

Generación de un Banco de Datos Dinámico orientado a la obtención de Índices para la Gestión general del Mantenimiento. Cuya estructura básica se adapta a las aplicaciones específicas de las distintas Empresas y diferentes Sectores de especialidades, dirigido a la gestión del conocimiento, calidad de los datos y mitigación de riesgos.

Ing. Mario Troffé

Skanska Oil & Gas

ABSTRACT

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, utilizando definiciones y criterios pre establecidos, para :

- 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 son tomados del OREDA, con un criterio definido.

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.

Se deja el proyecto abierto a la actualización en función de la multiplicidad de Estándares, y universalidad para la fácil adaptación según la filosofía Empresaria que lo utilizará.

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 experiencias 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, así como 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 software 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 y análisis que se deriven de aquellos 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; y la circunstancia de que los Índices no pueden ni deben ser medidos en forma aislada, sino que necesitan de otros que los complementen.

NOTA: Para interpretar este artículo es preciso conocer en detalle las Normas ISO 14224, SAE 1739, tener práctica en RCM, y manejo de los Datos Estadísticos del OREDA.

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 pre establecidos 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 Riesgo.

Mediante este mecanismo se puede:

- 1) Definir un **Plan de Mantenimiento sustentable**, 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 pre establecidas 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 mas relacionada con sus tareas: intervenciones y Operación sobre **Componentes** de los Equipos y **Fallas Funcionales** sobre los Sistemas de Operación.
- 4) Los analistas tendrán la posibilidad de cargar datos, y solo seleccionar opciones de un menú predeterminado, bajo criterios y límites estrictamente definidos y acotados.
- 5) Obtener costos estimados y calculo 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.

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; útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de Mantenimiento.

Analiza cada Sistema 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 periodos de ocurrencia registrados, **información difícil de encontrar o elaborar en el común de las plantas**. La división en sistemas y sub sistemas 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**; solo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente el análisis. En este sentido la metodología es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados que los tiempos para la implementación del método se extienden en demasía, mientras que la planta continua con problemas.

RESUMIENDO:

1) Las siete preguntas del **RCM**, que no deben faltar en ningún análisis.

- ¿Cuáles son las **Funciones**?
- ¿De qué forma puede **Fallar** (no ser satisfactorias las funciones)?
- ¿Qué **Causa** que **Falle**?
- ¿Qué **Sucede** cuando **Falla**?
- ¿Cuáles son las **Consecuencias** de la **Falla**?
- ¿Qué se puede hacer para **Prevenir** los **Fallas**?
- ¿Qué **Sucede** si no se puede prevenir el **Falla**?

2) Las preguntas del árbol de decisiones, deben respetarse en su orden, de lo simple a lo mas complejo (e intrusivo) para cualquier análisis

- ¿Existe alguna **evidencia** de que ha comenzado a **fallar** sin afectar las funciones para que se intervenga el equipo por **condición**?
- ¿Existe alguna **tarea de reacondicionamiento cíclico** que puede prevenir la **falla**?, ¿Es conocido su **periodo**?
- ¿Existe alguna **tarea de sustitución cíclica**? ; ¿Es conocido su **periodo**?
- ¿Es necesario **cambiar el diseño** del equipo para prevenir la **falla**?

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 esta 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**, (perdida 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 éstas 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** (**ítem 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

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 (Ítem 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 Sub Sistemas**, Componentes (**Items Mantenibles**), **Causa de Fallas** y **Descriptor de Falla**; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, **difícilmente pueda quedar afuera ninguna Falla supuesta que afecte a las Funciones del Equipo**.

Los operadores y mantenedores están muy identificados con las **Fallas Funcionales** y los **Componentes** que las provocan.

Las listas de Causas de Falla (que incluye todas las Causas preestablecidas) limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al Nivel de Conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga **Confiabilidad al Dato**.

CUADRO RESUMEN

OBJETIVO	RESULTADO ESPERADO	BENEFICIO	RCM	FMEA + ISO14224 + OREDA
Determinar las Funciones de un equipo	Tener identificado que se espera de cada equipo.	Acotar la necesidad de prestación mínima e intervenciones necesarias.	Al no estar acotadas pueden generarse grandes listas.	Se toma las clases de equipos de la norma y se llena la hoja técnica. La función principal la define la Clase /Tipo Equipo
Identificar de que forma puede fallar (pérdida de funciones)	Tener un listado limitado y acotado los modos de falla bajo un criterio	Trabajar solo 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 que 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	Acotadas las causas como también la profundidad hasta donde se

			históricos que se tengan. Proclive a omitir causa de fallas o puede profundizarse en demasía. Depende de pasos anteriores.	quiere llegar. Netamente técnico y orientado al componente.
Evaluar cuales 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 Riesgo 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.

DESARROLLO - PROCESO DE ANÁLISIS

Identifica los **Modos de Falla** de los Equipos partiendo de la supuesta **Falla** de los Componentes (**Ítem Mantenible** para la ISO 14224) hasta su impacto en las **Funciones** del equipo de producción.

La norma **SAE 1739** resume y sugiere como “guía” tablas que ayudan a determinar los criterios de evaluación, tanto de las **Fallas** como de su Mitigación y la Frecuencia de Ocurrencia.

CONTEXTO DE APLICACIÓN.

En el trabajo (ver anexo) se propone un formato **completo estandarizado**, acotado y cuantitativo.

La aplicabilidad en contextos operaciones similares hace que la información obtenida, pueda ser rápidamente distribuida y aprovechada.

ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS PREVIAS AL ANÁLISIS FMEA

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

- CLASES
- SISTEMA
- SUB SISTEMA
- ÍTEM MANTENIBLE
- COMPONENTE DE DETALLE (en un grado último de división, opcional)

Para mayor detalle puede consultarse la NORMA ISO 14224, donde se muestra como 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; y luego cómo se asociarán los **Registros de Operación y Mantenimiento**, de modo de contar con metodologías **sencillas** de Análisis (y la aplicación de software avanzados)

Los Registros de Mantenimiento deben relacionarse con cada nivel dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

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 cuales 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
EG	GENERADOR ELÉCTRICO	GENERAR
EM	MOTOR ELÉCTRICO	IMPULSAR
FG	DETECTORES DE GAS Y FUEGO	DETECTAR
GT	TURBINA POTENCIA	IMPULSAR
HE	INTERCAMBIADOR DE CALOR	INTERCAMBIAR
PS	SENSOR Y ELECTRÓNICA	MEDIR
PU	BOMBA	BOMBLEAR
TE	TURBOEXPANDER	EXPANDIR
VA	VÁLVULAS	BLOQUEAR
VE	RECIPIENTES	CONTENER

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.

Incluyen todos los equipamientos disponibles para la Operación de los mismos y, en general, comparten muy pocas partes con otros Sistemas.

Como norma genérica para la fijación de sus límites, se pueden tomar todas las válvulas que lo aíslan.

Para el caso de la norma quedan clasificados por:

- TIPOS DE EQUIPOS
- APLICACIÓN

Ejemplos de Sistemas:

- Sistema de Bomba Centrífuga Agua de Inyección
- Sistema de Bomba Alternativa Traslase de Petróleo

De la norma ISO 14224

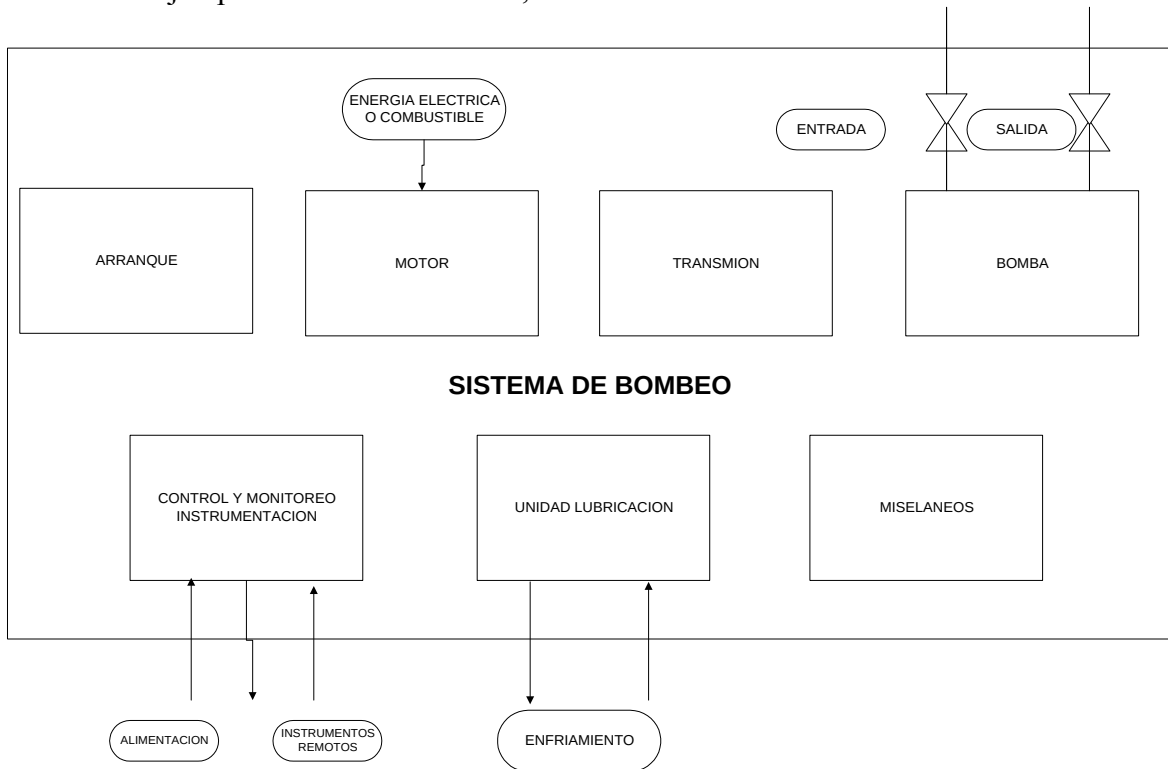
CLASE		TIPO EQUIPO		APLICACIÓN	
PU	BOMBA	RO	BOMBA ROTATIVA	EXTINCIÓN DE INCENDIOS CON AGUA	FF
		RE	BOMBA ALTERNATIVA	INYECCIÓN DE AGUA	WI
		CE	BOMBA CENTRIFUGA	MANIPULACIÓN DE PETRÓLEO	OH
				TRATAMIENTO DE GAS	GT
				PROCESAMIENTO DE GAS	GP
				INYECCIÓN QUÍMICA	CI
				ASPIRACIÓN DE AGUA DE MAR	SL
				EXTRACCIÓN DE NGL	NE
				UTILITARIO	UT

SUB SISTEMAS

Son aquellos Equipos que posibilitan que el Sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo Equipo calificado como Sub Sistema que falle, afecta directamente al Sistema.

Por ejemplo, el Control, Monitoreo e Instrumentación (o instrumentación), pueden considerarse como Unidad.

A modo de ejemplo se toma la BOMBA, vista desde la norma ISO 14224.



Para este ejemplo, la **Función** es el **Bombeo**, pero para efectuarlo, se tiene el Equipo propiamente dicho que produce la **Función Bombeo**, en este caso la **Bomba (Sistema)**; y los Equipos auxiliares que permiten llevarla a cabo (**Sub Sistemas**), como ser:

- Bomba.
- Motor.
- Arranque.
- Transmisión.
- Unidad de lubricación.
- Misceláneo.
- Control Monitoreo e Instrumentación.

