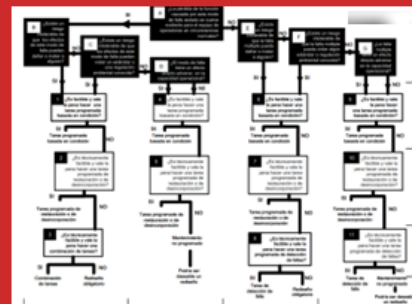
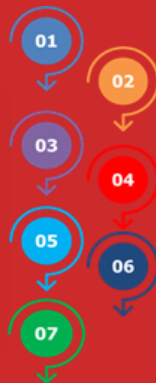


MANUAL DEL CURSO

INTRODUCCION AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)



Introducción	1
Objetivos del curso	2
Aclaratoria	2
1. CONCEPTOS BÁSICOS Y TERMINOLOGÍA.....	1
1.1 Evolución del mantenimiento y los patrones de falla	1
1.2 Evolución del mantenimiento y las nuevas técnicas /nuevos desarrollos	2
1.3 Tipos de mantenimiento según la Norma EN 13306:2018	3
1.4 Categorías de mantenimiento según la Norma ISO 14224:2016.....	4
1.5 Estándares de desempeño	5
1.6 Niveles de funciones	6
1.7 Nivel jerárquico de fallas.....	7
1.8 Mecanismo de falla	7
1.9 Confiabilidad	10
1.10 Las 10 mejores prácticas	10
1.11 Confiabilidad Operacional.....	11
1.12 AMEF o FMEA (Análisis de modos y efectos de falla).....	13
1.13 FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y su Criticidad)	14
1.14 Diferencias entre el AMEF y el FMECA.....	14
1.15 Equipo de trabajo.....	15
1.16 La Curva de la Bañera y la distribución de Confiabilidad.....	16
2. MCC – ASPECTOS GENERALES.....	18
2.1 ¿Qué es el MCC?.....	18
2.2 Propósito del MCC.....	18
2.3 Origen y evolución del MCC.....	19
2.4 Las 7 preguntas del MCC	21
2.5 Áreas de aplicación del MCC.....	21
2.6 Beneficios del MCC.....	22
2.7 El MCC como una cultura de la organización.....	22
2.8 Normas relacionadas con el MCC.....	23
2.9 El MCC como una cultura de la organización.....	25

2.10	inversión de recursos en el MCC.....	25
2.11	Alternativas al MCC.....	25
2.12	¿Por qué el MCC ha sido históricamente tan difícil de implementar?	26
2.13	Causas que afectan la calidad de un estudio de MCC.....	27
2.14	Secuencia de implementación del MCC en instalaciones.....	27
2.15	Información básica para desarrollar un MCC.....	28
2.16	Los 4 pasos que guían a un equipo de trabajo para lograr un exitoso MCC.....	29
3.	LAS 7 PREGUNTAS/PASOS DEL MCC.....	30
3.1	Descripción general.....	30
3.2	Comparativa de las preguntas/enunciados del MCC.....	30
3.3	Pregunta/Paso 01 – El Contexto Operacional.....	31
3.4	Pregunta/Paso 01 – Funciones.....	43
3.5	Pregunta/Paso 02 – Fallas Funcionales.....	52
3.6	Pregunta/Paso 03 – Modos de falla.....	54
3.7	Pregunta/Paso 04 –Efecto de falla.....	67
3.8	Pregunta/Paso 05 – Consecuencia de fallas	76
3.9	Pregunta/Paso 06 – Selección de políticas de manejo de fallas.....	89
3.10	Pregunta/Paso 07 – Cambios de especificaciones/Operar hasta fallar.....	113
4.	ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS	116
4.1	Descripción general.....	116
5.	AUTORIZACION, IMPLEMENTACION, SEGUIMIENTO Y CONTROL	122
5.1	Descripción general.....	122
6.	PERSONALIDADES RELEVANTES EN EL MUNDO DEL MANTENIMIENTO Y LA CONFIABILIDAD.....	124
7.	ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	126
8.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	127
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

Introducción

En la época actual, la Excelencia y Confiabilidad son factores de distinción de las empresas cuya gestión empresarial está orientada a lograr el aseguramiento del retorno de inversión de sus activos, optimizar el uso de la capacidad instalada, controlar y administrar los riesgos de los activos durante todo el su ciclo de vida y maximizar el conocimiento del personal de la organización sobre sus activos, entre otros.

En este sentido la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en cualquier instalación, contribuye a que los activos, sistemas y/o equipos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operativo actual, lo cual se traduce en reducción del tiempo de inactividad, mejora de la seguridad, aumento de la productividad y reducción de los costos generales de mantenimiento.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) es un proceso probado y consagrado que se ha empleado en todo el mundo durante más de cuatro décadas en casi todas las industrias. Debido a que sus principios son tan sólidos, tan poderosos y versátiles, el proceso ha resistido la prueba del tiempo y la intromisión humana.

Hay muchas propuestas de MCC en el mercado que incorporan diferentes enfoques; muchos de ellos se apartan significativamente de lo que pretendían los arquitectos originales del proceso, Stanley Nowlan y Howard Heap. Los principios básicos del MCC han sido criticados y manipulados porque a menudo se cree erróneamente que EL MCC tarda demasiado en realizarse, es demasiado caro o todos los pasos son simplemente innecesarios.

El MCC es un proceso brillante que brinda a una organización la oportunidad de transformarse en una empresa más segura y rentable. Siempre y cuando sea realizado correctamente por las personas adecuadas.

El contenido del curso abarca los principios básicos del MCC y establece un enfoque de equipo de trabajo para maximizar los resultados de los estudios que el personal realice posteriormente en sus áreas de trabajo.

Objetivos del curso

- Dar a conocer a los participantes los conceptos y pasos de la metodología MCC para generar las acciones de mantenimiento que permitan aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, y mejorar la productividad.
- Promover el desarrollo de las capacidades de los participantes para que emprendan la ejecución exitosa de estudios de MCC en sus instalaciones.

Aclaratoria

Este manual contiene información adicional a la mostrada en la presentación del curso como apoyo adicional para consolidar los conceptos y pasos de la metodología del MCC.

Esta información se presenta en negrillas y en el color mostrado en este texto.

1. CONCEPTOS BÁSICOS Y TERMINOLOGÍA

1.1 Evolución del mantenimiento y los patrones de falla

Aparte de las mayores expectativas y las nuevas tecnologías, la investigación cambió muchas de nuestras creencias más básicas sobre la edad y la ocurrencia de las fallas. En particular, es evidente que cada vez hay menos conexión entre la edad operativa de la mayoría de los activos y su probabilidad de falla, específicamente en instalaciones modernas.

En la figura 01-01 se muestra que en la primera generación del mantenimiento la falla se presentaba simplemente que a medida que las cosas envejecían, eran más propensas a fallar. En la segunda generación del mantenimiento se modificó la creencia de la generación anterior se implementó el patrón de la curva de la " bañera " .

Durante las investigaciones en la tercera generación del mantenimiento se reveló que no uno o dos, sino seis patrones de falla en la práctica, lo cual tiene un profundo impacto sobre el mantenimiento.

En la cuarta generación, el enfoque está hasta ahora en reconocer los seis patrones de falla, pero más aún en eliminar las fallas por completo, una propuesta difícil y con más presión sobre la integridad del diseño, las prácticas de garantía de producción, la seguridad del proceso y el mantenimiento.

Ya no se pueden tolerar las fallas y el equipo debe funcionar con estándares aceptables desde el principio. Comprender las características de las fallas es fundamental en el desarrollo de estrategias de gestión de riesgos, especialmente las estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo. El impacto que esto tiene en el desarrollo de estrategias de mantenimiento rentables todavía se subestima y se malinterpreta.

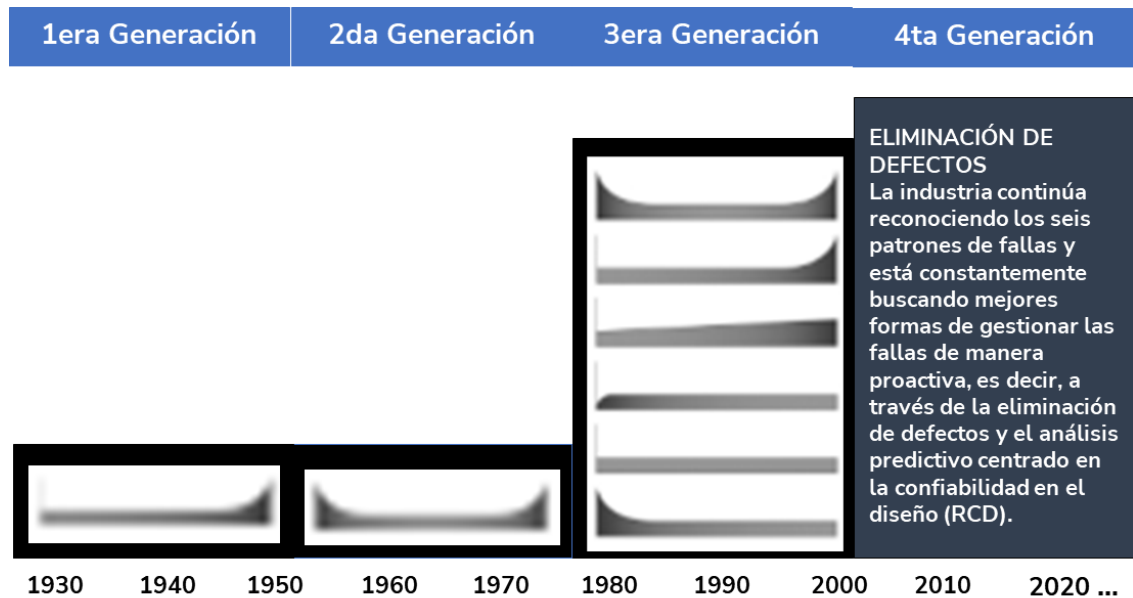


Figura 01-01. Evolución del Mantenimiento y los patrones de falla.

