución en una fecha dada:

- 1. **BCWS**: costo presupuestado del trabajo programado. La suma del costo de todos los trabajos incluidos en la línea base del proyecto.
- 2. **BCWP**: costo presupuestado del trabajo realizado. Es la parte proporcional del BCWS respecto del avance certificado a la fecha de actualización del proyecto.
- 3. **ACWP**: es el costo real de las tareas realizadas efectivamente certificado y pagado a la fecha de actualización del proyecto.

Así se obtienen los índices de desempeño de programación SPI y de costos CPI.

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$
$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

El índice SPI es un de indicador de plazos que evalúa el desempeño del equipo de proyecto en la ejecución respecto de la programación establecida en la línea base.

El índice CPI esta directamente relacionado con el valor presupuestado del proyecto alcanzado hasta el momento y el costo incurrido para alcanzarlo, es decir que puede interpretarse como un rendimiento del equipo de trabajo.

Cuando el proyecto se encuentra atrasado o experimenta sobrecostos estos indicadores adoptan valores menores a la unidad. Un CPI de 0,90 significa que por cada peso invertido el valor alcanzado respecto del presupuestado es 90 centavos. (1 peso Argentino = 0,327 \$).

El costo total estimado a la finalización del proyecto basado en el desempeño alcanzado hasta un dado momento de la ejecución se puede estimar mediante,

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP) / Indice$$

EAC: es el costo estimado del proyecto al finalizar.

BAC: es el presupuesto total correspondiente a la línea base

Índice: evalúa el desempeño a la fecha y se puede adoptarse CPI, SPI o el producto (SPI CPI).

Las estimaciones realizadas con la ecuación anterior dependen fuertemente del índice adoptado, dado que este pondera la diferencia entre el presupuesto y el valor ganado del proyecto en función del desempeño alcanzado hasta ese instante.

La consistencia y la estabilidad de estos índices con la información que representan durante la vida del proyecto es importante desde el punto de vista del control.

Uno de los aspectos que han sido tratados en la bibliografía más extensamente tiene que ver con la estabilidad de los índices y su comportamiento durante la ejecución del proyecto, en particular el índice CPI.

ESTABILIDAD DEL ÍNDICE CPI

El problema de la estabilidad del índice CPI consiste en determinar el momento durante el ciclo de vida del proyecto en el cual este indicador tiene una correlación concreta con el desempeño en costos.

Del trabajo de Christensen [3] realizado con la base de datos de proyectos del Defense Acquisition Executive Summary (DAES) se probó que el CPI acumulado es estable luego que el proyecto se ha completado en un 20% independientemente del tipo de contrato, programa o servicio.

Este resultado se obtuvo a partir de estudiar 155 contratos de 44 diferentes programas

incluidos en la base de datos DAES perteneciente a la Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition (OUSD(A)) [3,4,5,6,7,8,9]. Incluyeron proyectos de producción, y de desarrollo, con línea de base estable e inestable.

Los contratos de desarrollo incluyen desarrollos full scale, continuación de desarrollos, demostración y validación.

Los de producción incluyen contratos de construcción, series pequeñas y producción de grandes series.

En todos los casos son proyectos incluidos en programas de las diferentes agencias del gobierno con duraciones de años.

La estabilidad fue definida en un rango de variación menor a 0,20 del CPI, en estas condiciones el CPI se mostró estable desde el 20% de avance del proyecto con 95% de confianza.

En este sentido se puede establecer que, si a partir del 20% de avance, el proyecto experimenta sobrecostos evaluado con el índice CPI, este indicador está anunciando dificultades con la ejecución del presupuesto del proyecto.

STANDARD DE GERENCIAMIENTO DEL VALOR ACUMULADO

Recientemente el Project Management Institute (PMI) reconoce mediante el desarrollo de un standard, "The Practice Standard for Earned Value Management (PSEVM)" editado en el año 2005 [10] a la metodología de valor acumulado como una herramienta esencial para la planificación, control e integración del alcance, la programación y los recursos.

En este standard se compila y actualiza la información acerca de la metodología y los procesos de valor acumulado sin realizar indicaciones sobre la duración del proyecto.

CONCLUSIONES

Queda establecida de la revisión realizada la consistencia de los indicadores de valor acumulado con la información que representan y su estabilidad en proyectos de mediana y gran duración. En estas condiciones se puede establecer que el *CPI* acumulado representa el desempeño de costos del proyecto durante su ejecución a partir del 20 % de avance. Momento a partir del cual se pueden realizar estimaciones de costos de proyecto teniendo en cuenta las recomendaciones de la bibliografía sobre la forma de cálculo.

En el standard recientemente publicado por el Project Management Institute se presenta la metodología de valor acumulado para su aplicación en proyectos de cualquier duración.

Para proyectos de corta duración, la estabilidad de los indicadores utilizados para las estimaciones del costo final del proyecto durante su ejecución no ha sido validado con una estrategia similar a la que utilizó el Dr. Christensen en sus trabajos con la base de datos Defense Acquisition Executive Summary (DAES) del Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition (OUSD(A)).

Actualmente se están desarrollando programas de investigación sobre proyectos de corta duración de la industria de reparación y construcción naval con resultados alentadores respecto de la estabilidad de los índices [11, 12]

REFERENCIAS

[1] Fleming, Quentin W., Koppelman, Joel M.; "Earned value Project management", 2nd ed. Project Management Institute, Inc. 2000. ISBN 1-880410-27-3

[2] http://www.pmi.org/prod/groups/public/documents/info/pp_practicestandardforevm.asp

[3] Christensen, David S. and Scott Heise (1993, Spring). Cost Performance Index Stability National Contract Management Journal 25: 7-15.

[4] Christensen, David S (1993, March). "The EAC Problem - A Review of 3 Studies." Project Management Journal 24: 37-42.

[5] Christensen, David S. and David Rees (2002, Winter). Is the Cumulative CPI-based EAC a Lower Bound to Final Cost on Post-A12 Contracts? Journal of Cost Analysis and Management, pp. 55-65.

[6] Christensen, David S. and Carl Templin (2002, Spring). EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? Acquisition Review Quarterly 9:105-116.

[7] Christensen, David (1999, Summer). Using the Earned Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate At Completion. Acquisition Review Quarterly 19:283:296.

[8] Christensen, David S (1994, Spring). "Using Performance Indices to Evaluate the Estimate At Completion." Journal of Cost Analysis and Management, pp 17-24.

[9] Christensen, David S (1993, Spring). Determining an Accurate Estimate at Completion National Contract Management Journal 25: 17-25.

[10] "The Practice Standard for Earned Value Management". PMI, ISBN 1-930699-42-58, 2005.

[11] Cepeda, S., Cassanelli, A. N., "Proyectos de corta duración, *análisis mediante modelos probabilísticos*". X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia, España. Septiembre, 2006

[12] Zirulnikov N., Cassanelli (*) A. N., "Herramienta de Control para proyectos de corta duración". IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Málaga, España. Junio, 2005.

Validación del modelo de confiabilidad humana con el apoyo de expertos en empresas de manufactura.

Amendola, Luis. (1); Depool, Tibaïre. (2)
PMM Institute for Learning (1); (2)
Universidad Politécnica de Valencia (1)
Departamento de Proyectos de Ingeniería



Resumen: La clasificación de los errores producto del comportamiento humano ha recibido también una notable atención en el mundo científico. Aunque los avances han sido apreciables en el plano teórico y a nivel de laboratorio, aún la utilidad práctica de las metodologías, sistemas de clasificación, y sobre todo, la definición de las acciones a seguir en un contexto empresarial relacionadas con la gestión de estos errores, no están disponibles para su utilización como herramientas a nivel de las organizaciones.

Nosotros basados en un modelo teórico presentado en el VII congreso de confiabilidad y aplicando la investigación cuantitativa a diferentes expertos en mantenimiento en empresas de manufactura obtuvimos una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación; con la finalidad de identificar los aspectos asociados al error humano, causas, conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad, evaluar el entorno de las actividades más frecuentes del hombre, identificar aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad, las posibles soluciones para mitigar el error humano y la evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto. Todo ello desde la perspectiva enriquecedora de la gente que está siendo estudiada, sustentada en las tendencias subjetivistas, las que pretenden una comprensión del modelo de confiabilidad humana.

En efecto, se puede estimar la probabilidad de fallo de un componente, pero las técnicas que permiten estimar la probabilidad de fallo de una persona, aún se encuentran en su etapa más inicial de desarrollo. Lo anterior implica la muy baja exactitud de los modelos que simulan la operación del hombre junto con elementos del hardware. Ubicándonos en un período corto de un sistema socio- técnico, donde los subsistemas técnicos y organizacionales están establecidos y no serán cambiados, sólo la conducta del individuo frente a los riesgos es capaz de garantizar su seguridad, y/o la de los demás individuos y la de la instalación. Entonces, dada la complejidad del tratamiento individual de cada conducta humana frente al riesgo, y dada la poca operabilidad en la práctica empresarial de los conocimientos existentes sobre este tema, una variante para el tratamiento de los errores humanos o de la conducta frente al riesgo en general, consiste en desplazar las acciones desde el individuo hacia el colectivo al que éste pertenece.

