



www.machineryinstitute.org



**Guía para la Aplicación
de la Metodología
“Mantenimiento Centrado
en Confiabilidad – MCC”**

C+RCM
Cost & Risk

ASPECTOS PRINCIPALES

El **RCM** es una metodología de gestión de mantenimiento que sirve para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias y recursos en los activos físicos más importantes de un sistema, en un contexto operacional presente. Su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos físicos en un determinado contexto y entorno operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapte a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo, riesgo y beneficio, esto con el apoyo de herramientas como el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y el Número Ponderado de Riesgo (NPR) de los activos físicos sometidos a la aplicación.



Es recomendable que a partir del primer paso se adopte un proceso centrado en las mejores prácticas de gestión de proyectos documentadas, el PMBOK del PMI, de preferencia el líder del proyecto de implementación de la metodología MCC debe contar con una certificación como PMP emitida por el PMI.

El proceso que presentaremos tiene como objeto optimizar los procesos clásicos desarrollados en los años 90. En el mismo se combinan conocimientos adquiridos en aplicaciones de metodologías como: RCM+ de TWPL, RCM2 de John Moubray y SRCM® de Erin, estas mencionadas fuentes internacionales se dedican al desarrollo y aplicación de este tipo de metodologías.

1 EQUIPO NATURAL DE TRABAJO

Para dar inicio al proyecto se realiza una reunión de arranque con los patrocinadores del **MCC**, para la creación del equipo de trabajo que será seleccionado por la organización y validado por el experto en la metodología.

El equipo de trabajo debe estar compuesto por personal de Mantenimiento, Operaciones, **SHA** (Seguridad, Higiene y Ambiente) y Abastecimiento, este debe tener un líder o facilitador del método.

También se debe establecer un calendario de reuniones proactivas para las sesiones de análisis donde asistirán los miembros y los invitados.

2 SELECCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO A ANALIZAR (Evaluación de la Estructura de Activos Físicos)

Se selecciona el Proceso, Subproceso, Planta o Sistema a evaluar en función a su nivel de criticidad, producto de un trabajo previamente elaborado en la planta. Esto implica que un estudio de criticidad previo es recomendable.

Partiendo del diagrama de proceso y su estructura de activos, se determina por criticidad que área de la planta será sometida a un proceso de mejora de sus planes de mantenimiento mediante la aplicación del **MCC**.

Un punto muy importante a considerar en esta etapa del proceso es el siguiente:

- **¿Qué tipos de equipos están en el sistema seleccionado?** El **MCC** aplica para equipos mecánicos rotativos, mecánicos estáticos, eléctricos y de instrumentación, sin embargo quedan excluidos de la aplicación del **MCC** las funciones de contención de energía (recipientes, tuberías, tanques) que se evalúan por metodologías de Integridad Mecánica como el IBR (Inspección Basada en Riesgo), funciones de sistemas de protección (Sistemas de Detección de Gas y Fuego, Sistemas Instrumentados de Seguridad) que se evalúan mediante estudios **HAZOP+SIL+SIS** y sistemas de mitigación (Sistemas de Supresión, Sistemas contra incendio).

3 RECOPIRAR LA INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS

La recopilación de la información de los equipos del sistema seleccionado, la haremos mediante un levantamiento histórico de los modos de fallas ocurridos durante dos años, así como sus efectos para cada uno de los equipos, la información debe contener:

- Descripción del modo de falla.
- Efectos de la falla.
- Frecuencia con la que ha ocurrido la falla.
- Causa de la falla.

Cuando no se cuenta con datos históricos podemos buscar estudios internacionales de referencia como: **PARLOC, OREDA, EsREDA, CCPS, NERC** entre otros.

4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) es un método sistemático para identificar y prevenir problemas en activos físicos de proceso. Un **AMEF** se centra en la prevención de fallas antes de que ocurran. Idealmente, un **AMEF** se lleva a cabo en el diseño del sistema y equipo o en la etapa del proceso de desarrollo, pero también puede llevarse a cabo en procesos existentes. El AMEF es un ingrediente clave en los programas de mejoramiento de mantenimiento.

Para la aplicación de los **AMEF**, no es necesario llevar a cabo estadísticas complicadas, sin embargo, puede generar ahorros significativos y reducir costos potenciales en los procesos que no cumplen con lo esperado.

