

Base dinámica de datos de confiabilidad

Dirigida a la gestión del conocimiento, calidad de los datos y mitigación de riesgos

Por *Ing. Mario Troffé*

Se presenta la integración de la norma ISO 14224 y las estadísticas OREDA en conjunto con la Norma SAE – J1739 /JA (FMEA) 1011 (RCM) para la evaluación de confiabilidad y riesgo, de manera de obtener resultados cuantitativos y métodos de mitigación en las etapas de diseño, montaje, operación y mantenimiento.

Se desarrolla una metodología estándar para contextos operativos similares, con énfasis en la rapidez y facilidad de aplicación, orientando el uso del tiempo al análisis.

La metodología se basa en tomar definiciones y criterios preestablecidos, con el objetivo de:

- Contar con un proceso sistemático y secuencial que brinde resultados cuantitativos de confiabilidad y riesgo.
- Justificar y ponderar técnica y económicamente diferentes alternativas de tecnologías de mantenimiento y operación.
- Ponderar el factor humano.
- Utilizar datos estadísticos reales de tasa de fallas, que son tomados del OREDA.

La misma metodología se puede aplicar para registrar ordenadamente el **conocimiento** adquirido en las operaciones, relativo a las causas probables y

probadas de fallas en el campo.

Al orientar la metodología para obtener resultados cuantitativos en **riesgo** y **costo**, la aplicación en etapas de diseño y montaje optimiza el análisis económico si se introduce el concepto de **ciclo de vida**.

Introducción

En 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, esto está acompañado de una notoria falta de herramientas integrales para la gestión de la actividad, que permitan orientar los esfuerzos y los recursos, como así también reducir los **costos** y el **riesgo**.

En general, no se reconoce en el mantenimiento la importancia de la medición de resultados, del registro de datos sistemático y ordenado bajo un único criterio, como instrumento para administrarlo 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 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 *softwares* 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 que los cálculos no se constituyan en otro problema de interpretación y reproducibilidad, adicional a los existentes.

Asimismo, se encuentra bibliografía abundante y disponible en la que se dan guías acerca de este tema, pero con falta de criterios estrictos y límites a adoptar, su uso e implementación en operación y mantenimiento.

Pautas generales

El trabajo muestra una práctica de Gestión de Mantenimiento usando una herramienta que combina estadística y confiabilidad para registrar eventos y experiencias. Se llega a esto a través de la conformación de una base de datos, aplicando una lógica de análisis de situaciones sustentada en conceptos preestablecidos mediante un proceso *estructurado en forma secuencial y limitado en las posibilidades de calificación y ponderación*.

En el presente trabajo se evidenciará el impacto del hombre en la confiabilidad y el riesgo.

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**, utilizar las jerarquías preestablecidas en las normas, tomar definiciones y criterios del RCM y datos estadísticos del OREDA.
3. Orientar y promover la participación de técnicos y operadores en el análisis de datos e información, presentando una metodología más relacionada con sus tareas: intervenciones y operación sobre com-

ponentes de los equipos, y **fallas funcionales** sobre los sistemas de operación.

4. Los analistas tendrán la posibilidad de cargar datos y sólo seleccionar opciones de un menú predeterminado, bajo criterios y límites estrictamente definidos y acotados.
5. Obtener costos estimados y cálculo de **costo de ciclo de vida** bajo criterios y límites estrictamente definidos y acotados, pudiendo analizar tendencias y *benchmarking*.
6. Tener la posibilidad de analizar la sensibilidad de **riesgos** (frecuencia de ocurrencia por consecuencias) versus costos.
7. Disminuir los tiempos de análisis, en comparación con otros métodos.

Antecedentes y definiciones

RCM

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

Analiza todos y cada uno de los sistemas y cómo estos 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 deben ser dirigidos a mantener la **función** que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en **condiciones suficientes para realizar bien su función**. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones que la interrumpen o dificultan.

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 en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y períodos de ocurrencia registrados, **información difícil de encontrar o elaborar en el común de las plantas**. La división en sistemas y subsistemas de

cada equipo es tan **amplia** como criterios puedan definir los integrantes del grupo. Lo mismo ocurre con la **profundidad** de análisis para cada **modo de falla/causa de falla**, sólo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente 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, mientras que la planta continúa con problemas.