1.2 Evolución del mantenimiento y las nuevas técnicas / nuevos desarrollos

En los últimos 30 años ha habido un crecimiento explosivo en nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento y continuamente surgen más. La figura 01-02 muestra cómo el énfasis clásico en las revisiones y los sistemas administrativos ha crecido para incluir muchos desarrollos nuevos en varios campos diferentes.

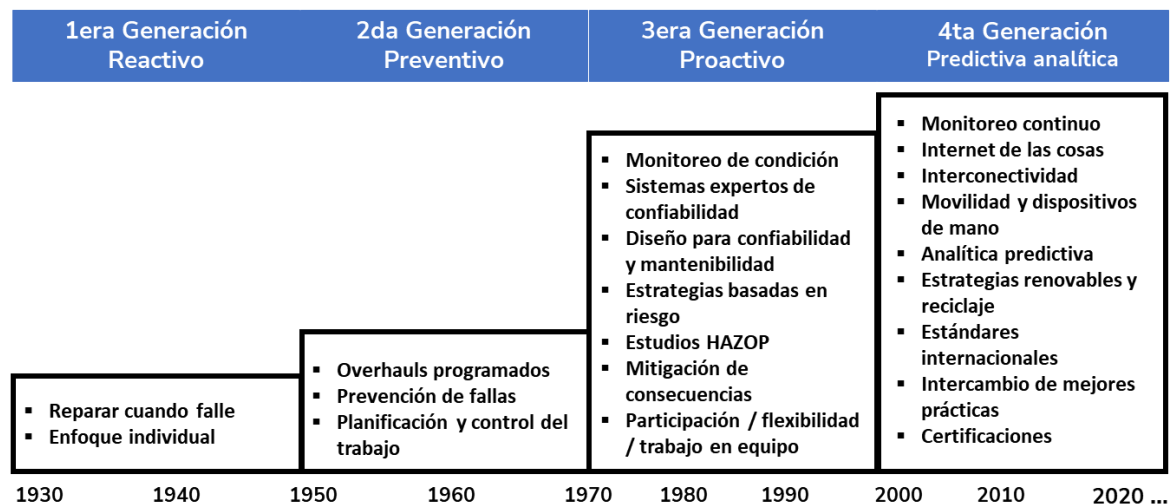


Figura 01-02. Evolución del Mantenimiento y las nuevas técnicas / nuevos desarrollos.

Con el desarrollo de nuevas herramientas tales como soporte de decisiones, estudios de peligros, modos de falla y análisis de efectos, sistemas expertos y monitoreo de condiciones, y con un énfasis mucho mayor en la confiabilidad y la mantenibilidad cuando se diseñan equipos, así como un cambio en el pensamiento organizacional hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad (colaboración interna), la industria ha visto un movimiento hacia comunidades de práctica e intercambio de conocimientos y el establecimiento de estándares y certificaciones. Se confía más en la experiencia colectiva y las mejores prácticas comprobadas (colaboración externa).

1.3 Tipos de mantenimiento según la Norma EN 13306:2018

En la figura 01-03 se muestran los tipos de mantenimiento según la clasificación de la Norma EN 13306:2018.

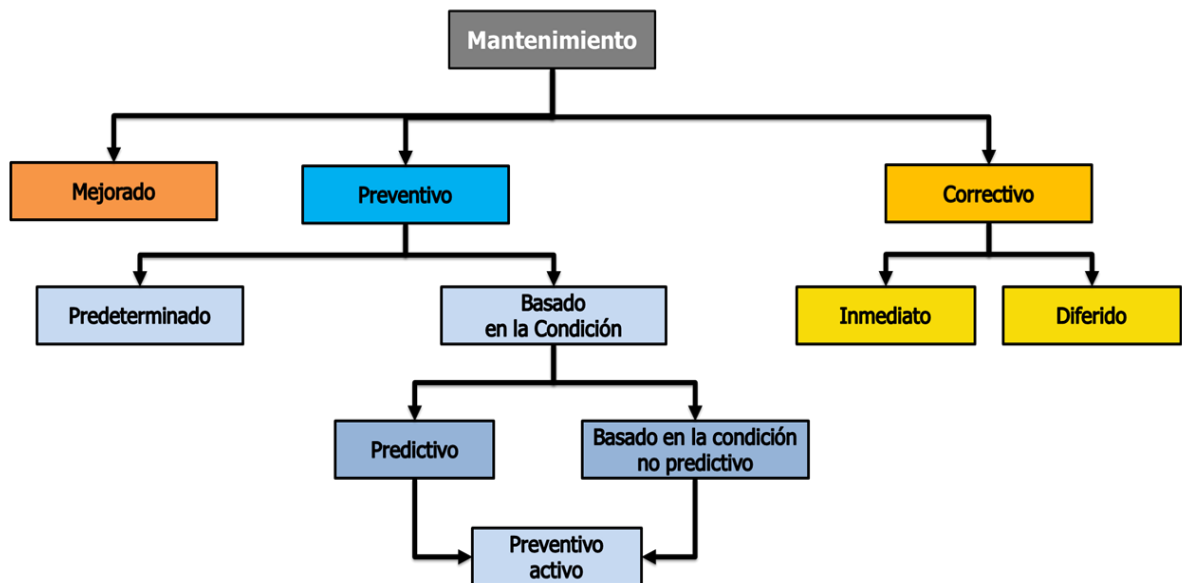


Figura 01-03. Tipos de mantenimiento - Norma EN 13306:2018.

Esta norma también incluye una clasificación de las actividades de mantenimiento en función de su complejidad, basada en una estructura de 5 niveles como se muestra en la tabla 01-01.

Tabla 01-01. Nivel de mantenimiento según complejidad.

Nivel	Alcance
01	Acciones sencillas que se realizan con una formación mínima.
02	Acciones básicas que deberían ser realizadas por personal calificado, aplicando procedimientos detallados.
03	Acciones complejas que se realizan por personal técnico calificado, aplicando procedimientos detallados.
04	Acciones que implican el conocimiento de una técnica o de una tecnología, y que se realizan por personal técnico especializado.
05	Acciones que implican el conocimiento que tiene el fabricante o una compañía especializada con equipo de apoyo logístico industrial.

1.4 Categorías de mantenimiento según la Norma ISO 14224:2016

En la figura 01-04 se muestran los tipos de mantenimiento según la clasificación de la Norma ISO 14224:2016.

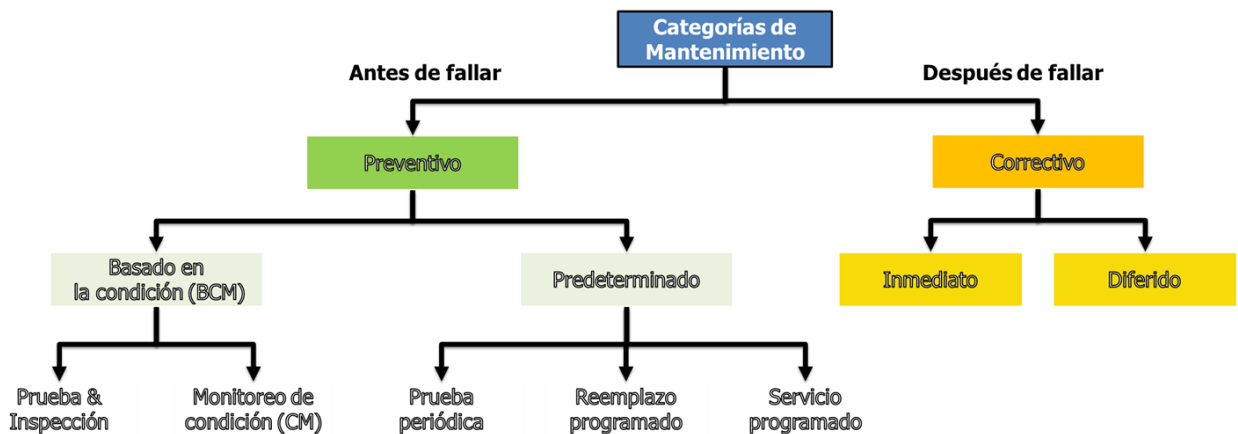


Figura 01-04. Categorías de mantenimiento - Norma ISO 14224.