ITEM 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 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 ISO**), para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un **Proceso**.

Los datos de Confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

Siguiendo con el ejemplo de la **Bomba**, esta es la subdivisión final.

CLASE	PU - BOMBAS				
SUB UNIT	TRANSMISSION	UNIDAD DE BOMBEO	CONTROL Y MONITOREO	SISTEMA LUBRICACIÓN	MISCELÁNEOS
ÍTEM MANTENIBLES					
1	CAJA REDUCTORA	FUNDACIÓN	CONTROL	RESERVORIO	PURGA AIRE
2	MOTOR	VOLUTA	DISPOSITIVOS ACTUACIÓN	BOMBA LUBE	OTROS
3	RODAMIENTOS	IMPULSOR	MONITOREO	FILTRO	BRIDAS
4	ACOPLAMIENTO CAJA	PISTÓN		ENFRIADOR	ENFRIADOR
5	LUBRICANTE	DIAFRAGMA	FUENTE ALIMENTACIÓN	VÁLVULAS	CALENTADOR
6	SELLO	CILINDRO LINEAL		CAÑERÍAS	FILTRO
7	ACOPLAMIENTO MOTOR			ACEITE	FILTRO CICLÓNICO
8		EJE		CONTROL TEMPERATURA	AMORTIGUADOR
9		COJINETE RADIAL			BRIDAS
10		COJINETE AXIAL			
11		SELLO			
12		CAÑERÍAS			
13		VÁLVULAS			

METODOLOGÍA PROPUESTA.

Introducción: Las metodologías propuestas de **RCM / FMEA** presentan las definiciones de Sistema y Sub Sistema, de manera que los criterios para establecer los limites quedan para el analista.

La norma ISO 14224 en particular aplica directamente este concepto y deja establecidos los **limites**, hasta el grado de detalle de los **Ítem Mantenibles**, y solo dejan al analista un nivel mas de apertura que son los **Componentes de Detalle**, como se explicó en los párrafos anteriores.

Viendo la metodología desde otro punto de vista, se inicia el análisis teniendo identificados todas las **Fallas Potenciales**, para Ítem Mantenibles, y también definidas las **Funciones** de los **Sistemas**.

FUNCIONES

Se vio que los Equipos quedan caracterizados por

- CLASE
- TIPO DE EQUIPO
- APLICACIÓN.

A esta calificación inicial, que define a grandes rasgos la Función, se agrega la tabla siguiente **Datos del Equipo**, en la que quedan establecidas todas las **Funciones Requeridas**.

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

Se reproduce la Tabla de la Norma ISO 14224. Esta información debe estar compilada antes de comenzar el análisis, para un equipo en particular. Para hacer un análisis genérico se pueden obviar datos específicos; pero es importante contar con este documento como guía de las funciones y sus desvíos.

Categorías principales	Subcategorías	Datos
Identificación	Ubicación del Equipo	Número de identificación del Equipo (*)
	Clasificación	Clase de unidad de Equipo, como por ejemplo, compresor (ver anexo A) (*) Tipo de Equipo (ver anexo A) (*) Aplicación (ver anexo A) (*)
	Datos de instalación	Código o nombre de la instalación (*) Categoría de instalación; por ejemplo, plataforma, Equipo submarino, refinería (*) Categoría de Operación; por ejemplo, control a distancia, control manual (*) Área geográfica, por ejemplo, área sur del Mar del Norte, Mar Adriático, Golfo de México, Europa Continental, Oriente Medio.
	Datos de la unidad de Equipo	Descripción de la unidad de Equipo (nomenclatura) Número único; por ejemplo, número de serie Redundancia de la subunidad; por ejemplo, número de sub unidades redundantes.
Diseño	Datos del fabricante	Nombre del fabricante (*) Designación del modelo del fabricante (*)
	Características de diseño	Pertinente para cada clase de Equipo; por ejemplo, capacidad, energía, velocidad, presión, ver el anexo A (*)
Aplicación	Operación (uso normal)	Redundancia de la unidad de Equipo; por ejemplo 3 x 50 % Modo utilizado durante la fase operativa; por ejemplo, Operación continua, estado de espera, abierto / cerrado normalmente, intermitente. Fecha en que se instaló la unidad de Equipo o fecha en que se inició la producción Período de monitoreo (tiempo calendario) (*) El tiempo operativo acumulado durante el período de monitoreo. Número de demandas durante el período de monitoreo, según corresponda. Parámetros operativos pertinentes para cada clase de Equipo; por ejemplo, energía operativa, velocidad operativa, ver el anexo A.
	Factores ambientales	Condiciones ambientales (severa, moderada, benigna) ^a Ambiente interior (severo, moderado, benigno) ^b
Observaciones	Información adicional	Información adicional en texto general, según corresponda. Fuente de datos; por ejemplo, diagrama de proceso e instrumentación, hoja de datos, Sistema de Mantenimiento.

^a Características que deben considerarse, es decir, grado de protección del recinto, vibración, neblina salina u otros fluidos externos corrosivos, polvo, calor, humedad.

^b Características que deben considerarse en el caso de un compresor: benigno (gas – limpio y seco), moderado (cierta corrosión por gotas), severo (gas sulfuroso, alto CO₂, alto contenido de partículas).

CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS. MODO DE FALLA

Se comienza tomando un ÍTEM MANTENIBLE y se fija y analiza cuales son las perdidas de funciones, en caso de que **Falle**.

A diferencia del RCM la norma ISO 14224 tiene definidos los **Modos de Falla** por CLASE de EQUIPO, de esta manera:

- **No se pierde tiempo definiéndolas.**
- **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)?**

Luego se calificará la Falla con don niveles, que dan mayor detalle y están orientado al componente (ÍTEM MANTENIBLE), estos son: **Descriptor de la Falla** y **Causa de Falla**.

