



# Base de datos de confiabilidad, dirigido a la gestión del conocimiento y mitigación de riesgos

Por **Mario Troffé**

Skanska Servicios de Operación y Mantenimiento  
Process Owner Implementación SAP-PM

**E**n el ámbito del Mantenimiento, cualquiera sea la rama de la industria de que se trate, es habitual encontrar abundancia de especialistas con sólidos conocimientos y experiencia para resolver eficientemente problemas de campo. Sin embargo, existe una notoria falta de herramientas integrales para la gestión de la actividad que permitan orientar los esfuerzos y la aplicación de recursos, así como reducir los costos y el riesgo.

En general, no se reconoce en el Mantenimiento la importancia de la medición de resultados y del registro sistemático y ordenado de datos bajo un único criterio, como instrumento que permita su administración como un negocio. La falta de uso continuado de registros imposibilita establecer mecanismos de comparación de los indicadores con aquellos de clase mundial.

Se percibe falta de simplicidad y rigor en la recolección y registro de datos que permitan alimentar esos cálculos; elementos fundamentales para la administración y toma de decisiones.

El mercado tiene en existencia diferentes herramientas que, en teoría, permitirían resolver estos conflictos, pero que no plantean lo básico. Y esto es: ¿cómo administrar la información?, ¿qué datos guardar?, ¿cómo clasificarlos?, ¿cómo relacionarlos?, etc., de modo tal que los cálculos y análisis que se deriven de ellos no generen problemas adicionales de interpretación y reproducibilidad.

Asimismo, cuando se busca integrar estas herramientas con sistemas ERP, tales como SAP, la problemática que presenta el manejo de la información y su interrelación con otras áreas tales como finanzas, abastecimiento, control de proyectos, etc., asume fundamental importancia.

Si bien se encuentra bibliografía abundante y disponible en la que se dan guías acerca de estos temas, es notoria la falta de límites y criterios estrictos a adoptar para su uso e implementación en Operación y Mantenimiento.

## Pautas generales

El trabajo diario nos lleva a recomendar que la gestión de mantenimiento se base en herramientas que combinen las más modernas normativas con el almacenamiento de datos estadísticos que registren eventos y experiencias. Para el caso del análisis de confiabilidad, o fallas, se aplica una lógica basada en conceptos predefinidos por la norma ISO 14224 mediante un proceso estructurado en forma secuencial, limitado por las posibilidades de calificación y ponderación.

Mediante este mecanismo se puede:

1. Definir un plan de mantenimiento sustentable y optimizarlo haciendo uso eficiente de los recursos disponibles para el análisis.
2. Combinar herramientas y datos existentes para el estudio cuantitativo de la confiabilidad, con datos estadísticos del OREDA (*Offshore Reliability Data*).
3. Orientar y promover la participación en el análisis de técnicos y operadores de Mantenimiento, a través de una metodología relacionada con sus tareas operativas vinculadas con fallas funcionales e intervenciones sobre componentes de los equipos.
4. Obtener costos estimados y evaluar el costo del ciclo de vida bajo criterios y límites estrictamente definidos y acotados, pudiendo analizar tendencias y benchmarking.
5. Tener la posibilidad de analizar la sensibilidad de los riesgos (frecuencia de ocurrencia por consecuencias) en relación con los costos.
6. Disminuir los tiempos de análisis, comparado con otros métodos.
7. Llevar registros históricos con la misma metodología y lenguaje de confiabilidad.

## Antecedentes y definiciones

### RCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, útil para el desarrollo u optimización de un plan de mantenimiento, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial.

Analiza cada sistema y, como éstos pueden fallar funcionalmente, los efectos de cada falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación y el costo.

El objetivo principal es que los esfuerzos de mantenimiento estén dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que a los equipos mismos; esto implica que se debe conocer con gran detalle las condiciones que interrumpen o dificultan dicha función.

RCM es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. Su éxito depende, en gran parte, de la experiencia de los participantes como también de la posibilidad de contar con datos de tasas de fallas y períodos de ocurrencia registrados, información que, en el común de las plantas, es difícil de encontrar o elaborar. La división en sistemas y subsistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del equipo de análisis. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada modo de falla / causa de falla; sólo limitada por el grado de detalle con el que se realice el análisis.