Sin embargo, los **AMEF** requieren de la participación de varias personas. Por otra parte, las empresas deben estar preparadas para permitir a un equipo de **AMEF** el tiempo suficiente para completar el análisis.

Propósito de la aplicación del AMEF

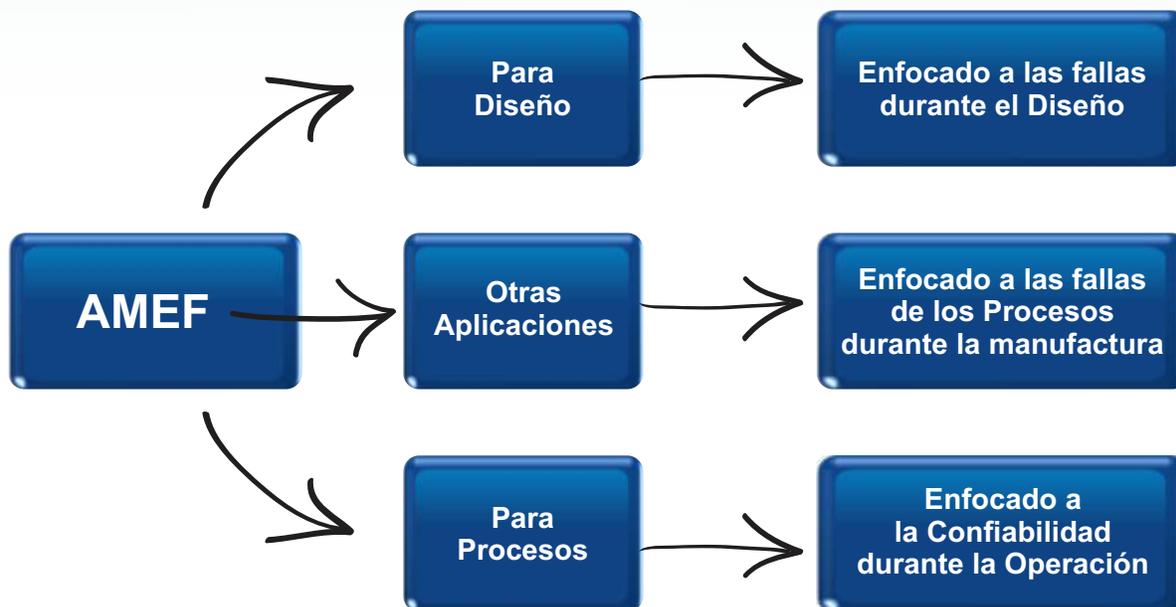
El **AMEF** se considera un método para identificar la gravedad de posibles modos de falla y para aportar una contribución a las medidas de mitigación para reducir el riesgo a través de un conjunto sistemático de actividades destinadas a:

Reconocer y evaluar las posibles fallas y sus efectos.

Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra la falla.

Documentar el proceso para realizar mejoras en los diseños.

Tipos de AMEF



Procedemos al “**Análisis de Modos y Efectos de Fallas**” (AMEF), en esta fase se tabulan los componentes y sus funciones para que el equipo de trabajo inicie la evaluación del comportamiento de los activos en un periodo de tiempo que estimamos de 2 años.

En este paso de la metodología ponemos en práctica el diagrama de flujo de aplicación del **AMEF** de la norma **IEC 60812** descrito en la figura N°1.

El mencionado flujograma representa paso a paso la forma lógica para la organización de la información que alimentara la Tabla N°1 del de la norma **IEC 60812** que finaliza el proceso de aplicación de la herramienta **AMEF**.