En cada línea quedará manifiesta la **Falla Supuesta**.

Así la FALLA del Ítem Mantenible queda perfectamente acotada comenzando el análisis por la **Perdida de Función** del sistema calificada por el **Modo de falla**. Se parte de la **Función** del equipo, SISTEMA, incrementando en detalle, desde el **Descriptor de la Falla** hasta la **Causa de Falla**.

De esta manera respondemos la tercer pregunta del RCM

¿Qué causa que falle?

Las Tasas de FALLAS que se utilizan en el campo Ocurrencia (frecuencia de ocurrencia) se toman para **Fallas Totales** (del OREDA). En esta fase se considera como criterio no realizar tareas de Mantenimiento. Por ende, es **como si** todas las fallas del **Ítem Mantenible** elegido terminaran en rotura. Este es el criterio propuesto. Luego del análisis y definida la estrategia de mitigación o eliminación de Riesgos, se toma para la evaluación **solo** la Tasa de Falla por **Críticas**. Conceptualmente serían estas las Fallas que NO se previenen, dato que se extrae del OREDA.

Para ejemplificar la metodología se toma la clase de equipo BOMBA, se toma el SUB SISTEMA UNIDAD DE BOMBEO y el ÍTEM MANTENIBLE: SELLO.

Se marca en las tablas citadas como se clasificaría una supuesta falla.

Se adjunta planilla FMEA para el método en Anexo.

RECOMENDACIÓN

Para poder interpretar el método en su totalidad, referente a prestación en la identificación de los **Fallas Supuestas / Modos / Causas de fallas** se recomienda al menos realizar un ejercicio.

ANEXOS : EJEMPLO

MÉTODO APLICACIÓN FMEA (SAE 1739), USANDO ISO 14224 Y OREDA.

PLANILLA FMEA ESTANDARIZADA

PLANILLA ESTÁNDAR ANÁLISIS FMEA - SECUENCIA MÉTODO PROPUESTO					
		CAMPOS FMEA	DETALLE DE LOS PASOS A SEGUIR	DETALLE DE LOS PASOS A SEGUIR	RESULTADO DEL ANÁLISIS
REVISOR	CAMPO 1	TAG EQUIPO			P-1001

ANÁLISIS	CAMPO 2	SISTEMA	1° PASO , elegir el sistema a analizar		BOMBEO
	CAMPO 3	SUB SISTEMA	2° PASO. Elegir el sub sistema a analizar		BOMBA
	CAMPO 4	COMPONENTE	3° PASO elegir un ítem mantenible.	9° PASO elijo otro ÍTEM MANTENIBLE y repito la secuencia.	SELLO
	CAMPO 5	DESCRIPCIÓN DE LA POSIBLE FALLA O LA FALLA SUPUESTA	4° PASO Describir una falla supuesta referida a un ítem mantenible elegido.		EL SELLO COMIENZA A TENER PERDIDAS
	CAMPO 6	MODO DE FALLA	5° PASO elegir el modo de falla correspondiente, seleccionando de tabal pre establecida	8° Paso (barridos todos los MODOS DE FALLA, paso a otro ÍTEM MANTENIBLE y repito el proceso.	El pérdida de proceso al medio
	CAMPO 7	DESCRIPTOR DE LA FALLA	6° PASO seleccionar de tabla TODOS los posibles DESCRIPTORES DE FALLA , para el MODO DE FALLA anterior. Si es necesario ir adaptando la descripción de la posible de la falla supuesta (CAMPO 5)		1.1Pérdida
	CAMPO 8	CAUSA DE LA FALLA	7° PASO seleccionar de tabla TODOS las posibles CAUSA DE FALLA , para CADA DESCRIPTOR DE FALLA anterior (aun no cambia el MODO DE FALLA, CAMPO 6). Si es necesario ir adaptando la DESCRIPCIÓN POSIBLE DE LA FALLA SUPUESTA (CAMPO 5). Agotadas todas las causas posibles, paso a otro MODO DE FALLA, repetir la secuencia.		3.2Error de operación
	CAMPO 9	SEVERIDAD (12)	11° PASO Cargar la severidad en cada una de las líneas. USAR listado recomendado SAE 1739 o solamente carga el costo de las consecuencias , como severidad.		
	CAMPO 10	IMPACTO EN LA OPERACIÓN	11PASO Cargar el impacto de operación en cada una de las líneas (tabla OREDA)		2
	CAMPO 11	OCURRENCIA (16)	11° PASO cargar la frecuencia del total de la falla para el sistema en cuestión multiplicado por el % correspondiente al componente en cuestión (OREDA tabla componente vs. Modo de falla)		0.00005799
POTENCIALES EFECTOS DE LA FALLA	CAMPO 12	EFFECTO POTENCIAL DESCRIPCIÓN	10° Paso cargar todos los efectos potenciales para cada una de las fallas.		SUSTANCIA PELIGROSA LIBERADA AL MEDIO
	CAMPO 13	HORAS HOMBRE	12PASO Estimar en \$		45
	CAMPO 14	LUCRO CESANTE	12PASO Estimar en \$		1800