En este sentido, la metodología RCM es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados que los tiempos para la implementación del método se extiendan en demasía.

### Norma ISO 14224

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de producción de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM /FMEA.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de los equipos y compararla con la de otros de características similares. Sus datos están volcados en el OREDA.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

- a) Especificar qué datos serán recolectados para el análisis de:
  - diseño y configuración del sistema;
  - seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y plantas;
  - costo del ciclo de vida;
  - planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.
- b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:
  - permitir el intercambio de datos entre plantas;
  - asegurar que los datos sean de la calidad suficiente para el análisis que se pretende.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de operación, como también la calificación de la jerarquía de las fallas.

Básicamente parte desde el modo de falla (pérdida de la función) hasta el detalle de la causa de falla y el componente que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el técnico de mantenimiento (y las que quedan para un especialista).

## FMEA

Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que generan las fallas de cada componente de un equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar su riesgo asociado. Sus objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, operación y mantenimiento de un equipo, a partir de los componentes.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Cuantificar riesgos y confiabilidad.
- Documentar el proceso.

## Consideración sobre FMEA / Norma ISO 14224

FMEA llega a los modos de falla partiendo de la supuesta falla de un componente. Considerando que los componentes son perfectamente identificables, la supuesta falla total o parcial de cada uno nos lleva directamente a todos los modos de falla potenciales (pérdida de la función).

Una tormenta de ideas en RCM *no* asegura que se identifiquen *todos* los modos de falla.

Los responsables de las pérdidas de funciones de los equipos (sistemas) son los componentes.

Si se identifican desde un principio los modos de falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan sistemas y subsistemas, componentes, mecanismos de falla, causas de falla, y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera alguna falla supuesta que afecte a las funciones del equipo. Lo mismo vale para el análisis de falla, salvo que en este caso se parte de una falla real y no supuesta.

Los operadores y mantenedores experimentados están muy familiarizados con las fallas funcionales y los componentes que las provocan.

Ésta es la base del método y sus ventajas.

## Estructuración de jerarquías previas al análisis con FMEA

Para contar con un método sistemático, se toman los criterios del RCM estructurando el análisis de la máquina en sus partes componentes; y dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle:

- Clases
- Sistema
- Subsistemas
- Componentes

Para mayor detalle puede consultarse la norma ISO 14224, donde se muestra cómo quedan perfectamente determinados los límites constituyentes de cada clase de equipo.

Esta división es primordial y de la mayor importancia, debido a que permite definir cómo se tratará a los equipos respecto a la posterior interpretación de los resultados.

## Clases de equipos

Se toma como base lo establecido en la norma ISO 14224.

A partir de la estructura presentada por ésta, acorde con un orden de jerarquía, se establecen cuáles son las clases de equipos (siendo éste el nivel más alto).

Las clases pueden ser asociadas a funciones, cada una en su contexto operacional; entendiendo por función, de acuerdo con la definición de RCM, a las razones por las cuales un equipo existe dentro del proceso.

Acorde con el glosario definimos como *clase* a un determinado tipo de equipo, por ejemplo:

Código	Clase. Descripción	Función
CE	Motor a combustión	Impulsar
CO	Compresor	Comprimir
CL	Unidad lógica de control	Controlar

## Sistemas

Bajo los conceptos de RCM / FMEA se considera *sistema* a un conjunto que realiza una función dentro del proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida. Para el caso de la norma, los sistemas quedan clasificados por:

- Tipos de equipos
- Aplicación

Así queda respondida la primera pregunta del RCM: ¿cuál es la función deseada y el estándar de performance en el presente contexto operativo?

Esta información debe estar compilada antes de comenzar el análisis para un equipo en particular. La ISO 14224 presenta un formulario genérico y específico para cargar las funciones específicas y así identificar los desvíos no permisibles de las condiciones de diseño.

Ejemplos de sistemas:

- Sistema de bomba centrífuga agua de inyección
- Sistema de bomba alternativa trasvase de petróleo

De la norma ISO 14224

Clase	Tipo de equipo		Aplicación	
PU Bomba	RO	Bomba rotativa	Extinción de incendios con agua	FF
	RE	Bomba alternativa	Inyección de agua	WI
	CE	Bomba centrífuga	Manipulación de petróleo	OH

## Subsistemas

Son aquellos equipos que posibilitan que el sistema realice su función operativa. Se pueden dividir por sus funciones específicas.