1.5 Estándares de desempeño

Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función de un equipo deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional, (Norma SAE JA1011).

El desempeño puede ser definido de dos maneras (ver figura 01-05):

- Desempeño deseado (que desea el usuario que haga el activo)
- Capacidad inicial (que puede hacer).

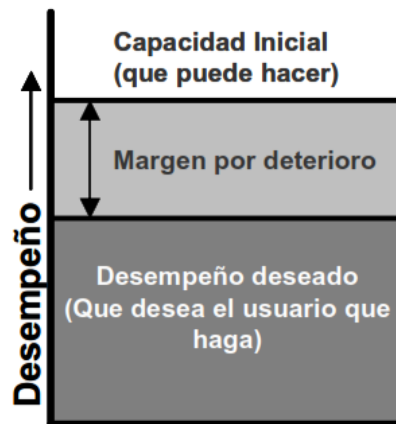


Figura 01-05. Capacidad inicial – Deterioro – Desempeño deseado de un equipo.

El margen de deterioro (ver figura 01-06) debe ser suficientemente extenso para permitir un tiempo de uso razonable antes de que los componentes se degraden hacia una falla funcional, pero no tan extenso para que el sistema esté sobre diseñado y sea también demasiado costoso.

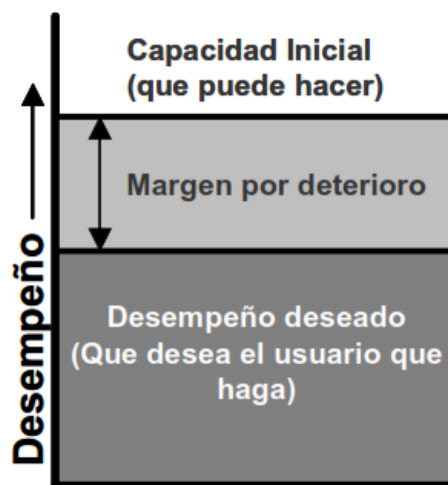


Figura 01-06. Margen de deterioro.

La capacidad inicial de cualquier activo se establece por su diseño y por cómo está hecho (confiabilidad inherente). El mantenimiento solo puede restaurar el activo a este nivel inicial de capacidad, y no puede ir más allá, ver figura 01-07.

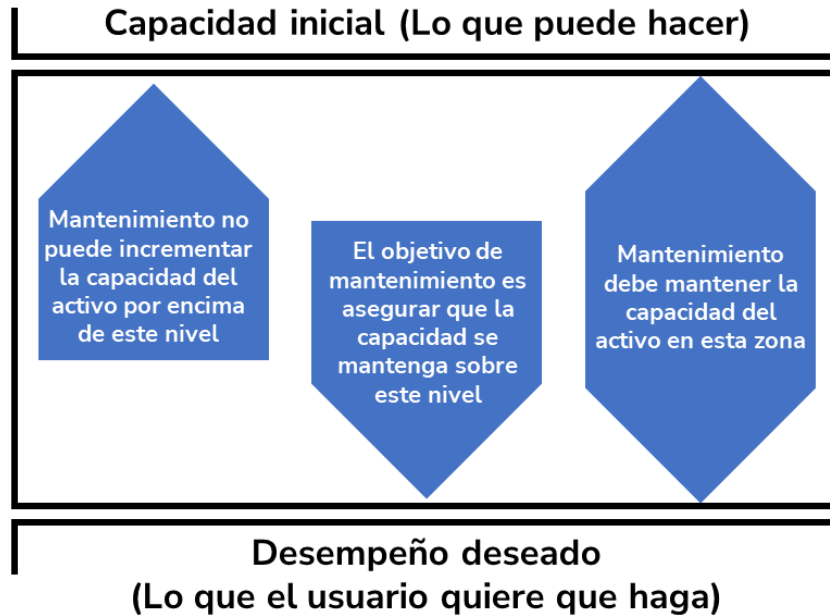


Figura 01-07. Capacidad inicial – Desempeño deseado.

1.6 Niveles de funciones

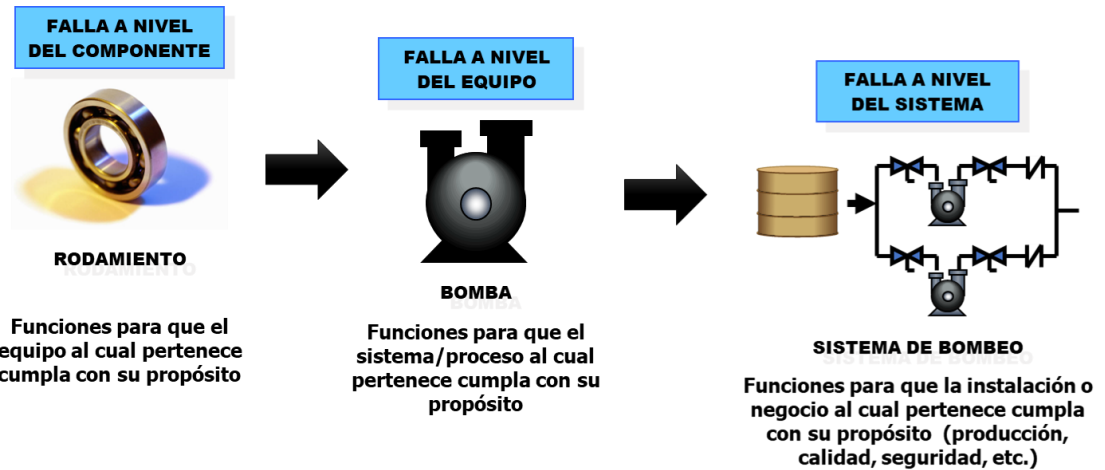
En la tabla 01-02 podemos observar los niveles de funciones desde el sistema/proceso hasta el componente de un equipo.

Tabla 01-02. Niveles de falla.

Nivel	Descripción
Sistema/Proceso	Funciones para que la instalación o negocio al cual pertenece cumpla con su propósito (producción, calidad, seguridad, etc.)
Equipo	Funciones para que el sistema/proceso al cual pertenece cumpla con su propósito
Componente	Funciones para que el equipo al cual pertenece cumpla con su propósito

1.7 Nivel jerárquico de fallas

En la figura 01-08 se representa el nivel jerárquico de una falla (componente, equipo y sistema).



17

Figura 01-08. Nivel jerárquico de una falla.

1.8 Mecanismo de falla

El mecanismo de falla es el proceso físico, químico u otro, o la combinación de procesos, que dé lugar a la falla. Es un atributo del evento de falla que puede deducirse técnicamente, p.ej. la causa aparente observado de la falla, según la norma ISO 14424.

Los códigos de mecanismo de falla están relacionados a las siguientes categorías generales de tipos de fallas:

- Fallas mecánicas
- Fallas de material
- Fallas de instrumentación
- Fallas eléctricas
- Influencia externa
- Varios

En tablas 01-03 a 01-08 se describen con detalle los mecanismos mencionados anteriormente.

Tabla 01-03. Mecanismos – Fallas mecánicas.

Código	Mecanismo de falla	Código	Subdivisión Mecanismo de falla
1	Falla Mecánica	1.0	General
		1.1	Fuga
		1.2	Vibración
		1.3	Alineación
		1.4	Deformación
		1.5	Soltura
		1.6	Atascamiento

Tabla 01-04. Mecanismos – Fallas de material.

Código	Mecanismo de falla	Código	Subdivisión Mecanismo de falla
2	Falla de material	2.0	General
		2.1	Cavitación
		2.2	Corrosión
		2.3	Erosión
		2.4	Desgaste
		2.5	Rotura
		2.6	Fatiga
		2.7	Sobrecalentamiento
		2.8	Estallido

Tabla 01-05. Mecanismos – Fallas de instrumentos.

Código	Mecanismo de falla	Código	Subdivisión Mecanismo de falla
3	Falla de instrumentos	3.0	General
		3.1	Falla de control
		3.2	Sin señal/indicación/alarma
		3.3	Señal/indicación/Alarma defectuosa
		3.4	Desajuste
		3.5	Error de software
		3.6	Falla de causa común/modo común

Tabla 01-06. Mecanismos – Fallas eléctricas.

Código	Mecanismo de falla	Sub Código	Subdivisión Mecanismo de falla	Descripción del mecanismo de falla
4	Falla eléctrica	4.0	General	Fallas relacionadas al suministro y transmisión de energía eléctrica pero donde no se conocen detalles mayores.
		4.1	Cortocircuito	Cortocircuito.
		4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, cable roto.
		4.3	Sin energía/voltaje	Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente.
		4.4	Energía/voltaje inapropiado	Suministro de energía eléctrica inapropiado. Ej: Exceso de voltaje.
		4.5	Falla de puesta a tierra/aislamiento	Falla de puesta a tierra, baja resistencia eléctrica.

Tabla 01-07. Mecanismos – Influencia externa.

Código	Mecanismo de falla	Código	Subdivisión Mecanismo de falla
5	Influencia externa	5.0	General
		5.1	Bloqueo/taponamiento
		5.2	Contaminación
		5.3	Otra influencia externa

Tabla 01-08. Mecanismos – Varios.