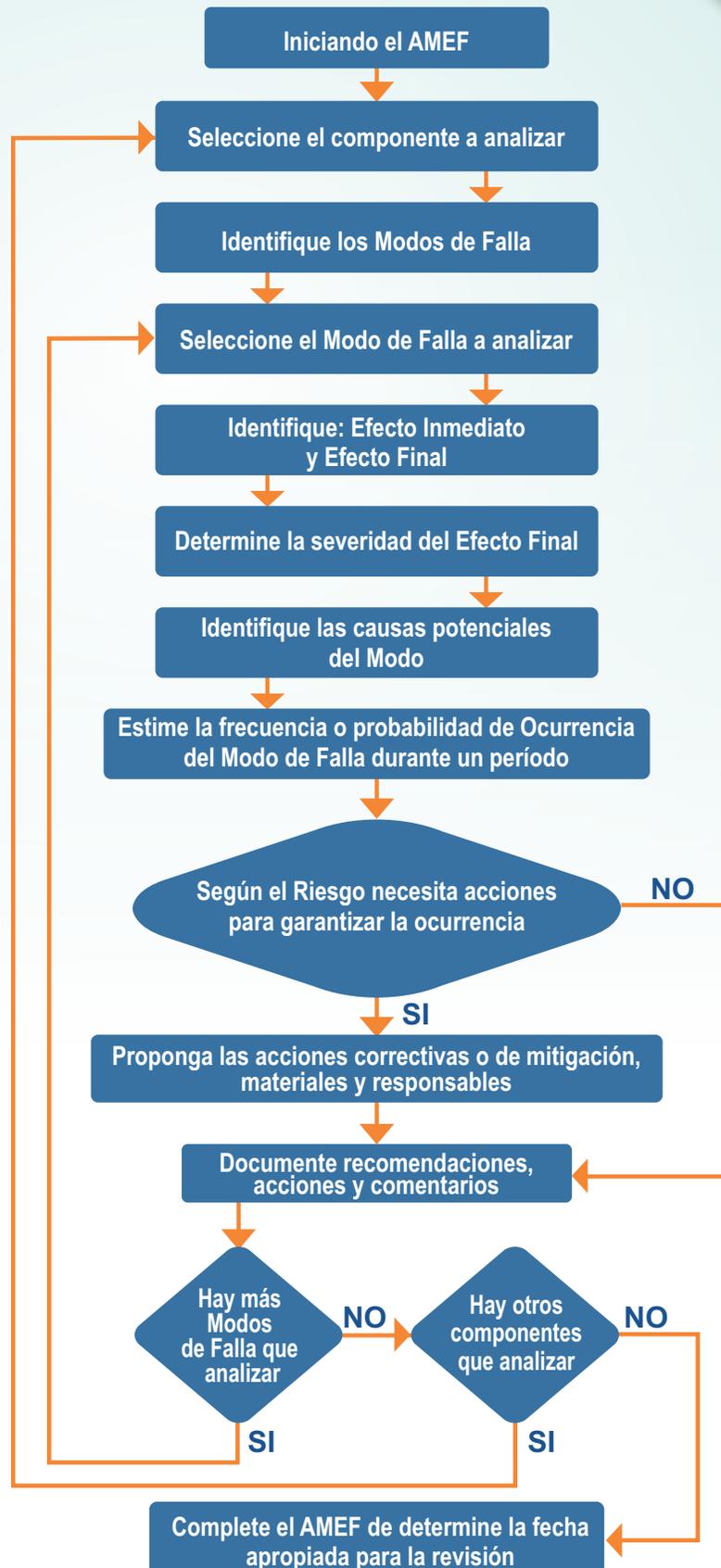


Figura N° 1:
Diagrama de Flujo
Aplicación AMEF.
Norma IEC 60812

La Tabla N°1 de la Norma IEC 60812 para la aplicación del **AMEF** cumple con las preguntas claves de la norma SAE JA1011 las cuales establece que el proceso debe considerar:

- a- ¿Cuál es la función del componente a analizar?
- b- ¿Cuál es la falla funcional?
- c- ¿Cuál es el modo de falla?
- d- ¿Cuáles son los efectos de la falla?
- e- ¿Cuáles son las consecuencias de la falla?
- f- ¿Cuáles son las tareas proactivas propuestas?
- g- ¿Cuál es el intervalo de ejecución de las tareas?
- h- ¿Cuáles son las acciones propuestas si las proactivas no son las adecuadas?

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Elemento y Mecanismo)	EFEECTO	CAUSA DE FALLA	Frec.	
	1	1.1	1.1.1			

Tabla N° 1: Tabla para Desarrollo de los AMEF

El análisis **AMEF** puede resumirse en cuatro elementos básicos:

- **Requerimientos y normas de operación:** La idea de los sistemas es cumplir con las funciones asignadas.