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Error, Modelo, Memoria, Disponibilidad

1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de validar el modelo teórico de confiabilidad presentado en el VII Congreso de Confiabilidad, se realizó un estudio mediante un cuestionario el cual fue dirigido a 25 técnicos e ingenieros con entre 5-15 años de experiencia de empresas del sector de manufactura en Iberoamérica.

El cuestionario fue formulado con 24 preguntas orientadas a: el análisis de los aspectos asociados al error o factor humano, el análisis del factor humano, a la identificación de las causas de los fallos, la definición del grado de conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad, la evaluación y medición del entorno de las actividades más frecuentes del hombre, la identificación de aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad e identificación de las posibles soluciones para mitigar el error humano.

En este presente artículo analizaremos el conjunto de datos obtenidos en el estudio realizado, generando información valiosa traducida en un mayor conocimiento y comprensión de todo el entorno de la confiabilidad humana. Y terminaremos finalmente con la evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto de confiabilidad para considerar su futura implementación industrial.

CONFIABILIDAD

2. EL MODELO DE CONFIABILIDAD PROPUESTO

La figura 1 muestra el modelo que ha sido evaluado.

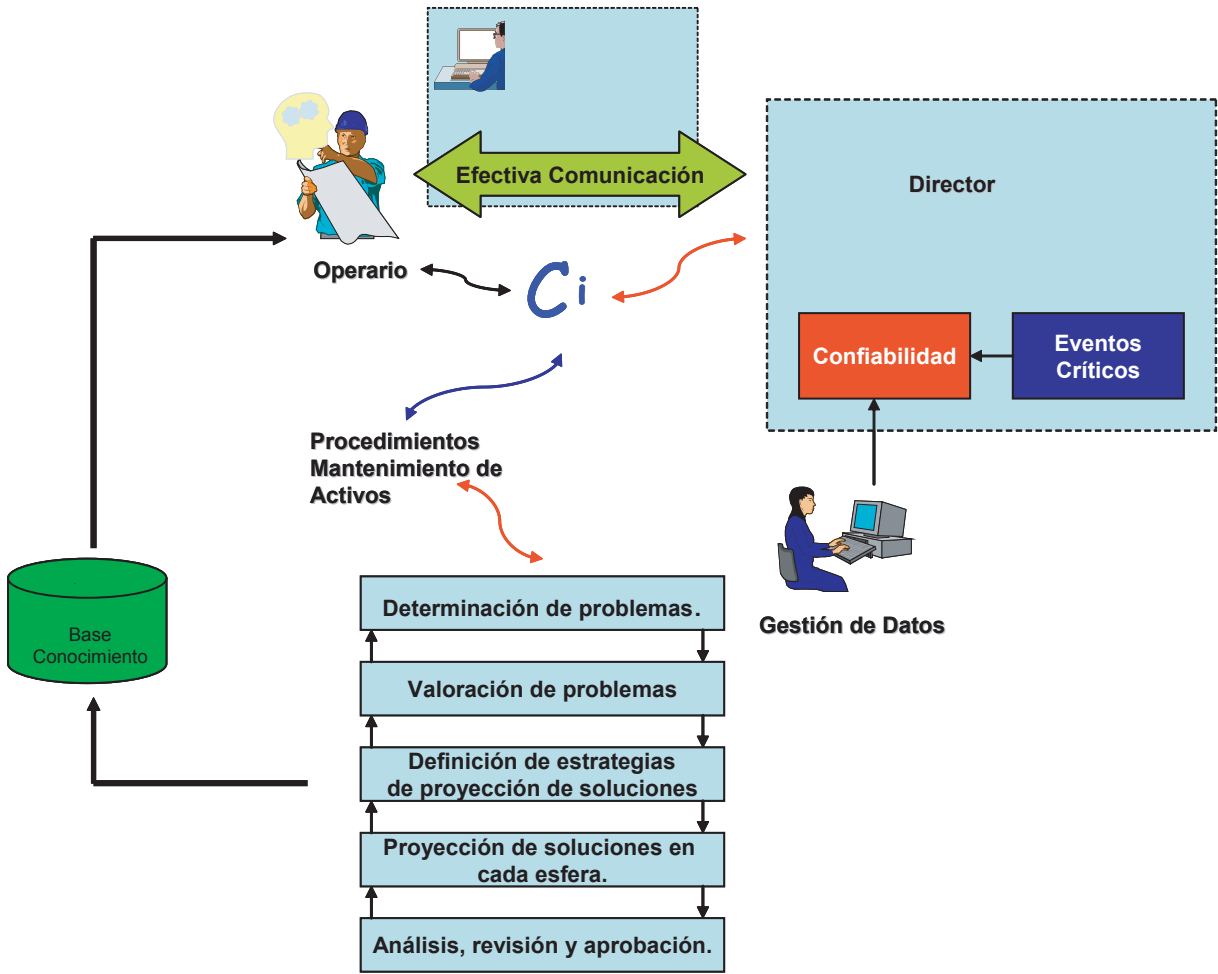


Figura 1. Modelo de Confiabilidad Humana

La estrategia de aplicación del modelo se basa en la gestión del conocimiento y trabajo en equipo, que consiste en formar equipos naturales de trabajo para implementar la confiabilidad operacional proactiva, la cual nos ofrecerá un mapa estratégico de la instalación con el fin de mitigar y diagnosticar los fallos a tiempo desde el punto de vista operacional y humano. Con ello pretende confeccionarse una matriz de agrupación directamente en trabajo de grupo o puede hacerse una propuesta preliminar para buscar consenso. Uno de los objetivos fuertes que persigue la aplicación del modelo es determinar las causas que originan los problemas con la participación de todos los equipos de trabajo empleando para ello los datos como referencia; esclareciendo así las causas que ocasionan los problemas, con ayuda de algunas técnicas de ingeniería de confiabilidad (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis **"FMECA"**, Failure Mode and Effect Analysis **"FMEA"**, Reliability Centered Maintenance **"RCM"**, Human Factors **"Process FMEA"**, Root Cause Analysis **"RCA"**, Risk-based inspection **"RBI"**, Cost/Risk Optimization **"CRO"**).

El modelo en síntesis apuesta por la organización aguas abajo de la función del mantenimiento, lo cual asegura la robustez de su utilidad. La organización aguas abajo implica la gestión del conocimiento generada día a día por los operarios (capital intelectual **"Ci"** ver figura 1), integrado mediante una base de conocimiento, aplicación de las buenas prácticas de la gestión de activos; como por ejemplo, la descripción y definición suficiente de las tareas y trabajos de mantenimiento a realizar.

La clave de un modelo integral de Confiabilidad Operacional se basa en una buena gestión de sus factores claves; como lo son: el conocimiento, la mantenibilidad, la disponibilidad y los riesgos (humanos y materiales). En este mismo sentido las metodologías **RAM (Reliability, Availability y Maintainability)** y el árbol de decisiones, son métodos sistemáticos a través de los cuales se pueden definir y optimizar el mantenimiento de los activos considerando los aspectos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, y la gestión de riesgo para el manejo de los imprevistos.

CONFIABILIDAD

La técnica RAM fue desarrollada por la compañía Sun Oil para optimizar sus paradas de planta. A grandes rasgos consiste en evaluar varias opciones de mantenimiento para un equipo desde el punto de vista de **confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad**, para determinar si el equipo debe ser incluido o no dentro del alcance de la parada, es importante destacar que las opciones evaluadas, siempre se comparan contra la opción de **“no hacer nada”**. La opción de mantenimiento que desde el punto de vista costo-efectividad represente mayores ahorros es la seleccionada. En ocasiones no hacer nada es lo más conveniente.

La base del árbol de decisión se basa en cuatro elementos; estos son: los factores más importantes que afectan el futuro, **la elección y la casualidad**, y los parámetros que hay que considerar al evaluar a éstos 2 anteriores, **los costes y las consecuencias**. A grandes rasgos el primer paso para construir un árbol de decisión es identificar las opciones que tenemos que elegir para realizar nuestros objetivos. Estas elecciones forman las ramas del árbol; por ejemplo, fabricar o comprar, hacerlo dentro o fuera de la empresa, por la vía rápida o tradicional, método innovador o de eficacia probada, distribuidor A o B, de mucha o poca prioridad. Cada una de estas decisiones lleva a diferentes resultados. Por último, el árbol de decisión debe abordar consecuencias. Si alguna opción de decisión se eligiera, incurriendo tanto coste como riesgo, el resultado final debería calcularse, lo que normalmente es el **desenlace** de implementar esa decisión.