	CAMPO 15	REPUESTOS	12PASO Estimar en \$		7000
	CAMPO 16	OTROS	12PASO Estimar en \$		2500
	CAMPO 17	CRITICIDAD CLASIFICACIÓN (13)	SALE AL COMPARAR RESULTADOS		
	CAMPO 18	DETECCIÓN EVALUACIÓN (17)	dividire por porcentaje de detección sin aplicar ninguna técnica	100%	
	CAMPO 19	RPN	Se calcula automático, multiplicando los factores anteriores		1.438978051
	CAMPO 20	MÉTODO DE DETECCIÓN / PROTECCIÓN / MODIFICACIÓN	13° analizar los métodos de mitigación . Selección de tabla la acción a tomar		Ensayo en funcionamiento PROBAR ENCLAVAMIENTO
	CAMPO 21	RESPONSABLE DEL CAMBIO			IGM
RESULTADO DE LAS ACCIONES	CAMPO 22	ACCIONES A DESARROLLAR	13° PASO describir el detalle de la tarea a realizar		ENCLAVAR ARRANQUE DE BOMBA CON PRESIÓN DE SELLO
	CAMPO 23	SEVERIDAD (12)	13° PASO calcular la nueva severidad		0.5
	CAMPO 24	OCURRENCIA (16)	13° PASO cargar la frecuencia del solo de las FALLAS CRITICAS para el sistema en cuestión multiplicar por el % correspondiente al componente en cuestión (OREDA tabla componente vs. Modo de falla).		0.00005799
	CAMPO 25	DETECCIÓN (17)	Dividir por el porcentaje de certeza de detección o evitar la falla		1
	CAMPO 26	RPN	Calcular el nuevo RPN con los costos y frecuencia de ocurrencia anteriores		0.5364075

Los tres primeros campos para el análisis de FMEA están definidos y acotados por la ISO 14224, a saber:

TAG EQUIPO	SISTEMA	SUB SISTEMA	ITEM MANTENIBLE
-------------------	----------------	------------------------	----------------------------

En el ejemplo de aplicación:

Falla supuesta: pérdida excesiva en sello.

CLASE EQUIPO: BOMBA

SUB SISTEMA: BOMBA

ITEM MANTENIBLE: SELLO

FALLA REGISTRADA DESCRIPCIÓN: Pérdida al medio.

MODO DE FALLA: ELP PERDIDA DE PROCESO AL MEDIO

De las tablas se toma:

TABLA A41 BOMBAS		CLASE EQUIPO: PU
Código	Definición	Descripción
FTS	Falla a arrancar según demanda	InDisponibilidad para arrancar
STP	Falla a detener la marcha según demanda	Indisponibilidad para detenerse ó manejar procesos de paro
SPS	Paro inesperado	Paro no programado de la máquina
BRD	Rotura	Daño serio (pérdidas, explosión)
HIO	Salida muy alta	Sobre velocidad, fuera de especificación
LOO	Salida muy baja	Salida fuera de la especificación requerida
ERO	Salida errática	Salida con oscilaciones ó cambios repentinos
ELP	Pérdida de proceso al medio	Escape del proceso al medio ambiente
ELU	Pérdida externa de líquido auxiliar	Pérdida de agua, aceite, otros
INL	Pérdida interna	Pérdida interna de agua por ejemplo
VIB	Vibración	Excesiva vibración
NOI	Ruido	Excesivo ruido
OHE	Sobrecalentamiento	Excesiva temperatura
PDE	Desviación de algún parámetro	Desviación de un parámetro fuera de lo establecido
AIR	Lectura anormal de instrumento	Medición imposible, falsas alarmas
STD	Deficiencia estructural	Roturas en cabeza de cilindro, soportes
SER	Problemas menores en servicio	Pérdidas, suciedad, decoloración
OTH	Otros	Problemas no especificados
UNK	Desconocido	Información inadecuada, perdida

DESCRIPTOR DE LA FALLA: 1.1 PERDIDA

Nº	Notación	Descripción	
1	Falla mecánica-general	Una Falla relacionada con un defecto mecánico, pero no se conocen más detalles	1
1.1	Pérdida	Pérdidas internas ó externas, ya sean líquidos ó gases. Si el modo de Falla del Componente es pérdida, debería utilizarse algún descriptor de la Falla más orientado a la causa si fuera posible	1.1
1.2	Vibración	Vibración anormal. Si el modo de Falla del Equipo es vibración, debería utilizarse algún descriptor de la Falla más orientado a la causa si fuera posible	1.2
1.3	Falla de alineación, huelgo	Falla causada por una desalineación ó excesivo huelgo muy evidente	1.3
1.4	Deformación	Distorsión, doblado, golpeado, estirado, etc.	1.4
1.5	Aflojamiento	Desconexión, elementos desconectados ó faltantes	1.5
1.6	Golpeado	Golpeado, deformado, agrandado, por cualquier motivo distinto de alineación.	1.6

CAUSA DE LA FALLA: 3.4 DESGASTE ESPERADO

Nº	Notación	Descripción
1	Causas relacionadas con el diseño-general	Fallas relacionadas a un diseño inadecuado para la Operación y el Mantenimiento, pero no se conocen más detalles
1.1	Capacidad inadecuada	Capacidad inadecuada
1.2	Material inadecuado	Selección inadecuada de material
1.3	Diseño inadecuado	Equipo ó configuración diseñado inadecuadamente (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad)
2	Causas relacionadas con el fabricante-general	Falla relacionada con la fabricación ó la instalación, pero no se conocen más detalles
2.1	Error de fabricación	Falla en el proceso de fabricación ó construcción
2.2	Error de instalación	Falla de instalación ó montaje (los montajes posteriores al Mantenimiento no se incluyen)
3	Falla relativa a la Operación ó el Mantenimiento-general	Falla relacionada a la Operación, uso ó Mantenimiento del Equipo, pero no se conocen más detalles
3.1	Operación fuera de los parámetros de diseño	Condiciones de servicio fuera de los parámetros de diseño, como operar Equipos fuera de locación, sobre presiones, sobrecargas
3.2	Error de Operación	Error, mal uso, negligencia, distracciones, durante la Operación
3.3	Error de Mantenimiento	Error, mal uso, negligencia, distracciones, durante el Mantenimiento
3.4	Desgaste esperado	Falla causada por desgaste esperado de la Operación normal de un equipamiento
4	Falla relacionada con la administración-general	Falla relacionada con el Sistema de administración, pero no se conocen más detalles
4.1	Error de documentación	Falla relacionada con procedimientos, especificaciones, planos, reportes
4.2	Error de gerenciamiento	Falla relacionada con planificación, organización, control de calidad
5	Misceláneos, general	Causas que no entran en ninguna de las categorías anteriores
5.1	Desconocido	No hay información relacionada con la causa de la Falla

El resumen de la calificación básica de la Falla para este ejemplo es:

ITEM MANTENIBLE: SELLO
DESCRIPTOR DE LA FALLA: 1.1 PERDIDA
CAUSA DE LA FALLA: ERROR DE OPERACIÓN
TASA DE FALLA tasa de falla total por % de falla debido a sello, esto es 1130,37 (fallas por millon de horas) X ,0,1037 (10,37 % de las fallas debidas al sello) .