- **Fallas Funcionales:** Las posibilidades de romper las funciones de los sistemas. Debe quedar claro bajo este enfoque que un equipo puede estar funcionando y a su vez estar fallando, por no cumplir con las funciones especificadas.

- **Modos y causas de falla:** Mecanismo físico por el cual se desencadena una falla, normalmente son las causas de las mismas.

- **Efectos de falla:** Lo que ocurre cuando se desata una falla, permite estimar las consecuencias de las fallas.

- **Evaluación de consecuencias.**

- **Definición de las tareas de mantenimiento.** (Este queda diferido a la aplicación del paso 7 de esta guía)

Es importante indicar que en esta fase el **MCC** tiene un enfoque a los efectos de las fallas y sus consecuencias e Impactos que estos originan, más que centrar la atención en las causas que las originaron.

5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO PONDERADO DE RIESGO

El número ponderado de riesgo es una ecuación simple que permite dar un orden de prioridades a los modos de falla en los AMEF, lo cual permitirá ordenar los modos de fallas por orden de importancia en base a su riesgo, y así poder dedicar mayor esfuerzo en analizar los de mayor impacto.

Dentro de las premisas de jerarquización podemos tener:

- Aplicar análisis probabilístico de fallas al 20% de los modos de fallas con mayor número ponderado de riesgo.
- Desarrollar procedimientos de trabajo e instrucciones de trabajo al 30 % de los modos de falla con mayor índice de riesgo.
- Entre otras.

Las variables descritas en la tabla N°2 son:

- **NO**= Nivel de Ocurrencia, factor que establece la frecuencia con la que ocurre el modo de falla.
- **NS**= Nivel de Severidad, factor que describe la suma de los impactos por Seguridad, Ambiente, Producción y Mantenimiento.
- **ND**= Nivel de Defectabilidad, factor que permite ponderar el nivel de detección del modo de falla.
- Estos factores se ponderan de forma semicuantitativa, tal como se muestra en anexo N° 2.

PRIORIDAD (Riesgo)			
NO	NS	ND	RPN

$$wt \ b \ \square \ b \ h \ x \ NS \ x \ ND$$

Tabla N° 2: Ecuación para cálculo del índice de riesgo. (RPN-Risk Priority Number)

6 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE FALLA

En el recuadro Frecuencia (Frec.) o Probabilidad de Ocurrencia de la tabla de los AMEF se registra la frecuencia con la que ocurre el modo de falla descrito, es aquí donde juegan un papel importante los especialistas en mantenimiento quienes de acuerdo al tipo de componente, mecanismo de deterioro y el contenido del recuadro “Método de Detección”, determinará el intervalo entre una falla potencial y una funcional; toda esta información permitirá ubicar la falla en la curva de la bañera y basado en modelos estadísticos (Análisis Probabilístico de Fallas), aplicar la frecuencia idónea y adecuada de la tarea, sin excedernos de los límites mínimos rentable y máximos permisible del negocio.

Parte de la optimización de la metodología es la aplicación del Análisis Probabilístico de Fallas que puede establecer la frecuencia de falla más probable y el momento idóneo para la manutención; también utilizar criterios de (OCR) Optimización Costo-Riesgo para tomar el resultado de la confiabilidad obtenido mediante el análisis probabilístico e incluir los costos asociados a realizar o no realizar dicha actividad, un ejemplo se puede observar en la Figura N°2.1.

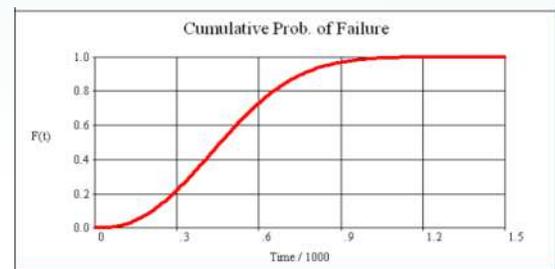


Figura N°2: Análisis Probabilístico de Fallo de un sello mecánico. (Software Relest)