Código	Mecanismo de falla	Código	Subdivisión Mecanismo de falla
6	Varios	6.0	General
		6.1	Ninguna causa encontrada
		6.2	Causas combinadas
		6.3	Otros
		6.4	Desconocido

1.9 Confiabilidad

Es "la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas."

También podemos definir la confiabilidad bajo varias perspectivas:

- Básica > Posibilidad de operar sin fallas
- General > Habilidad de realizar una función
- Calidad > Posibilidad de alcanzar la vida útil
- Característica > Probabilidad de éxito
- Probabilística > Probabilidad de ocurrencia de eventos futuros basados en data histórica y de condición
- Empresarial > Balance integrado para funcionar adecuadamente y alcanzar el máximo valor

1.10 Las 10 mejores prácticas

En 1990, se crea en los EEUU la North American Maintenance Excellence Award, cuyo objetivo principal es impulsar la calidad y competencia en el uso de las "mejores prácticas" y la identificación de las empresas líderes; así como la divulgación y el intercambio de las 10 mejores prácticas (ver figura 01-09), estrategias y beneficios derivados de la implementación.



Figura 01-09. 10 mejores prácticas.

1.11 Confiabilidad Operacional

Se puede definir la Confiabilidad Operacional como "la capacidad de una instalación o sistema (integrado por procesos, tecnología y personas), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico".

Otra definición de Confiabilidad Operacional la define como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que incorporan en forma sistemática y avanzadas, herramientas de diagnóstico, técnicas de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, programación, ejecución y control de la producción industrial.

El primer modelo de confiabilidad operacional surge en la década de los noventa y fue presentado por la empresa Woodhouse y se muestra en la figura 01-10.



Figura 01-10. Modelo de Confiabilidad Operacional – Propuesto por Woodhouse.

En las figuras 01-11 y 01-12 se muestra la evolución del modelo inicial y evolucionado de confiabilidad operacional desarrollado por la empresa petrolera PEMEX entre 2005 y 2012.



Figura 01-11. Modelo inicial de Confiabilidad Operacional – Pemex.



Figura 01-12. Modelo evolucionada de Confiabilidad Operacional – Pemex.

Otro modelo de confiabilidad (ver figura 01-13) propone 8 puntos clave de optimización para procesos confiables como un camino a la Excelencia empresarial.

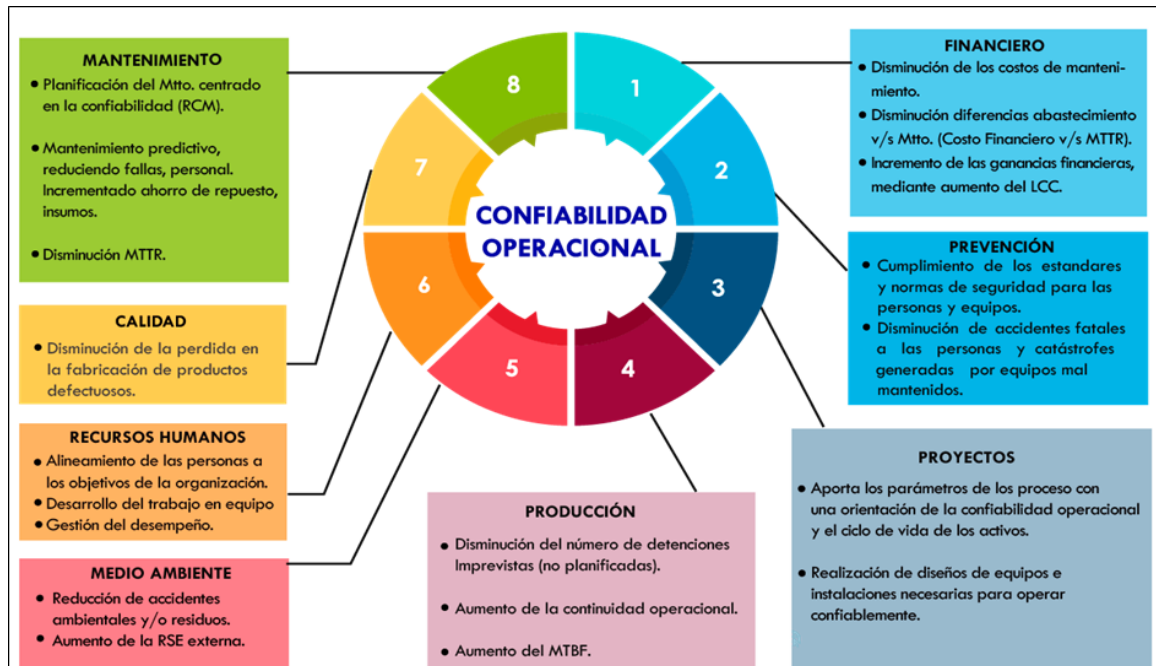


Figura 01-13. Modelo de Confiabilidad Operacional – 8 puntos clave de optimización para procesos confiables.

1.12 AMEF o FMEA (Análisis de modos y efectos de falla)

El AMEF Es un método sistemático que permite identificar y prevenir problemas de productos y procesos antes de que ocurran.

El AMEF se enfoca en la prevención de defectos, la mejora de la seguridad y el aumento de la satisfacción del cliente.

Idealmente, los AMEF se llevan a cabo en las etapas de diseño del producto o desarrollo del proceso, aunque realizar un AMEF en productos y procesos existentes también puede generar beneficios sustanciales.

Las cuatro preguntas iniciales/pasos del MCC producen un AMEF:

- P01 – Funciones
- P02 – Fallas funcionales
- P03 – Modos de falla
- P04 – Efecto de falla

1.13 FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y su Criticidad)

El FMECA es una versión mejorada de AMEF al agregar una sección de análisis de criticidad, que se utiliza para trazar la probabilidad de modos de falla contra el impacto de las consecuencias.

El FMECA se puede ilustrar como un método utilizado para identificar las fallas del sistema, las razones detrás de las fallas y el impacto de esas fallas.

Con el término Criticidad, el proceso FMECA se puede utilizar para identificar y centrarse en las áreas de diseño con mayor interés.

Pasos para realizar el FMECA:

- Crear el FMEA
- Realizar el análisis de criticidad

1.14 Diferencias entre el AMEF y el FMECA

FMECA y el AMEF son herramientas estrechamente relacionadas, que permiten identificar los modos de falla que pueden causar fallas en el producto o el proceso.

El AMEF es cualitativo, explora "escenarios hipotéticos", donde FMECA incluye un grado de entrada cuantitativa tomada de una fuente de tasas de falla conocidas, Ejemplo: Base de datos Military Handbook 217 o equivalente.

El AMEF proporciona solo información cualitativa, mientras que el FMECA proporciona información tanto cualitativa como cuantitativa, lo que permite medir ya que otorga un nivel de criticidad a los modos de falla.

El FMECA es una extensión de AMEF. Por lo tanto, para realizar el FMECA, se requiere realizar AMEF seguido de un análisis criticidad.

El AMEF determina los modos de falla de un producto o proceso y sus efectos, mientras que el FMECA, clasifica esos modos de falla en orden de importancia considerando la tasa de fallas y la criticidad.

1.15 Equipo de trabajo

Podemos decir que un equipo de trabajo es un grupo de personas de diferentes funciones de una organización, que necesitan trabajar juntas por un periodo determinado para analizar problemas interdepartamentales comunes trabajando en sinergia, buscando un objetivo común para producir un cambio en cultura de mantenimiento.

Las características principales de un equipo de trabajo son:

- Participación activa de todos los miembros en las discusiones y la mayoría de las decisiones son en consenso.
- No hay jerarquías.
- Compromiso con el objetivo común del estudio parte de todos los integrantes.
- Existen responsabilidades específicas según la especialidad de cada integrante del equipo y otras son compartidas por todos los integrantes.
- Los integrantes del equipo deben participar en todas las etapas del estudio MCC.

A continuación, las responsabilidades de los roles del equipo de trabajo:

Facilitador

- Asegurar la aplicación de metodología
- Ayuda al equipo a centrarse en los objetivos y el logro de resultados
- Centrado en el proceso
- Ayuda a construir y fortalecer el sentido de equipo de trabajo

Miembros

- Aportan ideas y experiencias
- Ayudan al cumplimiento de los objetivos
- Son los responsables de las áreas involucradas con el activo

Líder

- Toma de decisiones para la implementación del estudio
- Centrado en el cumplimiento de los objetivos

En la tabla 01-09 se muestra un ejemplo típico de un equipo de trabajo para desarrollar un estudio MCC.

Tabla 01-09. Descripción de los integrantes del equipo de trabajo.