## Componente

La unidad final de la división es el componente, entendiendo como tal a las partes de los equipos sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento, con el objeto de alcanzar la confiabilidad deseada.

Analizado desde otro punto de vista, el componente es aquella parte en que su falla (crítica, incipiente o por degradación; ver OREDA) provoca una pérdida de la capacidad del sistema (calificadas en los modos de falla), para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un proceso.  
A modo de ejemplo se toma la bomba, vista desde la norma ISO 14224.

## Clasificación de las fallas. Modo de falla

Se toma cada componente y se analiza y determina cuáles son las pérdidas de funciones, en caso de que éste falle (en forma total o parcial).  
A diferencia del RCM, la norma ISO 14224 tiene predefinidos los modos de falla por clase de equipo, de esta manera:

- No se pierde tiempo definiendo las fallas.
- No se cae en la trampa de buscar o listar enormes cantidades de modos de fallas asociados a funciones principales y secundarias.

Se comienza calificando a la falla con el modo de falla, la cual está asociada a las funciones del sistema. Con esto queda contestada la segunda pregunta del RCM: ¿de qué forma puede fallar (no ser satisfactorias las funciones)?

Las tasas de fallas que se utilizan (frecuencia de ocurrencia) se toman para las fallas totales y las fallas por degradación e incipientes, relacionadas con cada componente (del OREDA). Es un criterio válido si se aceptan las condiciones de contorno aquí establecidas.

- La secuencia resumida del método es la siguiente:
- Elegir un componente, por ejemplo, sello (se obtiene de la tabla).

- Describir la falla supuesta.
- Elegir el modo de falla (se obtiene de tabla), y qué efectos provocaría, eligiéndolo de la tabla predefinida del tipo de equipo.
- Elegir el mecanismo de falla para este supuesto.
- Elegir la causa de la falla.
- Elegir la severidad de la falla, que se obtiene de tabla.
- Determinar el impacto en la operación (dependerá de la criticidad del equipo).
- Responder a la otra pregunta del RCM: ¿qué sucede cuando falla? La frecuencia de ocurrencia se toma del OREDA.
- Describir los potenciales efectos de la falla en forma cualitativa.
- Responder a la otra pregunta del RCM: ¿cuáles son las consecuencias de la falla?

El método es iterativo. Una vez definida la falla supuesta y el modo de falla, a partir del componente:

1. Se recorren todos los mecanismos de falla posibles para ese modo de falla definido a partir de la falla supuesta y el componente.
2. Para cada mecanismo de falla se recorren todas las causas de falla posibles.
3. Una vez completadas estas líneas se pasa a otro modo de falla.
4. Se cargan los campos de:
  - Severidad (puede usarse el número SAE), o directamente se refleja la severidad en la evaluación de costo.
  - Impacto (–norma ISO 14224– total, parcial o ninguno sobre la producción o el número SAE).

Una vez completados estos campos, que en su mayoría se obtienen de tablas predeterminadas, se evalúan las consecuencias en forma cuantitativa, con la mejor información que se disponga o se considere (costos de repuestos, áreas dañadas, impactos ambientales, lesiones posibles). Esto es optativo y se agrega a lo básico de la norma.

Se responde así a la otra pregunta, ya enunciada, del RCM: ¿cuáles son las consecuencias de la falla?

A modo de ejemplo se forma la bomba, vista desde la norma ISO 14224.