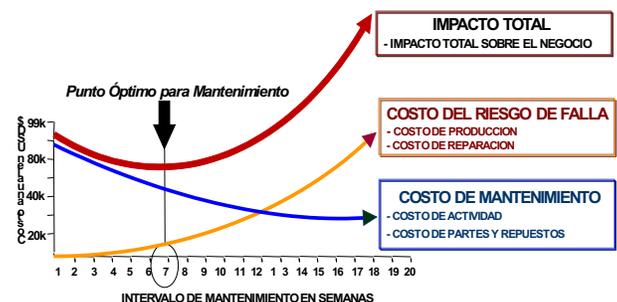


Figura N°2.1: Análisis Costo-Riesgo Beneficio

7 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE TAREA DE MANTENIMIENTO

Para la determinación del tipo de tarea o actividad, existen algoritmos, árboles o flujogramas de decisiones como el descrito en la figura N° 3, para poder llegar a través de ellos a la identificación del tipo de tarea más idónea producto del análisis de la tabla del AMEF.

En el recuadro de “Tareas” se describirán las tareas específicas y aterrizadas que eliminarán las causas de las fallas y mitigarán sus consecuencias.

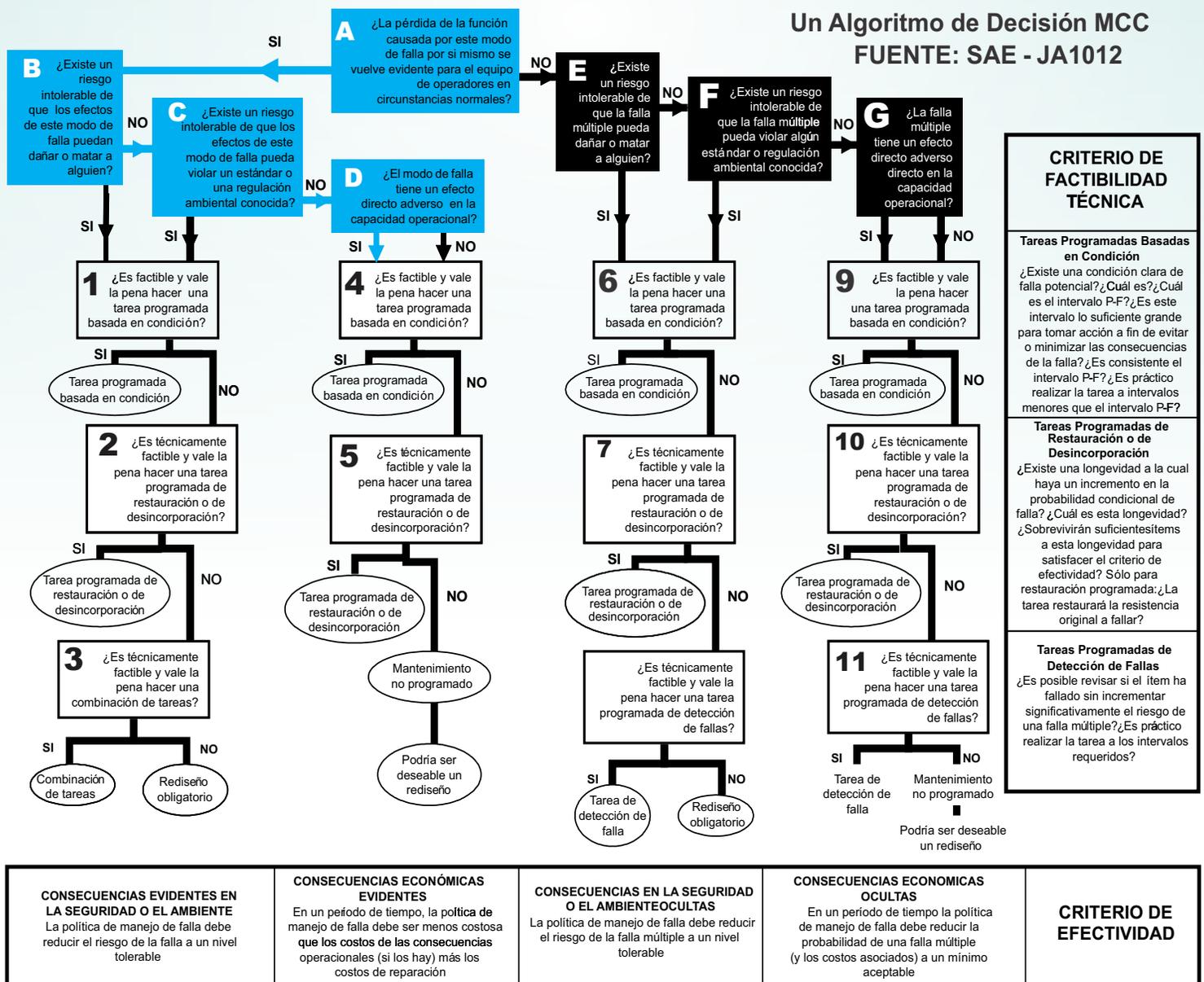


Figura N°3: Algoritmo de decisiones para el MCC

8 DESARROLLAR LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Estas tareas deben describirse con la siguiente información:

1. Disciplina:

- a. Mecánica.
 - b. Electricidad.
 - c. Instrumentación.
 - d. Otras.
-

3. Costos o recursos de la tarea (repuestos, consumibles, mano de obra, contratación).

4. Responsable.

5. Frecuencia de ejecución.

2. Tipo de actividad:

Preventiva:

- Sustitución.
- Acondicionamiento.
- Búsqueda de falla o detectiva.
- Inspección.
 - Vibración.
 - Termografía.
 - Toma de Muestra de Aceite.
 - Inspección Boroscópica.

Tabla N° 4: Agrupado de Tareas de Mantenimiento Producto del MCC

SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						
Tipo de mantto	Disciplina	Descripcion del mantto	Ejecutante	Frecuencia	HH	Repuestos

9 IMPLEMENTAR LA APLICACIÓN DEL MCC

Al final del proceso se tendrá agrupadas las tareas por componentes, con los detalles ya descritos, que serán evaluados por un comité de especialistas para su aprobación, quienes a través de un análisis simple de comparación / validación con los planes actuales; determinarán las tareas que serán aplicadas en un sistema de gestión de mantenimiento, las cuales conformaran los planes de mantenimiento de los activos que fueron parte de la aplicación del método **MCC**.

De poseer un sistema informático (Software) de gestión de mantenimiento, el resultado de la función de los planes existentes y el resultado de la aplicación del **MCC** debe ser actualizado en el sistema para dar inicio a su puesta en marcha mediante la cadena de valor del mantenimiento: Inspección, Planificación, programación, Ejecución y Control de Calidad.

ANEXO N° 1

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AMEF

Esta lista de verificación para calificación está diseñada para **AMEF** con propósitos de mejoras de la Confiabilidad de Sistemas o Activos en Operación.

Rango de Calificación.

5: Cumple con los detalles establecidos en las mejores prácticas referidas.

3: Cumple con las características básicas establecidas en las referencias de este documento.

1: No cumple con los requisitos establecidos en las referencias.

Í °	Descripción	Pond.	Calif.
1	Descripción del Sistema, Subsistema o Equipo a realizar el AMEF.	4%	
2	Descripción de Función o Funciones Principales y Secundarias, agrupadas en un texto o separadas, indicando claramente variables de interés y sus límites	9%	
3	Descripción de las fallas funcionales o pérdidas de función (El negado de la función).	9%	
4	Descripción del Modo de Falla, indicando la combinación de ítem en falla y su mecanismo de falla, de forma integrada o separados.	9%	
5	Descripción de los Efectos generados por el modo de falla, local y final, directo e indirecto.	9%	
6	Identificación de la Posible Causa de la Falla. Circunstancia durante el diseño, construcción, manutención, operación u otros que ocasionó el modo de falla.	9%	
7	Cálculo del Numero de Prioridad por Riesgo (RPN: Risk Priority Number), obtenido por la multiplicación de la ponderación Semicuantitativa o Cuantitativa de la Severidad, Detectabilidad y Ocurrencia (Frecuencia) de la falla.	9%	
8	Acciones actuales existente contra la falla ocurrida, conocido como el proceso existente de control o detección.	7%	
9	Recomendaciones contra el modo de falla.	7%	
10	Responsable por la ejecución y seguimiento de la recomendación.	7%	
11	Fecha para completación de las recomendaciones.	7%	
12	Resultados esperados con la aplicación de las recomendaciones, incluye la estimación de los nuevos valores de Severidad, Detectabilidad y Ocurrencia para cálculo del RPN, esperando una disminución del mismo.	7%	
13	Lista de Personas que integraron el equipo de análisis incluidos los elementos medulares de la cadena de valor del proceso, por ejemplo: Mantenimiento y Operaciones.	7%	
TOTAL		100%	

ANEXO N° 2

TABLAS PONDERADAS PARA DETERMINACIÓN DEL NUMERO PONDERADO DE RIESGO (RPN)

TABLA 1

Escala que permite definir el nivel de ocurrencia de cada modo de falla en un determinado activo.