3. LA RELACIÓN DE LOS DATOS

Siguiendo el esquema mostrado en la figura 2, se han clasificado las preguntas del cuestionario en 8 áreas de conocimiento mostradas en la tabla 1.

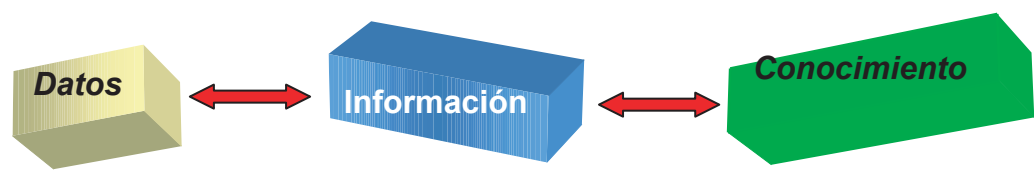


Figura 2. Generación de conocimiento

Tabla 1. Relación de los Datos

	Área de Conocimiento	Preguntas
1	Aspectos asociados al error o factor humano	2, 4 y 15
2	Análisis del factor humano	5 y 8
3	Causas de los fallos	3, 6, 10, 11, 12 y 14
4	Determinar el grado de conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad	1 y 7
5	Evaluar y medir el entorno de las actividades más frecuentes del hombre	9
6	Identificar aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad	16, 17, 18, 19 y 20
7	identificar las posibles soluciones para mitigar el error humano	13, 23 y 24
8	Evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto de confiabilidad humana	21 y 22

4. LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los 25 encuestados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la Encuesta Validación del Modelo de Confiabilidad Humana

	PREGUNTAS \ %	% Lo desconocen	% Siempre	% Frecuentemente	% Alguna Vez	% Rara Vez	% Nunca	% TOTAL
1	Emplean alguna técnica de confiabilidad para gestionar el error humano	24	0	16	20	24	16	100
2	Los errores humanos más frecuentes tienen que ver con la memoria	0	8	28	52	8	4	100
3	Un elemento importante a la hora de analizar el error humano es su estrecha relación con la fatiga física y mental	0	12	48	40	0	0	100
4	Muchas de las tareas que se realizan en mantenimiento requieren grandes componentes de memoria	8	4	48	28	12	0	100
5	En ciertos sectores industriales, las equivocaciones no tienen más consecuencias que pérdidas de tiempo y económicas. ¿Ha sido causa del factor humano?	4	4	56	32	4	0	100
6	Cree usted que los fallos que se producían en los sistemas son causados mayoritariamente por cuestiones técnicas	0	0	24	60	16	0	100
7	Aplican la metodología "Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad" (RAM) para gestionar el error humano.	20	8	0	16	24	32	100
8	La motivación juega un papel importante en los factores humanos, y en su rendimiento en el trabajo	0	56	44	0	0	0	100
9	La mayoría de las actividades humanas implican la interacción HOMBRE-MAQUINA-ENTORNO	0	32	68	0	0	0	100
10	El principio clásico de correlación tiempo-confiabilidad, es una expresión de la idea de que el fallo al realizar una actividad es función del tiempo	24	12	12	44	8	0	100
11	El rasgo común es que la posibilidad de cometer el fallo es un atributo de las condiciones y no del hombre	4	0	32	36	28	0	100
12	El requerimiento de abrir una válvula cuando suena la alarma de apertura, esta operación, al ser muy practicada y sencilla se realiza inconscientemente. (de forma automática y mecánica por el hombre)	8	20	68	4	0	0	100
13	Una razón fundamental para luchar contra los problemas de coste y reconocimiento de problemas en la confiabilidad integrada de activos, es adecuar las estructuras organizativas de los departamentos de mantenimiento	12	20	48	20	0	0	100
14	Los errores de mantenimiento no son únicamente causados por algo que la gente de mantenimiento ha hecho, sino por algo que gente de mantenimiento no hizo	8	4	64	16	8	0	100
15	¿Es determinada la carga mental de las tareas de mantenimiento?	8	8	16	16	36	16	100
16	Si se analizan cada una de las etapas de la metodología y sus condiciones detalladamente podremos identificar con mayor exactitud el origen del problema	8	24	60	8	0	0	100
17	La identificación de los equipos críticos en plantas de procesos nos ayuda a mejorar la confiabilidad humana	8	20	36	24	12	0	100
18	Realizar un análisis de riesgos sobre los equipos críticos nos ayuda en la optimización de los procesos de la confiabilidad humana	8	32	40	12	8	0	100
19	Elaborar un plan mecánico que contenga toda la información técnica necesaria sobre los equipos críticos nos ayuda en mitigar los errores humanos	8	8	48	32	4	0	100
20	El estudio de los factores humanos para la mejora y evasión de errores funciona	12	20	56	8	4	0	100
21	Es un error pensar solamente que lo hicieron y esa es la causa, es necesario indagar más, conocer la causa, la raíz del problema: ¿Lo ayudará esta metodología?	4	40	56	0	0	0	100
22	Emplea la metodología del árbol de decisiones para manejar imprevistos que surjan durante la ejecución del mantenimiento ¿Cree usted que si la combina con esta metodología será de mucha utilidad?	8	20	48	16	0	8	100
23	Al identificar dónde podría radicar algún problema de confiabilidad, se selecciona alguna estrategia o combinación de estrategias para evitar el error humano	8	4	44	36	8	0	100
24	Se hace un seguimiento constante de los trabajos de mantenimiento para evitar el fallo humano	8	8	20	44	16	4	100

5. DISCUSIÓN

Los ingenieros y técnicos de mantenimiento encuestados concuerdan en que existe un alto **desconocimiento de las técnicas de confiabilidad** (24%); lo cual, puede influir en que no sean empleadas como una práctica constante (ver tabla 2 pregunta 1). Estos resultados se extienden al desconocimiento de la metodología RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) y a su muy baja aplicación (ver tabla 2 pregunta 7). Los **errores humanos** más frecuentes algunas veces son asociados con la memoria (ver tabla 2 pregunta 2) y se considera que muchas de las tareas a realizarse en mantenimiento requieren con mucha frecuencia grandes componentes de la memoria (ver tabla 2 pregunta 4); sin embargo, la carga mental de las tareas de mantenimiento rara vez son determinadas como puede verse en la tabla 2 pregunta 15. Lo cual pueda deberse a que se le otorgue mayor importancia a los detalles técnicos de los trabajos, que a las condiciones mentales y físicas de la(s) persona(s) que las ejecutará. En este mismo sentido es considerada con frecuencia la relación de la fatiga física y mental al analizar el factor humano (ver tabla 2 pregunta 3).

CONFIABILIDAD

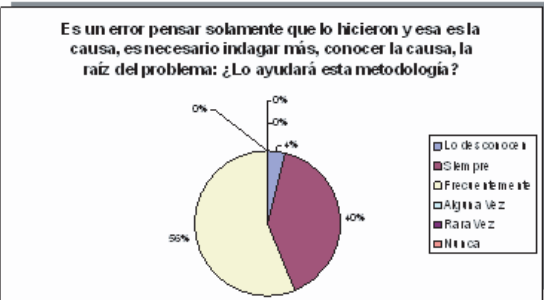
Por lo general las **causas de los fallos** son asociados a: cuestiones técnicas (ver tabla 2 pregunta 6) y en función al tiempo determinado para ejecutar una actividad (ver tabla 2 pregunta 10). Por otro lado, algunas veces la causa de los fallos es atribuida a las condiciones y no al hombre, al grado en la que el hombre ejecuta una tarea de forma inconciente (ver tabla 2 pregunta 12) y debido a acciones que gente de mantenimiento no hizo (ver tabla 2 pregunta 14). Sin embargo, los **fallos con consecuencias de pérdidas de tiempo y dinero son asociadas** frecuentemente al factor humano (ver tabla 2 pregunta 5); con esto podría decirse que se le otorga mayor confianza a las máquinas y/o equipos para todo aquello que esté asociado a tiempo y dinero. Sería interesante medir a **¿qué?** o a **¿quién?** asocian los fallos con consecuencias de pérdida de vidas humanas. Lo asociarían **¿a personas?** o **¿a máquinas?** o **¿a métodos, procedimientos, etc...?**

Por otro lado se percibe que la mejora de la confiabilidad y la mitigación de los riesgos puede lograrse a través de: la elaboración de un plan mecánico con información técnica necesaria y completa, identificación y análisis del riesgo de los equipos críticos de las plantas (ver tabla 2 pregunta 17, 18 y 19). En este mismo sentido, se le otorga una gran importancia a la identificación y análisis de las causas que originaron el fallo para mitigar su ocurrencia (ver tabla 2 pregunta 16 y 20) y en la selección de alguna estrategia o conjunto de ellas para evitar los errores (ver tabla 2 pregunta 23). Así mismo concuerdan en que los problemas de la confiabilidad integrada de activos puede aminorarse a través de la adecuación de las estructuras aguas a bajo de la función de mantenimiento (ver tabla 2 pregunta 13).