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 que 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 % de las fallas debido a este Ítem mantenible (sale de tabla Modos de falla vs. Ítem Mantenibles), aspecto que se explicará mas adelante.
- Describir los potenciales efectos de la Falla en forma cualitativa.
- Responder a la otra pregunta del RCM **¿Cuáles son las consecuencias de la Falla?**

DESCRIPCIÓN DE LA POSIBLE FALLA O LA FALLA SUPUESTA	MODO DE FALLA	DESCRIPTOR DE LA FALLA	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD (12)	IMPACTO EN LA OPERACIÓN	OCURRENCIA (16)	EFFECTO POTENCIAL DESCRIPCIÓN
---	---------------	------------------------	-------------------	----------------	-------------------------	-----------------	-------------------------------

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 Numero SAE), o directamente se refleja la severidad en la evaluación de costo.
 - Impacto (ISO 14224 Total, parcial o ninguno sobre la producción o el NUMERO 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?**

En este punto ya se cuenta con los datos para calcular el **Riesgo**, (Frecuencia por Consecuencias)

HORAS HOMBRE	LUCRO CESANTE	REPUESTOS	OTROS
-----------------	------------------	-----------	-------

CALCULO DEL RPN (Risk Priority Number)

Con los datos obtenidos se puede evaluar el RPN, tanto en forma cualitativa como cuantitativa, si se estiman los datos del Costo de las Consecuencias y se toman las Frecuencias del OREDA.

Las tasas de Fallas que se utilizan en el campo **Ocurrencia**, (Frecuencia de Ocurrencia), se toman para Fallas Totales, como se aclaró antes. En esta fase se considera o toma el criterio de no ejecución de tareas de Mantenimiento, por lo que se asume que todas las **Fallas** terminarán en rotura

Taxonomy no 1.3.1		Item Machinery Pumps Centrifugal									
Population 84	Installations 9	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands 3137				
		Calendar time * 2.5608		Operational time † 1.2483							
Failure mode		No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours).					Active rep.hrs	Repair (manhours)		
			Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max
External leakage		297*	18.14	108.86	262.75	79.23	115.98	15.1	1.0	34.8	476.0
		297†	47.54	235.98	542.79	159.07	237.93				
Failed while running		1*	0.00	0.39	1.50	0.64	0.39	-	16.0	16.0	16.0
		1†	0.01	0.80	3.04	1.12	0.80				
Low output		1*	0.00	0.39	1.50	0.64	0.39	-	12.0	12.0	12.0
		1†	0.01	0.80	3.04	1.12	0.80				
Other modes		502*	12.44	165.38	470.81	154.60	196.03	8.2	1.0	13.1	158.0
		502†	182.91	759.60	1659.87	470.34	402.16				
Overhaul		26*	0.54	16.18	53.42	18.89	10.15	18.1	2.0	66.9	690.0
		26†	1.10	27.24	86.35	29.93	20.83				
Unknown		7*	0.16	3.17	9.46	3.16	2.73	3.0	2.0	16.1	40.0
		7†	2.78	48.60	143.49	47.71	5.61				
Vibration		13*	0.29	5.24	15.52	5.16	5.08	3.1	1.0	27.6	116.0
		13†	0.91	10.70	29.84	9.72	10.41				
Unknown		90*	0.12	30.22	116.04	45.64	35.15	5.9	0.5	14.9	120.0
		90†	0.26	65.81	252.71	94.19	72.10				
External leakage		1*	0.00	0.39	1.50	1.07	0.39	4.0	4.0	4.0	4.0
		1†	0.00	0.80	3.08	2.20	0.80				
Failed while running		1*	0.00	0.39	1.50	1.06	0.39	-	24.0	24.0	24.0
		1†	0.44	0.80	1.25	0.25	0.80				
Low output		1*	0.00	0.39	1.50	1.07	0.39	30.0	30.0	30.0	30.0
		1†	0.00	0.80	3.08	2.20	0.80				
Other modes		73*	0.09	23.12	88.80	42.96	28.51	4.8	0.5	14.5	120.0
		73†	0.21	51.67	198.41	89.35	58.48				
Overhaul		7*	0.11	2.42	7.37	2.49	2.73	5.0	1.0	17.7	49.5
		7†	0.91	5.12	12.14	3.62	5.61				
Unknown		7*	0.01	3.49	13.42	5.28	2.73	3.3	2.0	13.3	61.0
		7†	0.03	7.05	27.08	10.21	5.61				
All modes		1411*	71.80	519.02	1308.51	404.47	551.01	12.7	0.5	34.2	720.5
		1411†	1098.26	2647.26	4739.23	1130.34	1130.37				
Comments											
On demand probability for consequence class: Critical and failure mode: Failed to start = 9.6 · 10 ⁻⁴											