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 perforación, producción, refinación, transporte de petróleo y gas natural, **con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias**. Sus definiciones son tomadas del RCM.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan **cuantificar la confiabilidad de equipos** y compararla con la de otros de características similares.

Los parámetros sobre confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de **diseño, montaje, operación y mantenimiento**.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

- a. Especificar los datos que 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 calidad suficiente para el análisis que se pretende realizar.

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**. Parte desde el

modo de falla (pérdida de la función) hasta el detalle de la **causa de falla** y el componente (**ítem mantenible** para la norma), 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 como metalografía, fractomecánica, etc.).*

FMEA

Es una técnica aplicada al estudio **metódico** de las consecuencias que provocan las fallas de cada **componente** (**ítem mantenible** para la norma ISO 14224) de un equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las **fallas potenciales** del diseño de un producto o proceso antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. 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** (**ítems mantenibles** para la norma ISO 14224).
- 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/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 (**ítems mantenibles**, para la ISO 14224).

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** (**ítems mantenibles**), **causa de fallas y descriptores de falla**; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, *difícilmente pueda quedar afuera ninguna falla supuesta que afecte las funciones del equipo*.

Los operadores y mantenedores están muy identificados con las **fallas funcionales** y los **componentes** que las provocan.

Esta es la base del método y sus ventajas.

Estructuración de jerarquías previas al análisis 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.
- Subsistema.
- Ítem mantenible.
- Componente de detalle (en un grado último de división, opcional).

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 esta, acorde a un orden de **jerarquía**, se establecen cuáles son las clases de equipos (siendo este el nivel más alto).

Se las puede asociar 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 al glosario, definimos como **clase** a un determinado tipo de equipo, que para la norma son los siguientes:

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** específica, en un **servicio** determinado dentro del proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida.

Para el caso de la norma 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 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 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.

A modo de ejemplo, se toma la **bomba**, vista desde la norma ISO 14224 (ver tabla en la página 88).

Ítem mantenible.

Componente de detalle

La unidad final de la división es el **ítem mantenible**, 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, **ítem mantenible** es aquella parte que en su falla (crítica, incipiente o por degradación, ver OREDA), provoca una pérdida de la capacidad del **sistema** (calificadas en los **modos de falla ISO**), para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un **proceso**.

Clasificación de las fallas.

Modo de falla

Se comienza tomando un **ítem mantenible** y se fija y analiza cuáles son las pérdidas de funciones, en caso de que **falle**.

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 definiéndolos.
- 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 en el campo ocurrencia (frecuencia de ocurrencia) se toman para **fallas totales y fallas por degradación e incipientes**, relacionadas con cada componente (del OREDA).

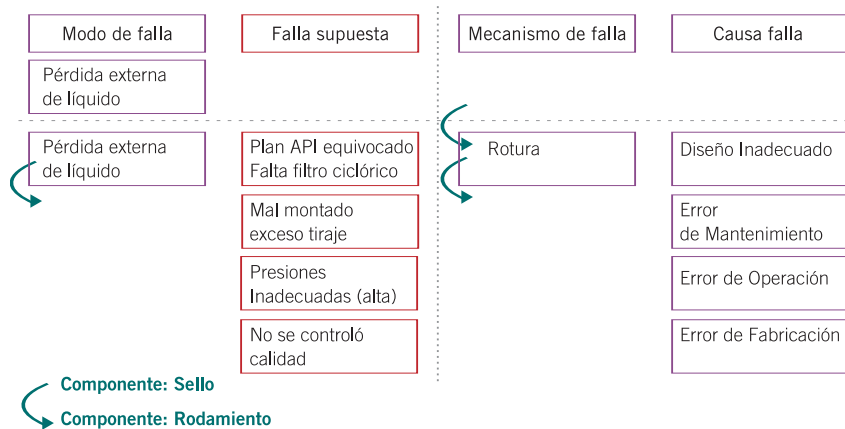
La secuencia resumida del método es la siguiente:

- Elegir un **ítem mantenible**, por ejemplo, **sello** (se obtiene de 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 descriptor de la 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 (para el caso analizado, se debe tomar la frecuencia de falla total por el porcentaje de las fallas debido a este ítem mantenible (sale de OREDA).
- Describir los potenciales efectos de la falla en forma cualitativa.
- Responder a la otra pregunta del