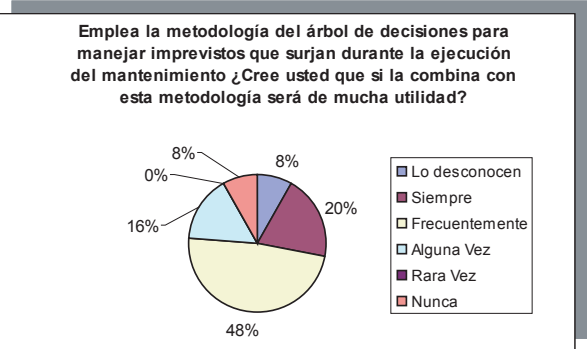
A pesar de que los encuestados consideran que los fallos son causados frecuentemente por algo que gente de mantenimiento no hizo (ver tabla 2 pregunta 14), los resultados indican que no se realiza un seguimiento constante de los trabajos de mantenimiento para evitar el fallo humano (ver tabla 2 pregunta 24). Esto puede deberse a que no cuentan con una metodología y/o modelo a través del cual puedan establecer un esquema de referencia; a través del cual, puedan atacar cada aspecto inherente a la confiabilidad en todo su conjunto.

Finalmente en la mayoría de las actividades humanas el entorno es descrito como una interacción **Hombre-Máquina-Entorno** (ver tabla 2 pregunta 9); esto hace que se considere la gran importancia que hay que atribuirle a la gestión de la Confiabilidad Humana, al tratamiento del factor humano y a la Confiabilidad de Activos. Pensando más allá y lo planteado en el modelo de confiabilidad humana (de este estudio), podríamos decir que en el presente y en el futuro deberá hablarse y pensarse en la **Confiabilidad Operativa**; la cual conjuga la confiabilidad técnica y confiabilidad humana de manera indisociable, sin descuidar la gran impulsora del rendimiento en el trabajo como lo es la motivación (ver tabla 2 pregunta 8).

El modelo de Confiabilidad Humana propuesto (ver figura 1) ha sido evaluado por la mayoría como un modelo que ayudaría a indagar más sobre la causa y la raíz de los problemas (ver gráfica 1) y al manejo de imprevistos al combinándose con un árbol de decisiones (ver gráfica 2). Con esto podemos decir que el modelo propuesto cumple con los objetivos de gestión de la Confiabilidad Humana y Confiabilidad Operativa.



Gráfica 1



Gráfica 2

6. LECCIONES APRENDIDAS

Pese a la gran importancia que amerita la atención de la confiabilidad humana existe un alto desconocimiento de las técnicas de confiabilidad y en ese mismo sentido no son empleadas como prácticas constantes.

Las técnicas de confiabilidad deben enfocarse a las condiciones de trabajo del hombre y no solo prestándole toda la atención a los aspectos técnicos. En este mismo sentido para mitigar los fallos o errores humanos hay que ahondar más en las causas que los originan considerando los aspectos técnicos, tiempo de ejecución de las actividades y sus condiciones de ejecución basados en los aspectos de fatiga física y mental, en la memoria y la motivación.

El modelo de confiabilidad humana propuesto promueve la organización aguas abajo de la función del mantenimiento a través de la integración **Operario - Sistema - Estrategia**, procedimientos de mantenimiento de activos, estrategia y gestión de datos; así mismo, considera el seguimiento constante de los trabajos de mantenimiento para mitigar el fallo a través de una efectiva comunicación operario, director y empresa (ver figura 1).

Para la etapa de la búsqueda de soluciones la integración grupal que se logre durante la realización de esta fase, propiciará condiciones favorables para la búsqueda de soluciones, y además dará como resultado problemas más concretos y de fácil solución, provocará que todos los integrantes del grupo estén convencidos de la existencia de ellos, los vean como resultado de su propio análisis y se sientan comprometidos a buscar soluciones

“Hay que llevar la estrategia a la acción...”

11. REFERENCIAS

Amendola L., Depool T., [2005]. “Modelo de Confiabilidad Humana en la Gestión de Activos”. VII Congreso de Confiabilidad, Asociación Española de la Calidad, Madrid. España.

Amendola Luis., [2002]. “Modelos Mixtos de confiabilidad”. Publicado por Datastream. www.mantenimientomundial.com.

Davenport, T.H., Prusak, L. [1998]. Working Knowledge. Boston: Harvard Business School Press.

Embrey D., [2000]; Performance Influencing Factors (PIFs), Human Reliability Associates Ltd.

Embrey D., [2000]; Task Analysis Techniques, Human Reliability Associates Ltd.

Edvinsson L., Malone M. S. [1999]. El Capital Intelectual. Cómo identificar y calcular el valor de los recursos intangibles de su empresa. España: Gestión 2000.

Fonseca D.J., Knapp. G.M., [2000], An expert system for reliability centered maintenance in the chemical industry, Expert Systems with Applications 19, 45–57.

técnicas y económicamente acertadas, para lograr una confiabilidad operacional óptima (confiabilidad humana y técnica).

7. PROPUESTA

Debemos promover el uso y aplicación de la confiabilidad operacional que es lo que demanda las necesidades recogidas en este estudio, hacer una simbiosis indisociable entre la **Confiabilidad Técnica y la Confiabilidad Humana**. Las tragedias que escuchamos día a día siempre terminan con una frase en común **“si hubiésemos sabido que esto ocurriría, hubiésemos actuado”**. Debemos comenzar a hablar en presente y futuro **“tenemos que hacer esto... o si no...”**.

Las estrategias de confiabilidad operacional deberán ser alineadas a la estrategia de la empresa basado en la integración grupal, para ello proponemos la implementación del modelo propuesto de confiabilidad humana el cual considera todos estos aspectos.

8. TRABAJOS FUTUROS

Implementar el modelo a nivel industrial a mediano plazo; lo cual, involucra la definición de los pasos a seguir para su implementación, las mejores prácticas alineadas a las necesidades detectadas en la industria y las herramientas recomendadas.

9. CONCLUSIONES

La aplicación del modelo de gestión de confiabilidad humana dependerá en gran medida de la estrategia que se haya formulado para que claramente responda a los objetivos de la organización.

Hillson, D., [2003], Decisiones Decisiones, www.risk-doctor.com.

Latorella K. A., Prabhu. P. V., [2000], A review of human error in aviation maintenance and inspection, International Journal of Industrial Ergonomics 26, 133-161

Shailendra K. Gupta and John E. Paisie, [1997], Sun Oil Company Turnaround Scope Development Through Reliability, Availability and Maintainability Analysis NPRA Conference.

Sträter O., Bubb. H., [1999], Assessment of human reliability based on evaluation of plant experience: requirements and implementation. Reliability Engineering and Systems Safety 63 199–219

Vanderhaegen F., [2001], A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method — application to railway system, Reliability Engineering and System Safety 71, 1–13.

Implantación y Gestión de Mantenimiento Preventivo en la industria química a través de RCM.

Marc Gardella González (1)
Ingeniero Industrial "KAO Corporation, S.A."
Doctorando, Universidad Politécnica de Cataluña
mgardella@kao.es
Dr. Eduard Egusquiza Estevéz (2)
Catedrático de Mecánica de Fluidos
Univerisdad Politécnica de Cataluña



Resumen: El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), es un método que analiza e identifica las principales causas de fallos en equipos de instalaciones industriales. En determinadas circunstancias resulta, difícil de implantar y aplicar en una industria con elevadas presiones productivas y mucha diversidad tecnológica. Por tanto, se pretende reflejar una sistemática para establecer una planificación de la actuación de Mantenimiento; a través, de la implantación personalizada del método RCM en industrias químicas. La figura muestra las diferentes etapas que se deben seguir para tipificar las incidencias que aparecen en la operativa diaria de una empresa industrial y como solucionarlas con el menor número de recursos consumidos.

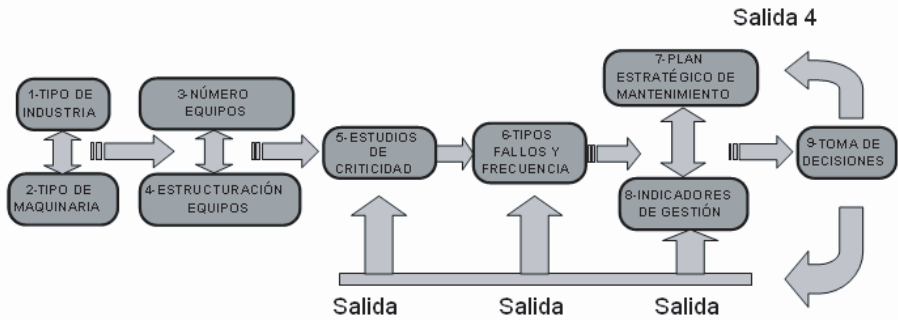


Figura resumen: Etapas de implantación Mantenimiento Preventivo

1. INTRODUCCIÓN. TIPO DE INDUSTRIA

Se quiere plantear un sistema de análisis de causas y frecuencias de fallos, criticidades e indicadores de gestión, que sea el motor de una implantación óptima de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en plantas químicas.