Nivel de ocurrencia NO	Descripción (frecuencia de ocurrencia)	Probabilidad de ocurrencia de la falla
10	Muy alta: falla que es casi inevitable	Más de una ocurrencia por día, o una probabilidad de más de tres ocurrencias en diez eventos
9		Una ocurrencia cada tres o cuatro días, o una probabilidad de tres ocurrencias en diez eventos
8	Alta: continuamente falla	Una ocurrencia por semana o una probabilidad de cinco ocurrencias en cien eventos
7		Una ocurrencia por mes, o una ocurrencia en cien eventos
6	Moderada: ocasionalmente falla	Una ocurrencia cada tres meses o tres ocurrencias en mil eventos
5		Una ocurrencia cada seis meses en un año, o una ocurrencia en diez mil eventos
4		Una ocurrencia por año o seis ocurrencias en cien mil eventos
3	Baja: relativamente falla poco	Una ocurrencia entre uno y tres años o seis ocurrencias en diez millones de eventos
2		Una ocurrencia entre tres y cinco años o dos ocurrencias en un billón de eventos
1	Remota: no es probable que falle	Una ocurrencia en mas de cinco años, o menos de dos ocurrencias en un billón de eventos

TABLA 2

Escala que permite definir el nivel de detección o control actual que se tiene sobre los modos de fallas y/o los efectos que estos pueden producir en un contexto operacional definido.

Nivel de detección ND	Descripción (Grado de control o detección)	Definición
10	Absolutamente incierto	EL proceso y el producto no es controlado o inspeccionado, las anomalías por fallas no son detectados
9	Muy remoto	Se inspecciona solo el producto final a partir de un nivel aceptable de calidad
8	Remoto	Se inspecciona solo el producto final en base a un modelo previamente probado
7	Muy bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso(no hay ayuda de equipos modernos de control)
6	Bajo	Se inspecciona solo el manualmente durante todo el proceso, usando pruebas de ensayo y error
5	Moderado	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado al final del proceso en la línea de producción (25 % automatización)
4	Moderadamente alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en dos puntos del proceso en la línea de producción (50 % automatización)
3	Alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en más de dos puntos del proceso en la línea de producción (75 % automatización)
2	Muy alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso en la línea de producción (100 % automatización)
1	Totalmente controlado	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso de la línea de producción (100 % automatización) con calibración continua y mantenimiento preventivo de los equipos utilizados para controlar e inspeccionar el proceso y el producto

TABLA 3

Escala que permite definir el nivel de severidad o el impacto que podría generar la ocurrencia de un modo de falla.

Nivel de Severidad NS	Descripción (Nivel de severidad de la falla)	Efectos de las fallas
10	Peligrosamente alto	Fallas que pueden causar pérdidas humanas
9	Extremadamente alto	Fallas que pueden crear complicaciones con regulaciones federales (leyes)
8		Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados.
7	Alto	Fallas que causan un alto grado de insatisfacción al cliente que recibe el servicio
6	Moderado	Fallas que afectan un subsistema y originan un mal funcionamiento de los equipos disminuyendo la calidad del servicio
5	Bajo	Fallas que provocan la pérdida de eficiencia y causan que el cliente se queje.
4		Fallas que pueden ser mejoradas con pequeñas modificaciones y su impacto sobre la eficiencia de los equipos es pequeña
3	Menor	Fallas que podrían crear mínimas molestias al cliente, molestias que el mismo cliente podría corregir en el proceso sin necesidad de perder eficiencia
2		Fallas que son difíciles de reconocer por el cliente y cuyos efectos serán insignificantes para el proceso
1	Ninguno	Fallas que no son identificables por el cliente y no afectan la eficiencia del proceso



Machinery & Reliability Institute

Mobile City, Alabama - USA. 36695.

 +1 251 285 0287 / +1 205 578 7025

 info@machineryinstitute.org

 @MachineryRelia

 MachineryInstitute

www.machineryinstitute.org