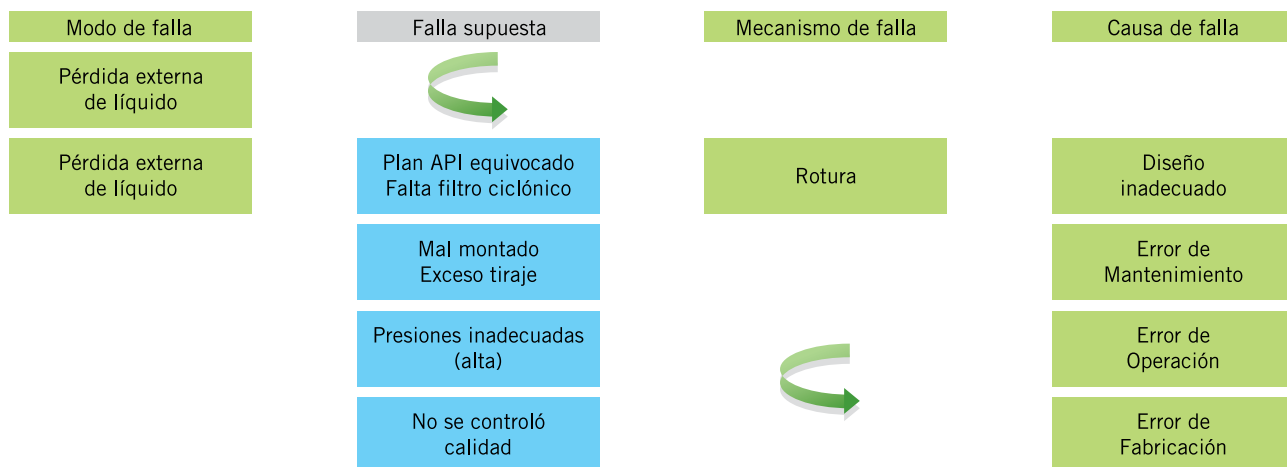
Clase		PU-Bombas			
Subsistemas	Transmisión	Sistema de bombeo	Control y monitoreo	Sistema lubricación	Misceláneos
Componentes					
1	caja reduc.	fundación	control	reservorio	purga aire
2	motor	voluta	actuación	bomba de lubricación	otros
3	rodamientos	impulsor	monitoreo	filtro	bridas
4	acop. caja	pistón		enfriador	enfriador
5	lubricante	diafragma	alimentación	válvulas	calentador
6	sello	cilindro lin.		cañerías	filtro
7	acop. motor			aceites	filtro
8		eje		control temp.	amortiguador
9		cojinete rad.			bridas
10		cojinete ax.			
11		sello			
12		cañerías			
13		válvulas			





## Subsistema Bomba

Componente: Sello | Componente: Rodamiento



## Tareas preventivas. Métodos de detección

En esta fase se pretende responder a la pregunta del RMC: ¿qué se puede hacer para prevenir las fallas?

Se elige el método de detección, basado en las preguntas del RCM.

El orden va de lo simple y práctico, la detección temprana, a lo más complejo, como el cambio en el diseño.

La norma ISO 14224 permite elegir las siguientes acciones, que están alineadas con las preguntas del RCM.

Una vez determinado el método de detección, se elige una de las acciones de la tabla ISO 14224.

Esta acción con su frecuencia, asociada al componente, constituirá el plan de mantenimiento o inicio de la base de datos de confiabilidad.

## Implementación

Se confeccionó un programa para hacer este análisis y comenzar la recolección de datos.

## Imagen ante clientes

Presentar la información de manera que se evidencien los riesgos y los costos, posibilita al cliente evaluar a la empresa a cargo del mantenimiento, pero lo que es más importante, le permite tomar decisiones sustentadas y aplicar herramientas avanzadas de optimización en mantenimiento.

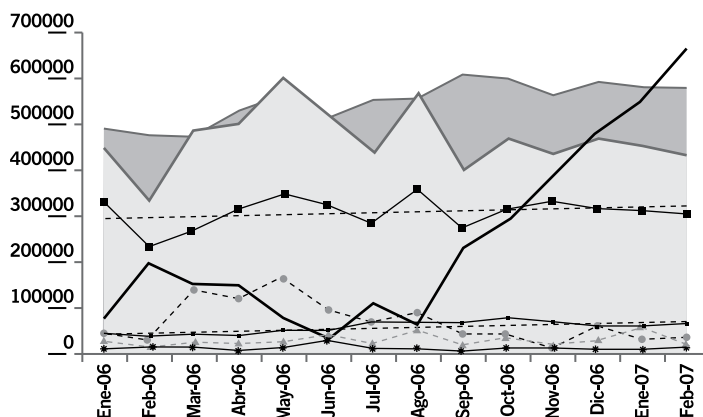
Hablar de optimizaciones implica definir todas las variables que determinan un proceso. Éstas dependen del contrato, las necesidades del cliente y las utilidades, pero si se parte de definiciones y criterios básicos preestablecidos,

bajo normas internacionales, el camino a recorrer se acorta y queda sostenido por una sólida base.