2. TIPO DE MAQUINARIA

Los equipos que interactúan en una Planta Química se agrupan en varias familias, en función de la similitud de características constructivas, funcionales y comportamientos frente a causas de fallos. Esta agrupación de familias es la base para el desarrollo de la implantación, ya que en ellas existe un mayor grado de fiabilidad de comparación de frecuencia de fallos, detectabilidades, comportamientos físico-químicos y en consecuencia intervenciones de Mantenimiento. Los grupos de máquinas son los siguientes:

- I – MÁQUINAS ROTATIVAS: agitador, bomba, compresor, ventilador,...
- II – INTERCAMBIO CALOR: Intercambiador de calor, condensador, caldera, frigorífica, columna destilación,...
- III – DEPÓSITOS: tanque, reactor, tolva, recipiente,...
- IV – TRANSPORTE: cinta transportadora, husillo, polipasto,...
- V – VALVULERÍA Y OTROS: Válvula de respiración, mirilla, apagallamas,...
- VI – AUXILIARES: eyector, atomizador, filtro, detector metales,...
- VII – MÁQUINAS DE SERVICIO: escamadora, secadora, pastilladora,...
- VIII – INDICADORES DE VARIABLES DE ESTADO
- IX – VÁLVULAS CONTROLADORAS: Válvulas control lazo temperatura, presión, nivel, caudal,...

CONFIABILIDAD

3. NÚMERO DE EQUIPOS

El número de equipos escogidos es función de la criticidad de los activos de la industria; así como, del nivel mantenimiento deseado.

4. ESTRUCTURACIÓN DE EQUIPOS

En la Figura 4.1 se puede observar una forma de seleccionar los equipos por sectores o zonas físicas dentro del Centro Industrial de estudio. Cada uno de los sectores o zonas dan servicio a las plantas de proceso que generan la producción de los productos. Es en la zona de oficinas donde se gestiona todas las interacciones entre sectores, para dar sentido a la actividad empresarial de una industria química.

La Figura 4.2 indica otra forma de organizar los activos que se desean estudiar y es haciéndolo a través de las diferentes tecnologías existentes. Las diversas tecnologías dan servicio a los reactores e intercambiadores de calor que es donde se producen las reacciones y procesos químicos.



Figura 4.1 Organización de Activos. Sectores

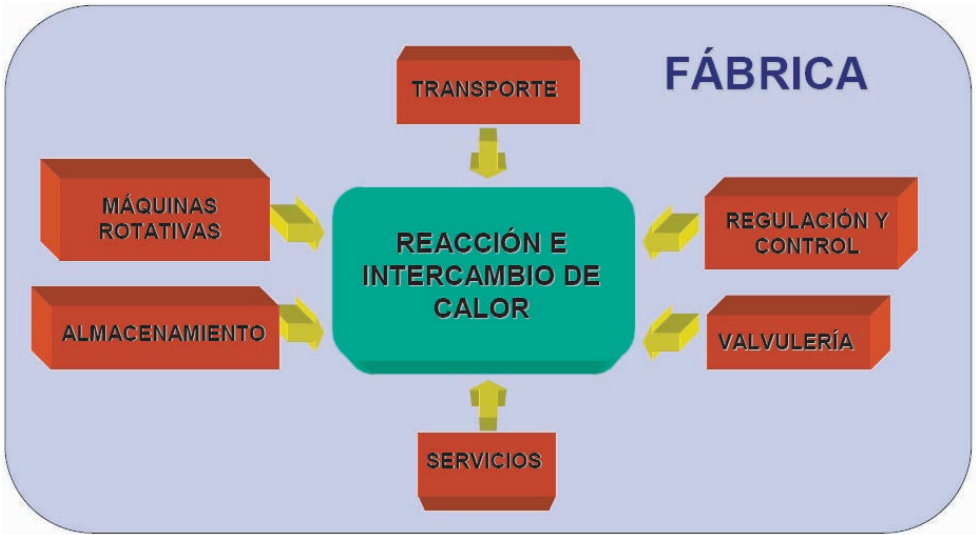


Figura 4.2 Organización de Activos. Tecnologías

5. ESTUDIO DE CRITICIDADES

El estudio de criticidades de equipos es esencial para estructurar y establecer la estrategia de la actuación de un Departamento de Mantenimiento. Con este análisis se puede determinar las prioridades en la utilización de los recursos humanos y tecnológicos; así como, el nivel de dedicación de los mismos, con el objetivo de optimizar tanto los costes del Departamento de Mantenimiento, como los de los Departamentos que interrelacionan con él, como Producción, Calidad, Seguridad, Compras, Ingeniería, etc. El propósito común en una industria de fabricación continua, es el mínimo de paradas de las plantas al mínimo coste posible; para llegar a la máxima eficiencia.

5.1- Cálculo de Criticidades según Características de los equipos

Este método consiste en definir una cantidad de características que tienen los equipos y ponderar su criticidad. Estas características son de todo tipo, desde geométricas hasta comerciales, pasando por productivas. El listado del Tipo de Características es el siguiente:

- 1- Tipo de equipo: reactor, bomba, intercambiador de calor, caldera, ...
- 2- Tipo de proceso: hidrogenación, destilación, depuradora, ...
- 3- Fluido con el que trabaja: hidrógeno, amoniaco, vapor, agua,...
- 4- Características técnicas: volumen, presión, caudal, temperatura,...
- 5- Características funcionales: batch, continuo, horas / año, ...
- 6- Características legales: ATEX, ISO:9000, ISO:14000, ISO:18000,...
- 7- Características económicas: valor producto, precio equipo, coste mantenimiento, coste insatisfacción cliente, ...
- 8- Intercambiabilidad: hay recambio, no hay recambio, intercambiable, ...

Cada uno de estos Tipos de Características se desglosa en una serie de características o variables propias de los equipos de estudio. El objetivo final es calcular la Criticidad de una cantidad de equipos críticos y ver cuál es el orden de criticidad de los mismos.

Si se agrupan todas las variables de los Tipos de Características se puede llegar a extraer una ecuación empírica del comportamiento de la Criticidad de dichas variables. Con ello podemos conseguir diseñar un modelo matemático para cuantificar las Criticidades de las variables de los diferentes equipos que forman el Centro Industrial de estudio. Véase ecuación 5.1

$$Y_{EXPONENCIAL} = 506,38 \bullet e^{-0,0146X} \tag{5.1}$$

Ajustando la tendencia Exponencial, resulta la ecuación empírica 5.2.

$$Y_{EXPONENCIAL_MODELADA} = 460 \bullet e^{-0,0141X}$$

(5.2)

6. TIPOS Y FRECUENCIAS DE FALLOS

6.1. Frecuencia de fallos

En la propia operativa de utilización de la herramienta R.C.M., surge la necesidad de poder agrupar los órdenes de magnitud de las frecuencias de fallos por equipos. Esto es debido a que un fallo en una línea de montaje en una empresa manufacturera, ya sea la mala colocación de un componente en una base para introducirle otro componente y realizar así el montaje de una pieza, puede suceder del orden de 4 a 10 veces al día, pero la fuga de la placa de un haz tubular de un intercambiador de calor de una empresa energética, puede suceder 1 vez en 10 años. Con lo cual cosa, la diferencia de frecuencia de fallos es abismal. Según la frecuencia de sucesos que ocurran en un grupo de máquinas se da el valor de 1 a 10, siendo éste uno de los tres términos multiplicativos del N.P.R. (Número de Ponderación del Riesgo).

6.2. Tipos de fallos

Es costoso en tiempo analizar desde el principio y máquina por máquina las causas de fallos que se producen. Por ello, si se realizan unos análisis de causas de fallos de varias máquinas, que puedan corresponder a cada uno de los grupos, se puede estar en disposición de haber analizado la mayor parte de todas las causas de fallos que puedan ocurrir en un Centro Industrial. Solo es necesario agruparlas, y ponderar su frecuencia de fallo y detectabilidad por máquina.

7. PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO

7.1. Matriz de decisiones

Una vez analizados las causas y los efectos de las causas de fallos provocados en máquinas e instalaciones y ponderado el riesgo, el Departamento de Mantenimiento debe realizar un plan estratégico para prevenir dichas causas y reducir así la probabilidad de provocar esas causas de fallos que derivan en efectos no deseados. Lo que se pretende es prevenir el efecto y que las repercusiones en Seguridad, Medio Ambiente, Calidad del Producto, Indisponibilidad de instalaciones por paradas de máquinas (Producción) y Mantenimiento realizado, sean las mínimas.