Total tasa de Fallas por millón de horas operativas 1130,37

Maintainable item versus failure mode**Item:** Pumps - Centrifugal

	EXL	FTS	FWR	LOU	OTH	OVH	SEL	UNK	VIB	Sum
Actuating device	0.07	0.21	0.43	0.14	3.01	0.14	0.00	0.00	0.00	4.00
Auxiliaries, diesel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Auxiliaries, el. motor	0.92	0.14	0.21	0.14	1.49	0.07	0.00	0.00	0.00	2.98
Bearing	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.14	0.28
Casing	0.50	0.00	0.07	0.02	0.21	0.07	0.00	0.00	0.02	0.90
Clutch / var. drive	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Control unit	0.07	0.46	1.52	0.14	7.34	0.07	0.00	0.00	0.04	9.64
Cooler or Heater	0.21	0.00	0.07	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17
Cooling/heating system	0.35	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
Coupling	0.00	0.00	0.13	0.00	0.57	0.14	0.00	0.00	0.21	1.05
El. motor	0.28	0.50	2.20	0.35	2.13	0.64	0.00	0.00	0.78	6.88
Filter	0.21	0.00	0.07	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
Gearbox	0.18	0.00	0.32	0.07	0.43	0.21	0.00	0.00	0.50	1.70
Impeller	0.02	0.00	0.07	0.12	0.07	0.07	0.00	0.00	0.02	0.38
Lubrication	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Monitoring display	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34	0.00	0.00	0.07	0.07	2.48
Oil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.07	0.00	0.00	0.00	0.50
Others	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
Power supply	0.00	0.00	0.07	0.00	1.20	0.00	0.00	0.07	0.00	1.35
Pump w/motor	0.21	0.28	0.43	0.00	0.78	0.07	0.00	0.00	0.07	1.84
Purge air	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Radial bearing	0.73	0.00	0.54	0.00	1.18	0.14	0.00	0.02	0.28	2.90
Reservoir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
Seals	9.65	0.00	0.12	0.02	0.44	0.04	0.28	0.24	0.00	10.78
Sensor	0.21	0.25	1.59	0.00	9.11	0.21	0.00	0.00	0.11	11.48
Shaft	0.24	0.00	0.38	0.02	0.21	0.11	0.00	0.00	0.18	1.13
Signal transm. (cabling etc.)	0.14	0.57	0.71	0.07	6.70	0.28	0.00	0.14	0.00	8.61
Start control	0.00	0.50	0.00	0.00	0.35	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92
Start energy	0.07	0.00	0.07	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
Starting unit	0.00	2.13	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48
Subsystem	0.92	0.14	0.57	0.50	1.28	1.13	0.00	0.14	0.50	5.17
Support	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.07	0.00	0.00	0.02	0.45
Thrust bearing	0.17	0.00	0.35	0.00	0.37	0.00	0.00	0.02	0.04	0.94
Unknown	0.14	0.35	0.64	0.00	1.13	0.00	0.00	0.28	0.07	2.62
Valves & piping	8.15	0.00	0.28	0.17	5.03	0.43	0.00	0.14	0.00	14.20
Total	23.67	5.53	10.84	2.27	49.19	4.04	0.28	1.13	3.05	100.0

The figures are percentages of the total failure rate for the actual maintainable item/failure mode combination.

El porcentaje de Fallas referido al **Item Mantenible** sello es 10,78 (10,78 %)
 Por tanto la tasa de Falla, si se supone llegar a la rotura para los sellos es de 1130,37. Esto es 121,85 Fallas por millón de horas.

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 mas complejo como el cambio en el diseño.

La Norma **ISO 14224** permite elegir las siguientes **acciones**, que están alineadas con la s preguntas del **RCM**.

RCM	NORMA ISO 14224	MÉTODO DE DETECCIÓN
SERÁ EVIDENTE A LOS OPERADORES ESTE MODO DE FALLA ACTUANDO POR SÍ SOLO EN CIRCUNSTANCIAS NORMALES.	Observación	Observación debido a controles rutinarios ó casuales del operador por medio de los sentidos (ruidos, olores, humos, pérdidas, apariencia, indicadores locales)
ES TÉCNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA UNA TAREA A CONDICIÓN	Monitoreo continuo	Fallas reveladas durante un monitoreo continuo de condición de Equipos para un predefinido modo de Falla, ya sea manual ó automáticamente, como termografías, mediciones de vibraciones, análisis de aceite, muestreo
	Monitoreo periódico	Fallas reveladas durante un monitoreo programado de condición de Equipos para un predefinido modo de Falla, ya sea manual ó automáticamente, como termografías, mediciones de vibraciones, análisis de aceite, muestreo
	Inspección	Falla descubierta durante una inspección planificada: inspección visual, ensayos no destructivos
ES TÉCNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA UNA TAREA A REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	Mantenimiento preventivo	Falla descubierta durante el Mantenimiento preventivo, reemplazo ó reparación mayor de un Equipo, mientras se ejecutaba el programa de Mantenimiento preventivo
ES TÉCNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA UNA TAREA A DE SUSTITUCIÓN CÍCLICA	Mantenimiento preventivo	Falla descubierta durante el Mantenimiento preventivo, reemplazo ó reparación mayor de un Equipo, mientras se ejecutaba el programa de Mantenimiento preventivo
ES TÉCNICAMENTE FACTIBLE Y MERECE LA PENA UNA TAREA A DE BÚSQUEDA DE FALLOS	Ensayo en funcionamiento	Falla descubierta durante la activación de una función y comparando la respuesta con un estándar predefinido
NO HACER MANTENIMIENTO SI NO TIENE CONSECUENCIAS	Mantenimiento correctivo	Falla observada durante Mantenimiento correctivo
REALIZAR REDISEÑO	Otros	Otros métodos de observación

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

CALCULO DEL NUEVO RPN

Con la tarea preventiva o de mitigación establecidas se evalúa la mejora tomando como nueva frecuencia o Tasa de Falla solamente la crítica (suponiendo que las demás Fallas son detectadas en los Mantenimientos)

PROPUESTA DEL TRABAJO A LAS COMPAÑÍAS DEL ÁREA PETROLERA

Construir una base de datos bajo estos lineamientos para compartir entre empresas orientada a

- Recomendaciones y estandarización hacia el rediseño
- Recomendaciones y estandarización hacia las protecciones
- Mecanismos de detección temprana ponderados acorde a criticidad y potencia de equipos.
- Análisis y registro de mecanismos de fallas nunca evaluados
- Cuantificar los Riesgos (RPN)
- Recomendaciones practicas de Operación y Mantenimiento
- Diseño de planes de capacitación y evaluación del personal.
- Gestionar el conocimiento de Operación y Mantenimiento desde una Base de Datos con criterios iguales.