ESPECIALIDAD	DESCRIPCION
Operador	Responsable del manejo y operación del activo
Mantenedor	Responsable de la ejecución de las acciones de mantenimiento
Planeador	Responsable de la planeación de las acciones de mantenimiento
Programador	Responsable de la programación de las acciones de mantenimiento
Procesos	Responsable del proceso operativo donde se encuentra el activo
Especialistas	Expertos en áreas específicas (SAP, Seguridad, Almacén, otros)
Confiabilidad	Experto en la aplicación de las metodologías de confiabilidad y monitoreo de condición
Líder	Responsable de la instalación donde opera el activo
Facilitador	Asesor metodológico del MCC

1.16 La Curva de la Bañera y la distribución de Confiabilidad

Esta curva describe una forma particular de la función de riesgo, que se compone de tres partes, ver figura 01-14:

1. **Muestra una disminución en la tasa fallas, conocido como primeras fallas. (Es similar a nuestra infancia).**
2. **Muestra una tasa de fallas constante, conocida como fallas aleatorias. (Es similar a nuestra vida adulta).**
3. **Muestra un incremento en la tasa de fallas, conocido como fallas por desgaste. (Es similar a la vejez).**

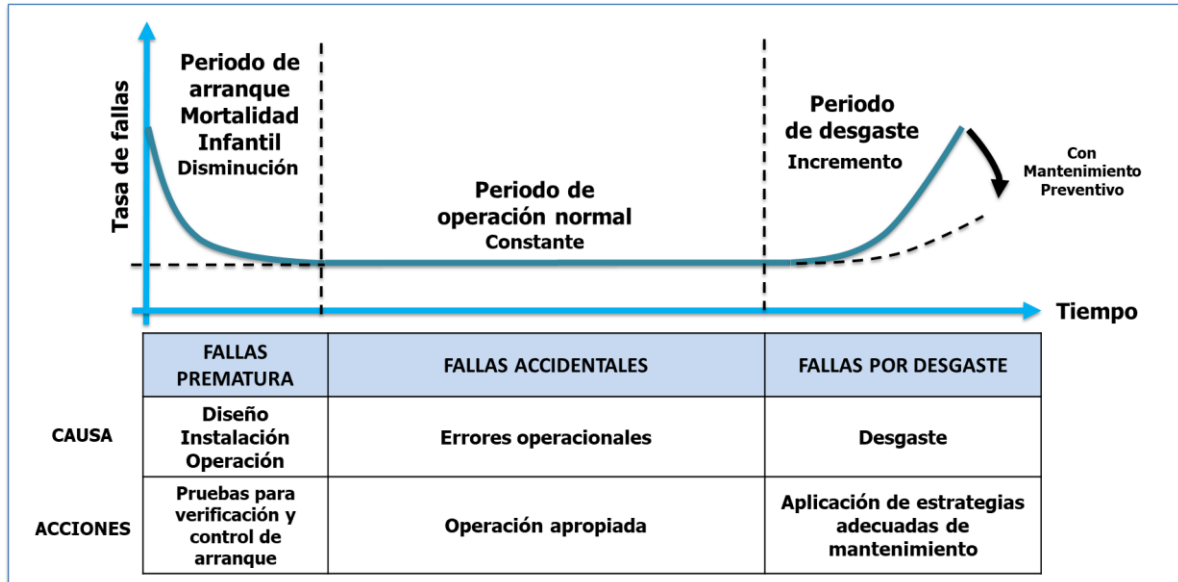


Figura 01-14. Curva de la bañera.

2. MCC – ASPECTOS GENERALES

2.1 ¿Qué es el MCC?

En esta presentación/manual mencionaremos cuatro definiciones del MCC:

- Es un proceso que se utiliza para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. RCM2 – John Murray, 1992.
- Es un proceso específico que se utiliza para identificar las políticas que deben implementarse para gestionar los modos de falla que podrían causar la falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional determinado.
Norma SAE J1011:1999.
- Es un proceso estructurado de base cero que se utiliza para identificar las estrategias de gestión de fallas necesarias para garantizar que un activo cumpla con los requisitos de su misión en su contexto operacional de la manera más segura y rentable.
RCM Implementation Made Simple, Nell Bloom, 2006.
- Es un proceso utilizado para definir la cantidad mínima segura requerida de mantenimiento, ingeniería y otras estrategias de gestión de riesgos para garantizar el nivel mínimo tolerable de seguridad, integridad ambiental y capacidad operativa rentable según se especifica en el sistema de gestión de activos de la organización.
RCM3 – Marius Basson, 2018.

2.2 Propósito del MCC

El MCC permite, de una manera sistemática, metodológica y auditable, hallar las actividades de mantenimiento, operaciones y los cambios requeridos para hacer que los activos cumplan sus funciones bajo su contexto operacional.

2.3 Origen y evolución del MCC

En la tabla 02-01 se muestra la cronología de eventos más relevante que dieron origen al MCC hasta la actualidad.

Tabla 02-01. Evolución del MCC.

PERIODO/AÑO	EVENTOS
A mediados de la década de los 50 's	Las aerolíneas comerciales creían que casi todas las fallas estaban directamente relacionadas con las horas de operación. En otras palabras, era más probable que las fallas ocurrieran a medida que aumentaba las horas de operación de los equipos.
A principios de la década de los 60 's	Se había acumulado una gran cantidad de datos de fallas en aviones comerciales en todo el mundo, y el aumento de la tasa de accidentes se convirtió en un problema para las operaciones, la administración, el gobierno y los reguladores, por lo que se tomaron medidas para intentar aumentar la confiabilidad del equipo. De acuerdo con la filosofía de la época, que la falla estaba directamente relacionada con las horas de operación de los equipos. La Administración Federal de Aviación (FAA) y la industria se sintieron frustrados por su incapacidad para controlar la tasa de fallas al cambiar los intervalos de revisión y reemplazo programados. A este equipo de pioneros se le encomendó la responsabilidad de obtener una mejor comprensión de la relación entre la confiabilidad operativa y la política de revisión y reemplazo.
1968	A partir de la investigación solicitada por FAA, se publicó el Handbook Maintenance Evaluation and Program Development fue preparado por el 747 Maintenance Steering Group con los principios de MCC para la industria de las aerolíneas comerciales. Este documento contenía el primer uso de técnicas de diagramas de decisión para desarrollar un programa de mantenimiento programado previo al servicio.
1970	Se publicó un documento de mejoras sobre la planeación del programa de mantenimiento de la aerolínea/fabricante. Este documento se utilizó para desarrollar los programas de mantenimiento programado para Lockheed 1011, Douglas DC- 10 y también se utilizó en aviones militares tácticos.
1976	Stanley Nowlan y Howard Heap, ingenieros de United Airlines, iniciaron la elaboración de un libro sobre el proceso y lo llamaron Mantenimiento centrado en la confiabilidad donde se presentaba el proceso detallado de la planeación del mantenimiento dentro de las aerolíneas comerciales a solicitud del Departamento de Defensa de USA que estaba interesado en aprender más sobre este proceso.
1978	Se publicó el libro de Stanley Nowlan y Howard Heap que son considerados dos de los pioneros más importantes del proceso MCC. Su libro sigue siendo uno de los documentos más importantes jamás escritos sobre mantenimiento de equipos.
1980	Utilizando el libro de Nowlan y Heap como base para la actualización, se realizó una actualización donde se consideró el mantenimiento programado por el operador/fabricante.

PERIODO/AÑO	EVENTOS
	Desde entonces, han pasado por muchas actualizaciones. Este documento sigue utilizándose en la industria de las aerolíneas comerciales en la actualidad, pero todavía está destinado a desarrollar un programa de mantenimiento programado para las aeronaves antes del servicio.
1991 - 1992	John Moubray (1), otro de los grandes pioneros del proceso MCC, publicó la 1era edición del MCC II para promoverlo y aplicarlo en la industria comercial. En el Reino Unido en 1991 y en los Estados Unidos en 1992.
A mediados de la década de los 90's	Comenzaron a aparecer versiones optimizadas de MCC. Estas versiones a menudo omiten pasos clave en el proceso y difieren significativamente de lo que Nowlan y Heap pretendían originalmente.
1999	La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) publicó la norma SAE JA1011, Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Esta norma reconocida internacionalmente describe los criterios que cualquier proceso MCC debe incorporar para denominarse MCC.
2002	La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) publicó la norma SAE JA1012, amplifica y clarifica cada uno de los criterios claves listados en la norma SAE JA1011, y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar el MCC exitosamente.
2009	Se actualizó la norma SAE JA1011.
2011	Se actualizó la norma SAE JA1012.
2018	La empresa Aladon, fundada por John Moubray publica un libro con la actualización de la metodología que se denomina RCM3 (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad basado en Riesgo).

(1) John Moubray y sus asociados se interesaron en la aplicación del RCM en industrias diferentes a la aviación. Este grupo trabajó inicialmente con el RCM en industrias mineras y de manufactura en Sudáfrica bajo la asesoría de Stan Nowlan, y luego se ubicaron en el Reino Unido. Desde allí, sus actividades se han expandido para cubrir la aplicación del RCM en casi todos los campos del esfuerzo humano organizado, abarcando más de 42 países.

Moubray y sus asociados se han fundamentado en el trabajo de Nowlan mientras mantienen su enfoque original en la seguridad y confiabilidad del equipo.