Clase Pu - bombas

Subsistema	Transmisión	Unidad de bombeo	Control y monitoreo	Sistema lubricación	Misceláneos
Ítems mantenibles					
1	Caja reduc.	Fundación	Control	Reservorio	Purga aire
2	Motor	Voluta	actuación	Bomba lube	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			Aceite	Filtro
8		Eje		Control temp.	Amortiguador
9		Cojinete rad.			Bridas
10		Cojinete ax.			
11		Sello			
12		Cañerías			
13		Válvulas			

Subsistema bomba



RCM: ¿cuáles son las consecuencias de la falla?

El método es iterativo y una vez fijada esta falla supuesta y el modo de falla desde el ítem mantenible:

- 1) Se recorren todos los **descriptores de falla** posibles para ese modo de falla (para la misma falla supuesta e ítem mantenible).
- 2) Para cada **descriptor de falla** se recorren todas las causas de fallas posibles.
- 3) Una vez completadas estas líneas se cargan:
 - Severidad (puede usarse el número SAE), o directamente se refleja la

severidad en la evaluación de costo.

- Impacto (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 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 del RCM: **¿cuáles son las consecuencias de la falla?**

Tareas preventivas. Métodos de detección

En esta fase se pretende responder a la pregunta del RCM: **¿qué se puede hacer para prevenir los fallos?**

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 **ítem mantenible** o componente de detalle, para cuando los analistas lo consideren, constituirá el plan de mantenimiento o inicio de la base de datos dinámica de confiabilidad.

Experiencia piloto

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

Cuadro resumen

Objetivo	Resultado esperado	Beneficio	RCM	FMEA + ISO14224 + 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 la define la Clase /Tipo Equipo
Identificar de qué forma puede fallar (pérdida de funciones).	Tener un listado limitado y acotados los modos de falla bajo un criterio.	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 cuando no se puede identificar la falla.	Mitigar riesgos, planes de contingencia.	Acotar riesgos.	Depende del contexto operativo.	Depende del contexto operativo.

Conclusiones

- La carga de datos parte de una selección de tablas preestablecida, de tal forma que se evitan las ambigüedades en la escritura y se logra calidad en el dato.
- Consolida la información histórica con el objeto de:
 - Obtener indicadores para la eficiente administración de un servicio, y
 - Desarrollar bases de datos que permitan *benchmarking*.
- La definición que se tome a la hora de diseñar el ordenamiento de la carga de datos será decisiva para la calidad de los reportes que se obtengan.
- El uso de normas internacionales reconocidas otorga solidez.
- La simpleza del procedimiento hace la carga de datos realizable por cualquier 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.
- Para el cálculo correcto de la confiabilidad NO puede separarse al 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. ■

Nota del autor: muchos son los esfuerzos individuales para análisis realizados sobre un mismo tipo de equipos, sus mecanismos de fallas compuestos y sus fallas posibles, normalmente dispersos y aislados.

Conformar una base de datos dinámica y estructurada, donde puedan compartirse y enriquecerse con las experiencias esparcidas, es el principio de la evolución continua hacia nuevos conceptos y desarrollos en las metodologías de detección temprana, mitigación y eliminación de fallas potenciales.

La implementación de una metodología como esta debe comprometerse y centrarse en el exclusivo beneficio del hombre y su medio, posibilitando ambientes con riesgos cada vez menores.

Colaboración: este trabajo fue posible gracias a las correcciones, críticas, pruebas piloto y discusiones de un trabajo en equipo.

Estos son algunos de los nombres: Héctor Ecay, Raúl Tizio, Roberto Murello, Néstor García, Carolina Moro, Laura Melo, Marcela Beherens.

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*.
OREDA – *Off Shore Reliability Data*.
RCM John Moubray.

Maintenance Excellence – Optimizing Equipment Life Cycle Cost – John D. Campbell – Andrew Jardine.

OREDA *Offshore Reliability Data*, 3rd edition.

Compendio de la Doctrina Social de la Iglesia.

Notas de Campo tomadas durante los pilotos y pruebas.