EXPERIENCIA PILOTO

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

SKANSKA
skanska.com

SISTEMA FMEA
Items Mantenibles

Clase	Componente	Item mantenible
CE-Motores de Combustión - Pistón (Motores Diesel/Gas)	Sistema de arranque	Energía de Arranque (Batería, Aire)

Página 1 de 1

Nro	Modo	Descriptor	Causa	Método de detección
[1]	FTS-No arranca al momento de encender	General	General	Mantenimiento preventivo
[2]	FTS-No arranca al momento de encender	General	General	Mantenimiento preventivo

Formulario de Agregar/Editar registros

Tipo: Aplicación:

Causa potencial de falla del equipo:

Modo de Falla: Descriptor de Falla: Causa de Falla: Metodo de detección:

Efecto potencial de falla del equipo:

Severidad: Clasificación: Ocurrencia: Efectividad detección:

Costo Materiales: Costo horas: Costo Subcontratos: Lucro Cesante:

Acción recomendada: Frecuencia:

Se implementó un Registro de Fallas con los lineamientos de la Norma ISO 14224 y OREDA, para eventos y fallas de mantenimiento durante un año.

Operaciones [DC]

 Tablas Maestras Grales
 Tablas Maestras Proceso
 Armado de Estructura
 Armado de Inventario
 Trabajos MPX
 Carga de Partes/OT/Fallas

Cód. Servicio:
 Nro Inventario: MOE-0015-8 MOTOR ELECTRICO BOMBA
 Cod. Proceso: PIA
 Cod. Subproceso:
 Cod. Equipo: MOTOR ELECTRICO
 Ubicación:
 TAG:
 Cod. Clase ISO: ELECTRIC MOTOR
 Fecha Emitida: 20/01/2006 ? Vie 20 de Enero de 2006.
 Cod. Impacto: 2 IMPACTO PARCIAL
 Descripción Ampliada:
 Modo de Falla: FTF Falla funcional en demanda
 Cód Subunit: MEL MOTOR ELECTRICO
 Cod. Item Mantenible: 140 CELDA
 Cod. Componente Detalle:
 Cod. Descrip Falla: 2.7 Sobrecalentamiento
 Cod. Causa Falla: 3.3 Error de mantenimiento
 Cod. Metodo Deteccion: 8 Combinación
 Cod. Severidad: IN INCIPIENTE
 Causa Raíz:
 Fecha Acción Correctiva: 01/01/1999 ? Vie 1 de Enero de 1999.
 Acción Correctiva:

En el análisis realizado sobre una Bomba, se relevó

		CAUSA DE FALLA	CANTIDAD			
Humano	operación	3.1-Operación fuera de los parámetros de diseño	16	17.58%	34.07%	74.73%
		3.2-Error de operación	13	14.29%		
	mantenimiento	3.3-Error de mantenimiento	7	7.69%	7.69%	
		diseño	1.3-Diseño inadecuado	5	5.49%	
	1.2-Material inadecuado		27	29.67%		
			Otros	23	25.27%	25.27%
			TOTAL	91	100.00%	

En esta Tabla se puede apreciar el impacto del error humano, que es del 22% (Error de operación mas Error de Mantenimiento); y puede llegar 74,73 % del total de las Causas de Falla, según el criterio que se analice. Una de las maneras de mitigación es el entrenamiento y la comprensión de los diferentes comportamientos humanos profundamente relacionados al trato de las personas.

Basado en este resumen son variadas la posibilidades de análisis. El objetivo es poner en evidencia el factor humano, de modo que sea tenido en cuenta como tal.

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 logre CALIDAD en el dato.
- Consolida la Información Histórica con el objeto de:
 - Obtener Indicadores para la Eficiente Administración de un Servicio
 - Desarrollar Base de Datos que permiten Benchmarking Interno o Externo
- 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. Se desprende un uso adicional como documento de ayuda al técnico de Operación y Mantenimiento, bajo una estructura estandarizada.
- 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.

NOTA del Autor: Muchos son los esfuerzos individuales para análisis realizados sobre un mismo tipo de equipos, sus mecanismos de fallas compuestos, 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 pilotos y discusiones de un trabajo en equipo.

Estos son algunos de los nombres: Hector Ecay, Raúl Tizio, Roberto Murello; Nestor Garcia; 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.
- NOTAS de CAMPO tomadas durante los pilotos y pruebas.

Autor: Ing. Mario Troffé.
Empresa: Skanska Oil & Gas Service.

Institución: IAPG seccional Comahue.

Punto del temario: Aplicaciones de ISO 14.224, Análisis de Confiabilidad cuantitativos.

Antecedentes Autor: Ingeniero Universidad de La Plata. SADE puesta en marcha Destilería La Plata, 2 años. Aluar Aluminio Operación y, Mantenimiento laminados 2 años. Petroken (Shell Repsol) Mantenimiento petroquímica 5 años. Skanska Servicios de Operación y Mantenimiento, coordinación Ingeniería de Mantenimiento, 9 años.

E-mail: mario.troffe@skanska.com.ar; mtroffe@yahoo.com.ar.

Dirección: Las Acacias 1395 – Cipolletti – CP 8324 – Río Negro