Por ejemplo, incorporaron temas ambientales al proceso de toma de decisiones en materia de RCM, clasificaron las formas en las cuales las funciones del equipo deberían ser definidas, desarrollaron reglas más precisas para seleccionar labores de mantenimiento e intervalos para las labores y también incorporaron directamente criterios de riesgo cuantitativo a un grupo de intervalos para labores en busca de fallas.

2.4 Las 7 preguntas del MCC

Según la propuesta de John Murray el MCC se desarrolla a través de 7 preguntas que se muestran en la figura 02-01.

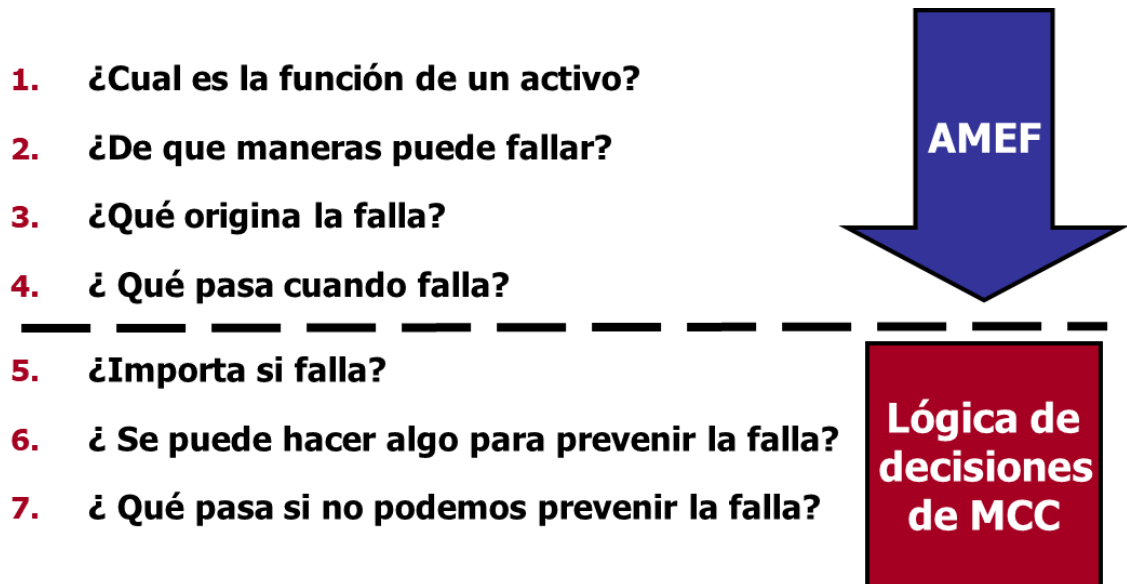


Figura 02-01. Las 7 preguntas del MCC.

2.5 Áreas de aplicación del MCC

Se recomienda la aplicación en activos (instalaciones, sistemas, equipos y componentes) estáticos o dinámicos, donde se presentan al menos una de las siguientes condiciones:

- Elevada cantidad de mantenimiento Preventivo (MP).
- Elevado índice de mantenimiento Correctivo.
- Elevados costos de mantenimiento y/o una tendencia creciente de ellos.
- Altos impactos en materia de seguridad, ambiente y/o producción.
- Donde no existe confianza en el mantenimiento que se ejecuta.

Antes de iniciar cualquier estudio de MCC es necesario aplicar la metodología de Análisis de Criticidad (AC) para atender los activos con mayores índices de criticidad.

2.6 Beneficios del MCC

Con la aplicación e implementación del MCC en los activos de la empresa podemos definir y generar estrategias que permitan:

- Contar con equipos más seguros y confiables (se mide a través de los KPI´s).
- Mejorar la eficiencia operacional.
- Mejorar la calidad de los productos.
- Mejorar la relación e integración entre las diferentes áreas de la empresa (mantenimiento y producción trabajando en equipo).
- Mejorar la rentabilidad del mantenimiento (costoso directos e indirectos) a través de una óptima relación costo/riesgo/beneficio.
- Mejorar los indicadores de higiene y seguridad industrial, así como el cumplimiento de normas de seguridad y ambiente.
- Asegurar la documentación de las estrategias y planes de mantenimiento facilitando su auditoria.
- Contar con planes y tipos de mantenimiento adecuados al entorno operacional específico de cada activo, soportados técnica y económicamente.
- Lograr una mejor comprensión de todo el ciclo de vida de los activos.

2.7 El MCC como una cultura de la organización

La mentalidad y el comportamiento de la gerencia en una empresa son parte de los elementos clave en la cultura de la organización.

Las creencias, la pasión y la sinceridad proyectadas, que la gerencia exhibe y cultiva en toda la organización, ya sea de manera positiva o negativa, tienen impacto directo sobre el rendimiento y desempeño del personal.

Las instalaciones mejor administradas y las plantas que son ejemplos brillantes de prácticas sólidas de confiabilidad a nivel mundial tienen en común el uso y aplicación continua de las herramientas de confiabilidad y en especial el MCC para la elaboración y optimización de los planes de mantenimiento.

2.8 Normas relacionadas con el MCC

Existen varias normas y documentos a nivel internacional, relacionados con la aplicación del MCC y el AMEF los cuales se describen a continuación:

- Documento AD AO66 579,1978.
Se conoce como el informe Nowlan & Heap, donde se explica los conceptos básicos, los principios, las definiciones y las aplicaciones de una disciplina lógica para el desarrollo de programas eficientes de mantenimiento (preventivo) programado para equipos complejos y la gestión continua de dichos programas (RCM).
- Norma MIL-STD-2173,1986.
Requisitos de mantenimiento centrados en la confianza para aeronaves navales, sistemas de armas y equipos de apoyo. Esta norma proporciona procedimientos para realizar análisis RCM para aeronaves, sistemas y equipos de apoyo navales.
- NAVAIR_00-25-403_Naval_Aviation_RCM_Process.
Contiene las directrices para el proceso de mantenimiento centrado en la fiabilidad de la aviación naval. Este manual cubre la planificación de RCM, la teoría de RCM y orientación específica, la documentación del análisis y la implementación de los resultados del análisis.
- Documento ATA MSG-3 V2.
Describe un proceso de lógica de decisión para determinar los requisitos de mantenimiento programado inicial para nuevos helicópteros y / o plantas de energía. Este documento presenta un medio para desarrollar tareas de mantenimiento e intervalos aceptables para las autoridades reguladoras, operadores y fabricantes.
- Norma SAE J1001, 2009.
Criterios de Evaluación para procesos de MCC

La norma SAE J1011 (Rev. ago-2009) tiene como propósito establecer los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "MCC". El documento de doce páginas, revisado en agosto de 2009, describe los requerimientos mínimos para que un proceso se considere un método en conformidad con MCC.

Esta norma proporciona los criterios para establecer si un proceso dado sigue los postulados del MCC como se establecieron originalmente. También puede servir como una guía para las organizaciones que buscan capacitación, facilitación y consultoría de MCC.

La norma SAE JA1011 (REV. ago-2009), establece que para que un proceso sea reconocido como MCC debe seguir los 7 pasos en el orden que se muestra a continuación:

1. Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
 2. Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
 3. Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
 4. Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
 5. Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
 6. Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
 7. Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).
- Norma SAE J1012: 2011.
Guía para la norma de MCC SAE J1011.

La norma SAE JA1012, amplifica y clarifica cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011, y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar el MCC exitosamente.

Las secciones de la 5 a la 14, 16 y 17 de la SAE JA1012 reflejan las secciones de SAE JA101 en la mayoría de su contenido. La Sección 15 explica más detalladamente como se pueden combinar los elementos claves del proceso MCC para seleccionar políticas apropiadas de manejo individual de modos de falla y sus consecuencias. La Sección 18 toma en cuenta la gerencia y los aspectos relacionados con recursos esenciales para el desarrollo exitoso de MCC.

- Norma SAE JA 1739:2021.
Guía sobre Análisis de modos y efectos de falla

Análisis de modos y efectos de falla potencial en diseño (Fmea de diseño), Análisis de efectos y modos de falla potencial en procesos de fabricación y ensamblaje (Fmea de proceso) y Análisis de efectos y modos de falla potencial para maquinaria (Fmea de maquinaria).

2.9 El MCC como una cultura de la organización

La mentalidad y el comportamiento de la gerencia en una empresa son parte de los elementos clave en la cultura de la organización.

Las creencias, la pasión y la sinceridad proyectadas, que la gerencia exhibe y cultiva en toda la organización, ya sea de manera positiva o negativa, tienen impacto directo sobre el rendimiento y desempeño del personal.

Las instalaciones mejor administradas y las plantas que son ejemplos brillantes de prácticas sólidas de confiabilidad a nivel mundial tienen en común el uso y aplicación continua de las metodologías/herramientas de confiabilidad y en especial el MCC para la elaboración y optimización de los planes de mantenimiento.

2.10 inversión de recursos en el MCC

Con base a los criterios listados en el apartado sobre las áreas de aplicación, debemos seleccionar que activos requieren con mayor prioridad la implementación del MCC, considerando el recurso humano y económico requerido para un estudio.