## Resultados

De esta "simple", pero ordenada, secuencia de carga de datos, día a día, complementada con el análisis metódico y la consiguiente identificación de desvíos, se deriva en la acumulación concreta de ahorros en repuestos y sub contratos, tal como se ejemplifica en el gráfico siguiente (línea de trazo grueso).

Los clientes que cuentan con su propio sistema de información (CMMS o ERP) pueden integrar la estructura de datos aquí descrita, con un indiscutible valor agregado.



## Aprendizaje

Cada minuto de demora en el lanzamiento de la colección de datos es información perdida para identificar mejoras.





Dentro de la capacitación se debe concientizar al personal sobre los riesgos de trabajar fuera de lo especificado y los costos de reprocesar y de parar y arrancar.

Los análisis de confiabilidad y la comprensión de los riesgos e incertidumbres en los procesos de mitigación de fallas incipientes, hacen tomar conciencia al hombre de mantenimiento sobre las consecuencias de tales riesgos, y motivan para la toma de registros en forma responsable.

La carga de datos se debe relacionar con la temática de confiabilidad y riesgo; por ende, la secuencia de carga de datos está alineada con la estructura de datos única.

Las mejoras deben estar orientadas al procesamiento inteligente y automático de datos del día a día, y no en la ocurrencia esporádica y aislada de un descubrimiento puntual de mejora.

La selección de criterios es crítica, pero una vez adoptados los criterios, éstos se deben mantener en toda la implementación.

Un lenguaje simple y unificado, unido a la integración de herramientas, facilita su uso y entendimiento.

## Dificultades

Durante todos los procesos de desarrollo y evolución hubo que manejar un balance entre complejidad y resultado, entre esfuerzos y beneficios.

Una dificultad, por ejemplo, estuvo en la necesidad de

### Cuadro resumen

Objetivo	Resultado esperado	Beneficio	RCM	FMEA + Norma ISO 14224 + OREDA
Determinar las funciones de un equipo.	Tener identificado qué se espera de cada equipo.	Acotar la necesidad de prestación mínima e intervenciones necesarias.	Al no estar acotadas pueden generarse grandes listas.	Se toman las clases de equipos de la norma y se llena la hoja técnica. La función principal está definida por la clase /tipo de equipo.
Identificar de qué forma puede fallar (pérdida de funciones).	Tener un listado limitado y acotado de los modos de falla bajo un criterio único.	Trabajar sólo con los modos de falla identificados.	Al no estar acotadas pueden generarse grandes listas que abarcan desde modos relevantes hasta irrelevantes. Puede olvidarse algún modo de falla relevante.	El criterio tomado es la función de operación. Se toman de la norma los modos de falla acotados predefinidos y relevantes.
Determinar qué causa la falla.	Tener un listado completo de los causantes de la falla.	Tener capacidad de análisis para eliminar o mitigar la falla.	Es libre. Depende de la experiencia de los analistas y los datos históricos que se tengan. Proclive a omitir causa de fallas o puede profundizarse en demasía. Depende de pasos anteriores.	Acotadas las causas como también la profundidad hasta donde se quiere llegar. Netamente técnico y orientado al componente.
Evaluar cuáles son las consecuencias de la falla. Evaluar los riesgos.	Cuantificar costos, riesgos y consecuencias de las fallas, en lo posible con datos históricos.	Capacidad de comparación de costos y riesgos asumidos. Capacidad de decisión y conocimiento previo. Prevención en etapas de diseño y montaje.	Los datos de frecuencia de fallas y consecuencias son estimados por los analistas. Depende de los pasos anteriores.	Hay datos de frecuencia de fallas que se pueden tomar del OREDA. Las consecuencias son estimadas. Depende de los pasos anteriores.
Definir la metodología para eliminar o mitigar fallas y riesgos.	Evaluar acciones a tomar y costos versus las consecuencias.	Capacidad de análisis de la sensibilidad de la acción elegida versus costos y riesgos asumidos.	Depende de la experiencia y conocimientos del grupo analista. Toma importancia la calidad de los registros históricos.	Depende de la experiencia y conocimientos del grupo analista. Las acciones parten de estadísticas históricas.
Reconocer cuándo no se puede identificar la falla.	Mitigar riesgos, planes de contingencia.	Acotar riesgos.	Depende del contexto operativo.	Depende del contexto operativo.



adaptación del personal, ya sea por su inexperiencia o por su acostumbramiento a metodologías ya superadas.