CONFIABILIDAD

La Figura 7.1 muestra un plan de Mantenimiento que se debe realizar a cada máquina de instalaciones de una Planta Química. La tabla está dividida por tipos de Mantenimientos, en cada uno de los cuales se tipifican las intervenciones que se pueden realizar y según corresponda a cada máquina se indica con un número y una letra que señala la frecuencia de actuación. El número indica la cantidad de periodos temporales definidos por letras que deben transcurrir entre cada intervención de Mantenimiento. Por tanto, se tiene que por ejemplo 6M, se realiza una actuación cada 6 meses.

Para llegar a conocer el coste anual de Mantenimiento Preventivo del Centro Industrial donde se implanta, a través de las rutas por plantas, se debe consultar la ecuación 7.1.

Coste_{TP} = \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N C_{ij}^P \cdot FA_i \tag{7.1}

Donde:
Coste_{TP} = Coste total de Mantenimiento Preventivo por plantas
N = Número de frecuencias de actuación (semanal, mensual, bimestral, trimestral, etc.)
T = Número de plantas
FA_i = Número de actuaciones anuales por frecuencia
C_{ij}^P = Coste de la Ruta de Mantenimiento Preventivo de una frecuencia y planta dada.
Se calcula con la ecuación 7.2.

C_{ij}^P = \sum_{m=1}^X \left(CI_m \cdot \sum_{l=1}^W E_{lm} \right) \tag{7.2}

Siendo:
X = Número de intervenciones de Mantenimiento Preventivo
W = Número de equipos por planta
CI_m = Coste de Intervención
E_{lm} = Valor 0 o 1 en el caso de que para la intervención y el equipo dado no se deba o si se deba actuar, respectivamente.

TIPO MANTENIMIENTO	NPR CRÍTICO		I- MÁQUINAS ROTATIVAS										II-INTERCAMBIO CALOR										
			II-INTERCAMBIO CALOR																				
	ACTUACIÓN		Soplante	Ventilador	Agitador	Mezclador	Bombas	Compresores	Bombas de Vacío	Intercambiador de Calor	Condensador	Reboller	Torre Refrigeración	Estufa Vapor	Estufa Aire	Caldera Aceite	Caldera Vapor	Frigorifica	Climatizador	Columna Destilación	Scrubber	Columna Intercambio	
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	ELÉCTRICO	Medición del aislamiento del devanado	6M	6M	6M	6M	4M	4M	6M				6M					4M	6M				
		Verificar consumo eléctrico	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M				3M					3M	3M				
	MECÁNICO	Análisis amplitud de impulsos de choque	2M		2M		2M	2M					2M						2M	2M			
		Análisis amplitud de vibraciones (ISO2372)	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M				2M						2M	2M			
		Análisis frecuencial de vibraciones			4M		4M	4M					6M						6M	6M			
		Análisis de aceite	3M		3M			3M	3M	3M			6M						6M	6M			
		Comprobación presión manómetro	1M				1M	1M	1M		1M	1M	1M		1M	1M	1M	1M			1M	1M	1M
		Ferrografía en análisis de aceite			6M			6M											3M	3M			
		Medición consumo	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M				3M						3M	3M			
		Medición de temperatura			3M		3M				2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M
Medición del salto térmico									2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M	2M		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN	INSTRUMENTACIÓN	Inspección según ruta de calibraciones																					
		Alineación ejes	6M				4M	6M	6M										6M	6M			
	MECÁNICO	Análisis de aceite			6M			6M					6M						6M	6M			
		Chequeo actuación válvula								3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M
		Comprobar presión manómetro	1M				1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
		Comprobar temperatura			3M		3M			3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M
		Equilibrado del rodete					2A																
		Inspección auditiva de ruidos	1S	1S	1S	1S	1S	1S	1S				1S						1S	1S			
		Inspección estroboscópica			6M	4M																	
		Inspección por ultrasonidos								4M	4M	6M		5M	5M	5M	5M			5M	5M	5M	
		Inspección presión de sello								6M	6M	6M		6M	6M	6M	6M			6M	6M	6M	
		Lubchecker	2M	3M	1M	3M	1M	1M	1M				2M						2M	2M			
		Medición presión	2S				2S	2S	2S	2S	2S	2S		2S	2S	2S	2S	2S	2S		2S	2S	2S
		Verificar alineación					3M	3M	3M														
		Verificar estado de rodete					1A																
		Verificar estado de eje	1A		1A		1A	1A	1A				1A						1A	1A			
		Verificar fugas								2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S	2S
	INSPECCIÓN DE CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE CIRCUITO		3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M	3M
	INSPECCIÓN VISUAL		4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D	4D
		INSPECCIÓN	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M

Figura 7.1- Matriz de Decisiones

Sustituyendo 7.2 en 7.1, queda el coste total por plantas en la ecuación 7.3.

Coste_{TP} = \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N \left(\sum_{m=1}^X \left(CI_m \cdot \sum_{l=1}^W E_{lm} \right) \right)_{ij} \cdot FA_i \tag{7.3}

8- INDICADORES DE GESTIÓN

Para poder configurar unos indicadores que muestren los costes de mantenibilidad de los equipos, es necesario construirlos desde la base de número de incidencias por equipo y coste del mismo. En el ejemplo que se trata, el número de intervenciones total en el año 2005 de todos los tipos de equipos de estudio, se puede observar en la ecuación 8.1.

$$I = \sum_i^N \sum_j^S \sum_k^T \sum_l^U I_{ijkl} = 10211 \text{ incidencias} \tag{8.1}$$

- Siendo:
- I = Número de incidencias ocurridas en una planta industrial
 - N= Tipos de equipos de la planta de estudio
 - S= Equipos de la planta
 - T= Tipos de incidencias
 - U= Incidencias ocurridas en un equipo dado

I valdrá 0 ó 1 según haya ocurrido ó no incidencia del tipo de incidencia y del equipo en concreto. Dicho de otro modo, si existe OT (orden de trabajo) del tipo de incidencia y tipo de equipo dado aparecerá 1, sino 0.

La ecuación 8.2, indica el coste de mantenibilidad de todos los tipos de equipos por todos los tipos de incidencias estudiados.

$$C = \sum_i^N \sum_j^S \sum_k^T \sum_l^U C_{ijkl} = 2025432,04 \text{ euros} \tag{8.2}$$

- Siendo:
- C = Coste de mantenimiento de las incidencias ocurridas en una planta industrial
 - N= Tipos de equipos de la planta de estudio
 - S= Equipos de la planta
 - T= Tipos de incidencias
 - U= Incidencias ocurridas en un equipo dado

La Figura 8.1 muestra el número de actuaciones que se han realizado en las diferentes tipos de intervención, para dar servicio a las máquinas de los diferentes tipos de equipos de estudio.

NÚMEROS DE INCIDENCIAS MANTENIMIENTO 2005															
EQUIPOS	INSTRUMENTACIÓN	SALTA TÉRMICO	GENÉRICO ELÉCTRICO	ILUMINACIÓN	SERVICIOS	GENÉRICO MECÁNICA	FUGA GIERRE	FUGA JUNTA	LUBRICACIÓN	REVISIÓN PLANIFICADA	TAPONAMIENTO	BOMBA CLAVADA	AYUDAS A PRODUCCIÓN	SEGURIDAD	SUMA TOTAL INCIDENCIAS
I AGITADOR	0	29	15	0	0	40	9	1	26	3	0	1	0	0	124
I BOMBA	724	728	66	2	0	795	165	144	256	330	10	7	13	9	2874
II CALDERA	44	5	103	9	0	35	0	5	1	16	0	0	0	2	323
II COLUMNA DESTILACIÓN	38	1	5	3	17	54	1	24	5	32	3	0	1	0	241
II FRIGORÍFICA	0	2	35	0	0	4	0	0	0	6	0	0	0	0	47
II INTERCAMBIADOR	30	0	2	1	2	169	0	113	0	48	14	0	1	3	380
II SCRUBBER	7	4	1	0	0	15	0	7	0	1	6	0	0	0	41
III DEPÓSITO	5	12	1	0	0	35	1	10	2	1	0	0	2	0	103
III REACTOR	347	23	7	103	0	1017	15	210	178	151	41	0	4	7	2016
III TANQUE	127	70	15	4	0	1403	3	73	0	160	37	1	1	0	1958
IV POLIPASTO	0	2	0	0	0	10	0	0	0	13	1	0	0	0	26
VI FILTRO	17	4	4	10	9	284	0	23	4	0	1	0	2	0	358
VI INSTRUMENTACIÓN	371	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	871
VII BARREDORA	0	12	0	0	0	11	0	0	0	0	0	1	0	0	24
ROUTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323	0	0	0	0	825
TOTAL	1590	892	299	135	28	4042	194	645	472	1746	113	10	24	21	10211

Figura 8.1 Número de incidencias de mantenimiento

CONFIABILIDAD

9. TOMA DE DECISIONES

Se muestra unas tablas (Mapping's) de los puntos críticos de mantenibilidad de equipos en una planta química. Los puntos críticos, son aquellos donde la cantidad de incidencias ocurrido o el coste asignado para mantener el equipo, son muy elevados. En la figura 9.1 se puede observar una tabla de cantidad de incidencias por tipos de incidencias ocurridas por las diferentes bombas. Este balance es referido al año 2005. Con él, se puede ver donde hay que concretar los esfuerzos para solucionar los problemas de mantenimiento en la planta de estudio.