Aplicar el MCC a todos los equipos de una instalación tiene las siguientes implicaciones:

- Alto impacto económico si se realiza a través de asesoría externa, siendo recomendable formar especialistas en la empresa en la metodología para minimizar estos costos.
- El personal que formará parte de los equipos de trabajo tendrá que dedicar la mayor parte de su jornada laboral durante varios meses a trabajar en los proyectos de MCC.

2.11 Alternativas al MCC

La experiencia personal y la aplicación en grandes plantas han demostrado que el MCC se puede enfocar a equipos con mayor índice de criticidad según el Análisis de Criticidad (AC) y en otros equipos se puede decidir la aplicación de las siguientes herramientas:

- El REM (método de ingeniería inversa), utilizado para identificar que Modos de falla están asociados a las actuales tareas de mantenimiento.
- El LCS para generar tareas de lubricación, limpieza y servicio.

- El FMEA, utilizado para identificar modos de falla y a partir de ellos definir las actividades de mantenimiento.
- El FMECA, utilizado para identificar modos de falla (clasificados en orden de importancia considerando la tasa de fallas y la criticidad) y a partir de ellos definir las actividades de mantenimiento.
- **Operar un activo hasta la falla, siempre y cuando no generen impacto sobre la seguridad, el ambiente y/o la producción.**

2.12 ¿Por qué el MCC ha sido históricamente tan difícil de implementar?

Quando el MCC apareció en escena en industrias diferentes a la aeronáutica, en el corto plazo le dieron el nombre de ELEFANTE BLANCO, debido a que las mejoras de confiabilidad y resultados esperados se prologaron en el tiempo porque los estudios no se implementaron de manera efectiva debido a las siguientes causas:

- Poca confianza de la gerencia y en especial de producción sobre los cambios/mejoras propuestas con los estudios
- Difusión inadecuada del proceso de implementación y los beneficios esperados
- Demoras en la implementación de los cambios en los planes de mantenimiento
- Necesidad de capacitación del personal ejecutor de mantenimiento sobre los cambios de los planes
- La necesidad de adquirir de equipos/herramientas para la ejecución de nuevas actividades incorporadas al plan de mantenimiento
- Falta de un mecanismo de seguimiento y control de la implementación y la medición de resultados

Se ha estimado que más del 60% de todos los estudios de MCC iniciados no se han implementado con éxito. El 40% de los estudios restante se completaron de manera bastante superficial, lo que hace que su verdadero valor sea solo marginal.

- **¿Por qué ha sido tan difícil?**
- **¿Por qué su éxito ha sido tan cuestionado?**

Las respuestas más comunes a estas preguntas son las siguientes:

- El MCC se ha vuelto demasiado complicado en su transferencia desde la industria aérea.
- La implementación exitosa del proceso es inversamente proporcional a la complejidad que ha adquirido.

2.13 Causas que afectan la calidad de un estudio de MCC

En este punto del manual se describe un conjunto de causas que afectan significativamente la calidad del producto final de un estudio de MCC:

- No contar con un plan de trabajo (sistemático y secuencial) para la aplicación de la metodología
- Debilidad en la definición del contexto operacional
- Selección incorrecta de personal para desarrollar el estudio
- Administración innecesaria y costosa
- Conceptos fundamentales de MCC no comprendidos
- Definición de funciones del sistema que generan confusión
- Poca claridad en los límites y las interfaces del sistema/equipo/componente
- Clasificaciones de componentes inapropiadas
- Expectativas divergentes entre los integrantes del equipo de trabajo
- Malentendido entre fallas "ocultas" y redundancia
- Confusión en el esquema de dejar operar hasta fallar
- Entre otras

2.14 Secuencia de implementación del MCC en instalaciones

El desarrollo del MCC abarca la ejecución de una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

- Seleccionar el líder de la implementación de la metodología (Corporativo y por instalación)
- Identificar la instalación o instalaciones piloto donde se realizará el estudio MCC
- Conformar el equipo de trabajo (en las instalaciones seleccionadas)

- Capacitar al personal del equipo de trabajo sobre los conceptos del MCC
- Seleccionar el activo donde se desarrollará el estudio de MCC (se recomienda aplicar la metodología de Análisis de Criticidad)
- Elaborar el programa de trabajo para la ejecución del estudio de MCC
- Establecer los indicadores (tablero) para medir y evaluar los resultados del estudio de MCC
- Aplicar las 7 preguntas/pasos del MCC
- Generar las actividades de mantenimiento y otras
- Actualizar el plan de mantenimiento
- Cuantificar el % de reducción de fallas esperadas con el MCC
- Elaborar presentación de resultados del MCC y beneficios de la implementación
- Presentar el estudio a la gerencia/dirección
- Implementar las recomendaciones del MCC
- Realizar seguimiento y control apoyado en el tablero de indicadores

Nota: Las actividades descritas en la lista anterior no son limitativas ya que de acuerdo con el enfoque de otros facilitadores de la metodología MCC y/o referencias bibliográficas utilizadas se pueden agregar o modificar algunas de estas actividades.

2.15 Información básica para desarrollar un MCC

Para facilitar el desarrollo de un estudio de MCC en un activo es necesario contar con la siguiente información:

- Los diagramas P&ID´s de la instalación/sistema/proceso
- Esquemáticos del sistema y/o diagramas de bloque (normalmente estos son desarrollados a partir de los P&ID´s).
- Manuales de diseño, operación y mantenimiento
- Indicadores de la gestión de mantenimiento
- Estadística de mantenimientos, paradas y reparaciones
- Materiales utilizados en los mantenimientos preventivos y correctivos
- Plan de mantenimiento anual y mantenimientos mayores (cuando aplique)

2.16 Los 4 pasos que guían a un equipo de trabajo para lograr un exitoso MCC

1. Preservar las funciones del sistema como objetivo principal
2. Identificar los modos de falla que pueden afectar las funciones del sistema
3. Priorizar los modos de falla
4. Encontrar soluciones para gestionar la probabilidad de ocurrencia o las consecuencias de los modos de falla (o ambos a través de la evaluación del riesgo inherente asociado con la propiedad y la operación de activos)

3. LAS 7 PREGUNTAS/PASOS DEL MCC

3.1 Descripción general

En el desarrollo de las 7 preguntas/pasos del MCC, utilizaremos una combinación de los enunciados establecidos en el RCM2, las Normas SAE JA1011/JA1012, puntos de vista de autores relevantes en el área de MCC y la experiencia personal como participante y facilitador de la metodología MCC.

El fundador de Aladon, John Moubray, desarrolló y registró de manera rigurosa y sólida el RCM2™, por medio de siete preguntas (ver figura 03-01).

Las siete preguntas siguen la lógica de la metodología que se originó a partir del trabajo de Nowlan y Heap en su informe de 1978 llamado "Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)".

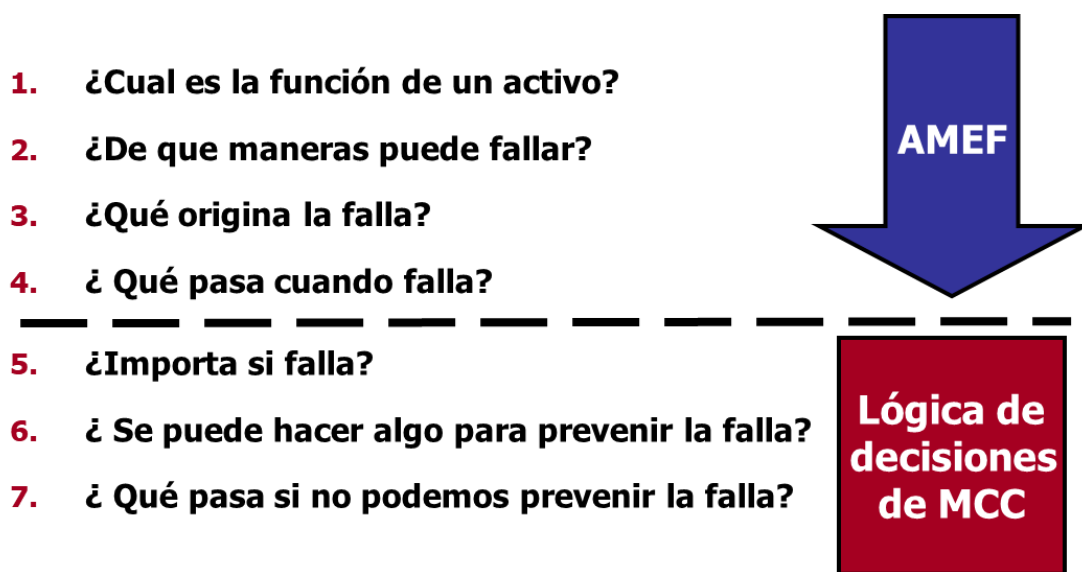


Figura 03-01. Las 7 preguntas del MCC.

3.2 Comparativa de las preguntas/enunciados del MCC

En la tabla 03-01 Se muestra la comparación entre las 7 preguntas definidas por John Moubray en el RCM2 y las preguntas contenidas en la Norma SAE JA 1011.

Tabla 3-01. Comparativa RCM2 vs. Norma SAE JA 1011.