Además, se contó con el tiempo y esfuerzo para partir de un proyecto piloto y que permitiera especificar adecuadamente qué es lo que se quiere de un sistema ERP integrado tal como SAP.

## Implementación

El proyecto se inició en el año 2000 con la implementación de *best practices* de mantenimiento, con el apoyo de consultores canadienses, aplicando la metodología *up time*.

En el año 2002 se implementó el modelo SOM/SIM (modelo de operación y mantenimiento), que consistía en una secuencia ordenada de procedimientos orientados a la gestión integral de confiabilidad de los activos.

En el año 2003 comenzaron a desarrollarse los lineamientos de la gestión de datos y conocimientos, como una parte del proyecto.

En 2006 se implementó un proyecto piloto en el marco de la norma ISO 14224.

En 2007 se implementó la estrategia para el aseguramiento de la calidad de datos.

En 2008 se transfirió la experiencia del proyecto piloto a la implementación del sistema ERP SAP, alcanzando exitosamente la integración de todos los procesos, contando actualmente con una herramienta alineada con las avanzadas técnicas de optimización.

La posibilidad de uso de la herramienta SAP mediante Internet, hace extensiva a ésta a cualquier operación, potenciando el valor agregado al compartir y expandir las mejoras.

## Conclusiones

- La carga de datos parte de una selección de tablas pre establecida, de tal forma que se evitan las ambigüedades en la escritura y se logra la calidad de información requerida.
  - Consolida la información histórica institucional, como valor agregado al cliente.
  - Los criterios que se tomen a la hora de diseñar la carga de datos serán decisivos para la calidad de los reportes que se obtengan.
  - El uso de normas internacionales reconocidas otorga solidez.
  - La simplicidad del procedimiento hace realizable la carga de datos cualquiera sea el nivel de la organización del mantenimiento.
  - La base de datos funciona como *troubleshooting*, ya que se parte de la falla supuesta llegando hasta la causa.
  - La integración de las herramientas de información histórica, análisis de confiabilidad y análisis de fallas facilita su uso como rutina normal.
  - Para el cálculo correcto de la confiabilidad *no* puede separarse el hombre de la máquina, el tratamiento debe ser en conjunto. Se debe adoptar un criterio para ponderar cómo afecta el error humano a la frecuencia de ocurrencia.
- Muchos son los esfuerzos individuales para el registro de eventos normalmente dispersos y aislados y para el análisis de los mecanismos de falla de los distintos tipos de equipos.

Conformar una base de datos dinámica y estructurada, el registro de eventos bajo los mismos criterios, donde los resultados de las mejoras puedan adicionar valor diferencial a los servicios de operación y mantenimiento, es el principio de la evolución continua hacia nuevos conceptos tales como las metodologías de detección temprana, mitigación y eliminación de fallas potenciales. A la vez se obtiene el beneficio del control de los riesgos contractuales.

## Bibliografía

- ISO 14224, Industria de Petróleo y Gas, Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos.
- SAE – J1739/JA 1011 (FMEA).
- SAE – 1011 Evaluation Criteria for RCM Processes.
- RCM, John Moubray.
- Maintenance Excellence. Optimizing Equipment Life Cycle Cost, John D. Campbell – Andrew Jardine.
- OREDA, Offshore Reliability Data, 3<sup>rd</sup> edition.

## Colaboración

Este trabajo fue posible gracias a las correcciones, realizadas en forma directa, de Héctor Ecay, Andrew Jardine, y al aporte de Néstor García, Laura Melo, Roberto Murello. Especialmente, mi reconocimiento a todos los operadores y técnicos de mantenimiento que colaboraron con sus ideas y mejoras.