INSTRUMENTACIÓN	SALTA TÉRMICO	GENÉRICO ELÉCTRICO	ILUMINACIÓN	SERVICIOS	GENÉRICO MECÁNICA	FUGA CIERRE	FUGA JUNTA	LUBRICACIÓN	REVISIÓN PLANIFICADA	TAPONAMIENTO	BOMBA CLAVADA	AYUDAS A PRODUCCIÓN	SEGURIDAD	Nº ORDEN	TOTAL INTERVENCIONES	EQUIPOS
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	64	1	P-064
2	2	1	0	0	12	22	3	1	6	0	0	0	0	65	49	P-065
1	2	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	66	12	P-066
12	0	0	0	0	14	5	1	31	0	0	0	0	0	67	63	P-067
2	0	0	0	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0	68	17	P-068
0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	69	6	P-069
1	1	2	0	0	7	5	3	2	5	0	0	0	0	70	26	P-070
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	71	1	P-071
1	1	1	0	0	8	2	0	26	0	0	0	0	0	72	39	P-072
0	1	4	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	73	12	P-073
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	74	3	P-074
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	75	1	P-075
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	76	2	P-076
0	0	0	0	0	5	11	3	1	0	1	0	0	0	77	21	P-077

Figura 9.1 Mapping de incidencias de Bomba

10. BIBLIOGRAFÍA

Gardella González, Marc [2005-2006]. Mejora del método RCM a partir del AMFEC en Industrias Químicas. *Ingeniería y Gestión de Mantenimiento*, vol. 44, 45 y 46.

Grupo Mantecnología - Ingeniería de Planta S.L., Seminario de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad R.C.M. para KAO Corporation, S.A. 2004.

Moubray, J., Reliability Centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.

Dekker, R. [1996]. "Applications of maintenance optimization models: a review and analysis". *Reliability Engineering and Systems Safety*, vol. 51, no. special issue on maintenance and reliability, pp. 229-240.

Sherwin, D., "A Review of Past and Current Overall Models for Maintenance Management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, MCB University Press, 2000.

Nakajima, S. [1998]. Introduction to TPM Productivity Press, Cambridge, MA.

CONFIABILIDAD

Confiabilidad y Curvas de Conocimiento

Ing. Lourival Augusto Tavares
Consultor Internacional de Asset Management

Confiabilidad es la probabilidad de que un ítem realice satisfactoriamente las funciones requeridas, bajo las condiciones especificadas y dentro de un periodo de tiempo definido.

La pérdida de confiabilidad, o sea la "Falla de la Funcionalidad" puede ocurrir bajos dos posibilidades: Consecuencia de las pérdidas crónicas y consecuencia de las pérdidas mayores (pérdida esporádica).

Normalmente las pérdidas crónicas (o pérdidas menores) se acumulan a lo largo del tiempo hasta llevar a una falla de funcionalidad mientras que las pérdidas mayores (o pérdidas esporádicas) generan una pérdida inmediata de funcionalidad haciendo que los equipos de operación, mantenimiento e ingeniería se ocupen de su eliminación.

En los dos casos existe incremento de costos directos e indirectos

Una vez que las pérdidas crónicas normalmente solo son posibles de identificar con quiebra de paradigmas, es donde las curvas de conocimiento pueden auxiliar a los ingenieros, técnicos y consultores en el proceso de investigación de sus causas y así lograr, a través de un proceso de investigación permanente reducirlas o eliminarlas.

La curva de conocimiento es un proceso natural de investigación donde uno empieza a desarrollar una idea, un proyecto, un método, un sistema, un equipo, o una propuesta cuyo desarrollo en el inicio es lento debido a novedad del tema.

En la medida que el tema es conocido ese desarrollo ocurre de forma más rápida y en corto tiempo se logra alcanzar unos 80 a 90% de

su conclusión. Luego, cuando prácticamente ya se logró dominar casi todas las variantes del tema, nuevamente el desarrollo se torna lento y el avance hasta su complementación ocurre en largo tiempo.

Personas ilustres que estudiaron el tema de las curvas de conocimiento, como Peter Durcker, Edward Deming y Joel Barker sugieren que cuando la curva de conocimiento está en su segunda fase, o sea, cuando el desarrollo ocurre de forma rápida, ya se debe considerar el tema como obsoleto y empezar a desarrollar uno nuevo con el conocimiento adquirido hasta entonces. A esto llaman "salto tecnológico".

Lo que se debe hacer es dirigir correctamente el cambio, es decir, planificar, organizar, implementar y controlar. Eso implica entre otras cosas, entender y seguir unas reglas bastante simples:

- 1) Todo nuevo producto, proceso, servicio o método empieza a volverse obsoleto desde el momento de su implementación;
- 2) Es mejor ser uno mismo quien vuelva obsoletos sus propios productos, servicios o métodos, que esperar a que la competencia quien lo haga;
- 3) Los objetivos de una investigación deben tener, básicamente, las siguientes características:
 - Ambiciosos
 - Compatibles y equilibrados a corto, medio y largo plazo
 - De abandono sistemático
- 4) Los resultados de la investigación deben medirse y, en caso de que sea imposible una medición cuantitativa, por lo menos hay que juzgar o evaluar cualitativamente cómo lo estamos haciendo.

CONFIABILIDAD

CONFIABILIDAD

El análisis de confiabilidad utilizando las curvas de conocimiento involucran las condiciones donde los ítems están asociados bajo la forma de seria, paralela o redundante y cuando poseen características similares o diferentes.

Se puede definir una proacción como toda actividad de mejora, visión y/o ejecución que prevenga fallas humanas, de equipos y de procesos o que atenúa la consecuencia de una falla.

Para lograr una proacción debemos predecir de que manera nuestras máquinas están fallando o pueden llegar a fallar.

Teniendo conocimiento de los modos de falla, podemos tomar medidas para evitar estos eventos y desarrollar señales tempranas de advertencia de los hechos inminentes.

Lo que generalmente falta son estándares aceptables de desempeño y cómo lograrlos, el TPM nos puede auxiliar con sus métodos.

Se puede caracterizar la proacción bajo tres aspectos: Técnico, Humano y de Proceso.

Proacción Técnica

Los líderes están utilizando normas que les permiten obtener seis años promedio de vida útil a sus equipos, en vez de los dos años que generalmente se considera aceptable. Para entender cómo lograr este estándar de nivel, examinemos los conceptos vitales que realizamos para poner lograr este resultado.

Hace más de cincuenta años fueron definidos los indicadores de gestión de equipos para gestión de calidad - el TMEF y el TMPR pero, todavía hasta hoy día estos indicadores no son utilizados en todo su potencial por algunas empresas.

Proacción Humana

La Proacción Humana comienza inculcando paradigmas productivos. Para lograrlo, necesitamos conocer algo sobre los paradigmas. En el libro "Paradigmas" Joel Baker los define de forma tanto en sus causas como en sus efectos.

La mayoría del personal de campo está convencido de que el interés primario de la gerencia es evitar y responder a las fallas mayores, no a las crónicas. Esto es, por supuesto, el resultado de centrarse en las fallas mayores sin un enfoque equilibrado sobre las fallas que se repiten.

La implementación de las 5S puede ayudar a cambiar las actitudes de los mantenedores y operadores

Proacción de Procesos

Una vez que los parámetros de desempeño son definidos, en general en términos de cantidad, calidad o costo, necesitamos definir la brecha entre los ejemplares y los promedios.

Es probable que se necesite más de una forma de medición. También es probable que, al reflexionar, encontremos que los parámetros que buscamos, actualmente no se miden

Si este fuera el caso, será necesario fijar los medios para medir la brecha del desempeño.

Dentro los medios para medir la brecha del desempeño está el análisis de los cuatro cuadrantes de confiabilidad frente a mantenibilidad.

La tendencia es centrar nuestra atención en las actitudes y también darnos cuenta en lo difícil que es influir directamente en las actitudes.

Luego nos enfocamos en el análisis de las razones que originan la brecha y en el desarrollo de estrategias para cerrarla.

Estas estrategias incluyen capacitación, herramientas, ayudas, programas de reconocimiento, refuerzo en el campo de métodos aprendidos, como también, cambios en el sistema de gerencia.

Los cambios en el sistema de gerencia pueden incluir: acelerar el sistema de toma de decisiones, la instalación de mecanismos de feedback, y/o auditorías en el campo, por mencionar algunos.



Lourival Tavares: Ingeniero Electricista, formado por la Escuela Federal de Ingeniería de Río de Janeiro, en el año 1967. Es Gerente general de PTC - Planeamiento, Entrenamiento y Consultoría Ltda., especializada en organización y desarrollo de proyectos para pequeñas, medianas y grandes empresas nacionales y extranjeras particularmente como consultor y asesor de Análisis y Diagnóstico del área de mantenimiento. Fue Director nacional de ABRAMAN (Asociación Brasileña de Mantenimiento) en dos mandatos. Ex-Presidente del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros. Hace más de 20 años, viene participando en Seminarios, Mesas Redondas y Congresos de Mantenimiento nacionales e internacionales. Tiene varios trabajos y libros publicados, que son usados como referencia para desarrollo de temas sobre el asunto por profesionales del área en Seminarios y Congresos nacionales e internacionales.

Antonio José Fernandez Pérez

Iberdrola Ingeniería y Construcción S.A.U
 Departamento de Puesta en Marcha
 Garantías y Servicios Técnicos de Apoyo a Explotación

1.- ¿Cómo percibe la tendencia de la confiabilidad en la industria española?

Aunque todavía queda mucho camino por recorrer, aprecio algunos detalles que me hacen ser optimista en cuanto al desarrollo y aplicación de la Ingeniería de Confiabilidad en España. Como signos positivos que detecto en mi entorno me gustaría señalar los siguientes:

- Incremento del número de personas que en las empresas y universidades están realizando tesis doctorales o proyectos fin de carrera en el área de la Confiabilidad.

- Aumento de la oferta de cursos de postgrado en Ingeniería de Confiabilidad por universidades y organizaciones de prestigio.

- Consolidación del Comité de Confiabilidad de la Asociación Española de la Calidad (AEC) y del Grupo GT-56 "Confiabilidad" de la Asociación Española de Normalización (AENOR).

- Mayor participación de especialistas españoles en organizaciones internacionales (ESRA, ESReDA, IEEE, etc.) y creación del Capítulo Español de la Asociación Europea de Fiabilidad y Seguridad (ESRA).

- Consolidación de direcciones web en español con temática de Confiabilidad, tal es el caso de www.pmmlearning.com o www.confiabilidad.com.

- Incremento del número de artículos publicados sobre Ingeniería de Confiabilidad en las revistas técnicas españolas.

- Alta demanda de servicios de optimización del mantenimiento de instalaciones industriales mediante la

aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) y la implantación de sistemas de retorno de la experiencia operativa mediante la utilización de indicadores de Confiabilidad.

- Mayor visualización en las empresas de la importancia de la contribución del Departamento de Mantenimiento a la maximización de la eficiencia de la explotación de las instalaciones e infraestructuras, avanzando en su transformación hacia un Departamento de Gestión de Activos Físicos.

- Mayor exigencia a la ingeniería por parte del propietario de la instalación para el cumplimiento de requisitos relacionados con la Confiabilidad y la eficiencia de la explotación.

En mi opinión, este último aspecto es uno de los más importantes para el desarrollo de la Ingeniería de Confiabilidad. Todavía el diseño de las instalaciones, en muchos casos, no contempla la aplicación sistemática de técnicas y análisis de Confiabilidad para su optimización, basándose exclusivamente en la experiencia e intuición.

2.- ¿Cuáles son las áreas a mejorar en la industria española para alcanzar una alta confiabilidad de activos?

Como he señalado anteriormente, para mí, el mayor punto débil se encuentra en la consideración de criterios y métodos de análisis de la Confiabilidad en la fase de diseño. Evidentemente, no es la misma situación en todos los sectores, algunos como el de automoción, aeronáutico o electrónico ya contemplan esta cuestión

desde hace mucho tiempo, aunque bien es cierto que más empujados por motivaciones relacionadas con la Seguridad que con la Disponibilidad de los dispositivos y sistemas.

Noto mucha mejoría en el área de explotación. Aquí, la estrella es la optimización del mantenimiento que se está considerando como el medio más apropiado para la maximización de la eficiencia de la explotación de las instalaciones ya construidas.

En mi opinión, la cuestión fundamental para el desarrollo de la Ingeniería de Confiabilidad es que la Propiedad de las instalaciones, sistemas y equipos establezca requisitos de Disponibilidad para sus dispositivos en sus peticiones de oferta, exija la demostración de la Confiabilidad requerida y establezca los medios apropiados para la evaluación y el seguimiento de la eficiencia de la explotación de sus dispositivos mediante indicadores de Confiabilidad y coste.

3.- ¿Cree usted que los programas de formación de ingenieros contemplan asignaturas de confiabilidad?

En lo que yo conozco, la Ingeniería de Confiabilidad sigue siendo un tema de postgrado. Muy pocas universidades contemplan asignaturas específicas y exclusivas de Confiabilidad en sus programas de estudios reglados, aunque también se está avanzando en esta área poco a poco. Quizás, la nueva reestructuración de las carreras universitarias planteada por los acuerdos de

Bolonia pueda modificar algo esta situación.

4.- ¿Qué recomendaciones daría usted para potenciar los programas de estudios?

El desarrollo de la Sociedad será la que imponga la mayor o menor necesidad de programas de estudios, reglados o de postgrado, en Ingeniería de Confiabilidad.

En cualquier caso, yo creo que hay dos aspectos que son fundamentales a la hora de plantear cualquier curso de formación: la calidad del curso, tanto en lo que respecta a profesorado como al temario, y su facilidad de acceso o logística, es decir, horario, coste, información, documentación, disponibilidad de tutoría, etc.

La calidad, para mí, siempre será un elemento diferencial. Conseguida ésta, la consideración del resto de aspectos harán al curso aún más atractivo.

5.- ¿Cómo está España con respecto a otros países en material de confiabilidad?

En mi opinión, se debería avanzar mucho más en este tema ya que, la documentación que se utiliza, salvo honrosas excepciones, es de origen anglosajón. Es una tarea laboriosa, pero de gran valor para el desarrollo de la Confiabilidad en España y en Hispanoamérica. En este sentido, es digno señalar la labor que realizan los expertos del Grupo GT-56 de AENOR traduciendo las normas IEC sobre Confiabilidad.

PMM Institute for learning en Iberoamérica



PRESENCIA GLOBAL



1. Interact 2006
PMM con los Directores de MINCOM
Santiago de Chile.



2. Interact 2006
PMM Institute for Learning, patrocinador del
evento de Mincom
Santiago de Chile.



3. XVI Congreso Chileno de Mantenimiento
PMM Institute for Learning
Santiago de Chile, 2006.



4. XVI Congreso Chileno de Mantenimiento
Encuentro de los expertos de Confiabilidad como
Modelo de Negocio
Santiago de Chile, 2006.

PRESENCIA GLOBAL



5. SOUTHERN PERU
Consulting & Coaching Balanced Scorecard
Maintenance, PMM Institute for Learning.
Ilo - Perú.



6. PDVSA
Consulting & Coaching
Auditoria e Implementación Modelo de Gestión
Integrada de Activos, Gerencia Gas Asociado Tía
Juana. PMM Institute for Learning
Zulia - Venezuela



7. AEC Confiabilidad
VIII Congreso de Confiabilidad, 2006
Universidad Europea de Madrid
Expositores de Temas de Confiabilidad
PMM Institute for Learning



8. Homenaje
D. Gerardo Villanueva, Dr. Ingeniero en
Telecomunicaciones. Pionero de la Confiabilidad
en España.
Universidad Europea de Madrid
PMM Institute for Learning
Madrid - España



9. X Internacional Congreso on Project Engineering
Intercambio con especialistas de Argentina y
Colombia.
Expositores de temas de Project Management
Universidad Europea de Madrid
PMM Institute for Learning
Valencia - España



10. Asociación Española de Mantenimiento
Curso de Dirección y Gestión de Paradas de
Planta
Empresas Españolas
PMM Institute for Learning
Barcelona - España

Participa en nuestro programa de formación

2007

- Marzo 7-8
Gestión de Recursos en mantenimiento
- Abril 26 – 27
Gestión del Mantenimiento con Ms Project
- Mayo 16 – 17
Practicas y Estrategias de Mantenimiento Mayor con Ms Project “Overhaul”

Para mayor información entra en nuestra website www.pmmlearning.com

VALENCIA TE ESPERA...



Museo de las Ciencias Príncipe Felipe
Ciudad de las Artes y de las Ciencias
Valencia – España



Hemisfèric
Ciudad de las Artes y de las Ciencias
Valencia – España