#	RCM2 – Preguntas	MCC – Pasos Norma SAE JA1011/JA1012
01	¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operativo actual?	Determinar el contexto operacional, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones)
02	¿De qué formas no cumple con sus funciones?	Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)
03	¿Qué causa cada falla funcional?	Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla)
04	¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?	Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla)
05	¿De qué manera importa cada falla?	Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla)
06	¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?	Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas)
07	¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada?	Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez)

3.3 Pregunta/Paso 01 – El Contexto Operacional

El contexto operacional es un documento que incluye información técnica relevante para el análisis MCC.

Este documento se divide en varias secciones, donde se detalla el alcance del análisis, las características técnicas del sistema, las inquietudes del contexto operacional y los supuestos realizados que influyen en las decisiones del grupo de trabajo.

Para ganar tiempo el facilitador suele redactar el borrador del contexto operacional antes de que comenzar un estudio, posteriormente debe ser revisado con el equipo de trabajo.

Durante el desarrollo del estudio se puede revisar y actualizar el contexto operacional, si llegan a ocurrir cambios en la operación y/o mantenimiento del activo.

La Norma SAE JA1012 propone el siguiente contenido para generar el contexto operacional:

- a. Proceso fluido versus proceso por lotes
- b. Estándares de calidad
- c. Estándares ambientales
- d. Estándares de seguridad

- e. Lugar de operaciones
- f. Intensidad de operaciones
- g. Redundancia
- h. Trabajo-durante-operación
- i. Repuestos
- j. Demanda del mercado/suministro de materia prima

Otra propuesta del contenido del contexto operacional es la siguiente:

1. Datos generales (ver tabla 03-02).
2. Integrantes del equipo de trabajo (ver tabla 03-02).

Tabla 03-02. Datos generales e Integrantes del equipo de trabajo.

1. DATOS GENERALES		
Empresa		
Instalación		
Activo seleccionado		
Criterios de selección		
Resumen sobre la condición del activo		
Misión de la instalación donde se encuentra el activo		

2. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO		
NOMBRE	PUESTO TRABAJO	AREA

*En este renglón, se debe documentar, todos los nombres, puestos de trabajo y departamentos/áreas de los integrantes del equipo de trabajo.
Se puede elaborar y anexar un documento (acta constitutiva) de la conformación del equipo de trabajo.*

3. Información general, finalidad y uso (ver tabla 03-03).
4. Alcance del análisis (diagrama EPS, diagrama funcional), ver tabla 03-03.

Tabla 03-03. Información general, finalidad, uso & Diagrama EPS / Diagrama funcional.

3. INFORMACION GENERAL, FINALIDAD Y USO	
1	Descripción amplia de la instalación/sistema y el activo a analizar:
2	Función del activo dentro de la instalación/sistema:
3	Número de unidades en inventario:
4	Tiempo en funcionamiento del activo (mencionar si es nuevo):
5	Bajo qué circunstancias opera/operará el activo (operación simultanea o por periodos):
6	Descripción del área donde está instalado el equipo:
7	Describa esquema de operación (funcionamiento 24, 12, 8 horas, otro):
8	Cómo afecta el activo a la instalación/sistema (si es que afecta, pérdida producción x hora):
9	Redundancia:
10	Repuestos/refacciones:
11	Demanda del mercado/suministro de materia prima:
4. ALCANCE DEL ANALISIS (DIAGRAMA EPS & DIAGRAMA FUNCIONAL)	
Diagrama EPS	
Diagrama Funcional	

En las figuras 03-02 y 03-03 se muestra el esquema básico de un diagrama EPS y funcionales, respectivamente.

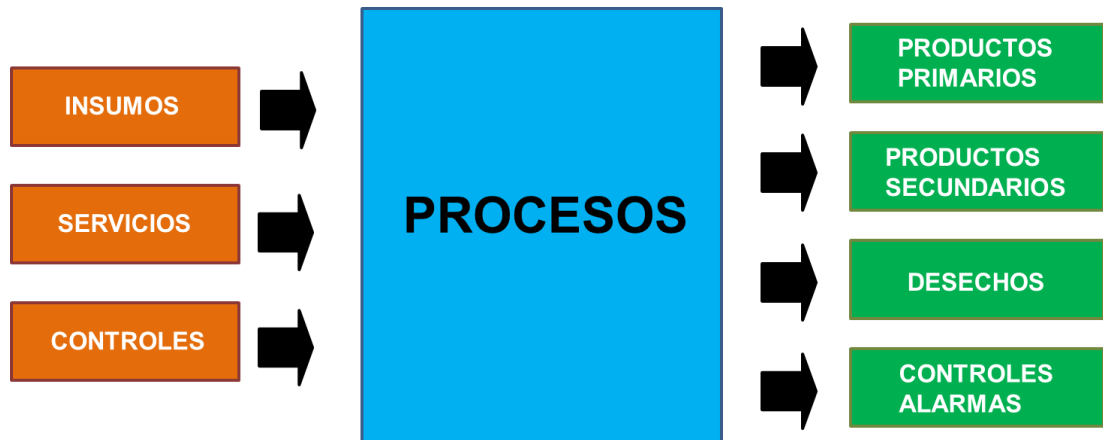


Figura 03-02. Diagrama EPS – Contexto Operacional.

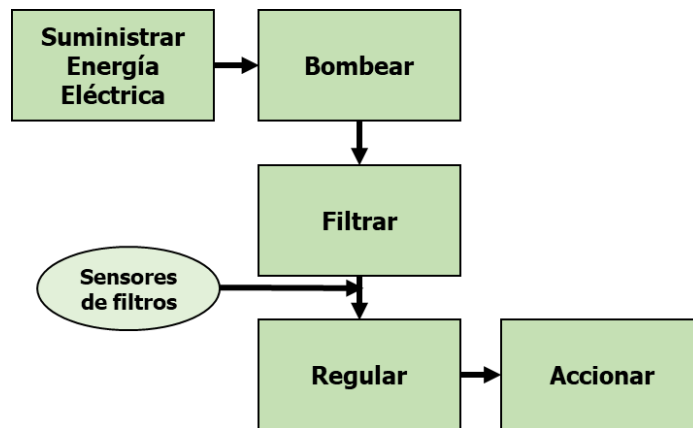


Figura 03-03. Diagrama Funcional – Contexto Operacional.

Ejemplo 03-01.

Una Planta de Clorados produce Cloruro de Vinilo y ácido Clorhídrico a partir de cloro y etileno (materia prima).

En la unidad 300 (Purificación de Dicloretano DC) se encuentra instalado el sistema de bombeo PJ-300, cuya función principal es la recirculación forzada del dicloretano en el calentador TT-307 para reducir la formación de sólidos pesados (carbón) en los tubos del fondo de la torre AS-303.

El sistema está conformado por los siguientes equipos (ver figura 03-04):

- Motor eléctrico
- Acople
- Bomba centrífuga

- Sistema lubricación del sello
- Base soporte de cemento

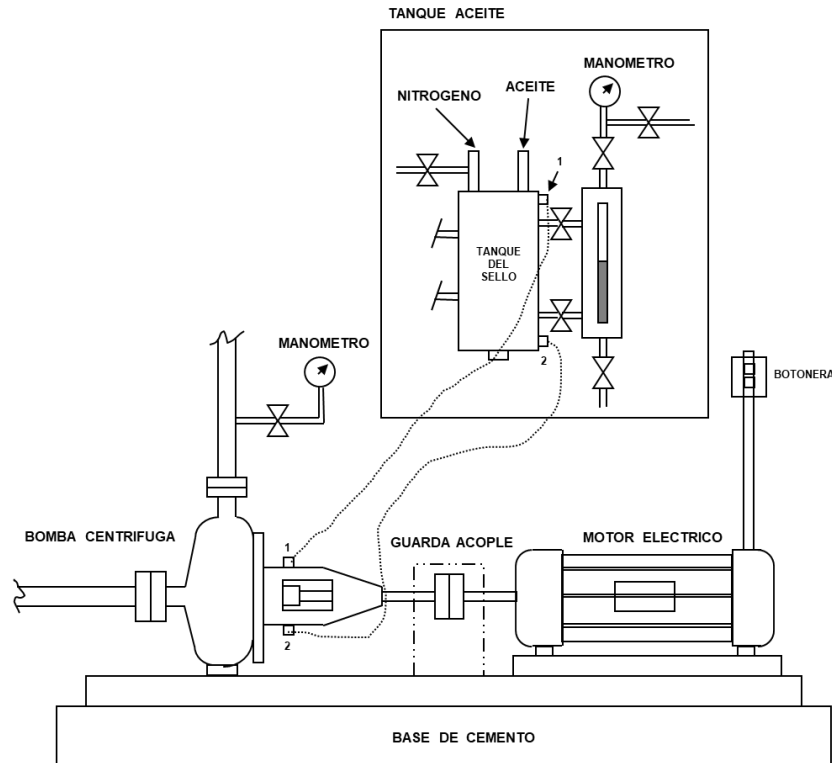


Figura 03-04. Equipos del sistema PJ-300.

Desarrollo:

En la figura 03-05 se muestra el diagrama EPS del sistema PJ-300.

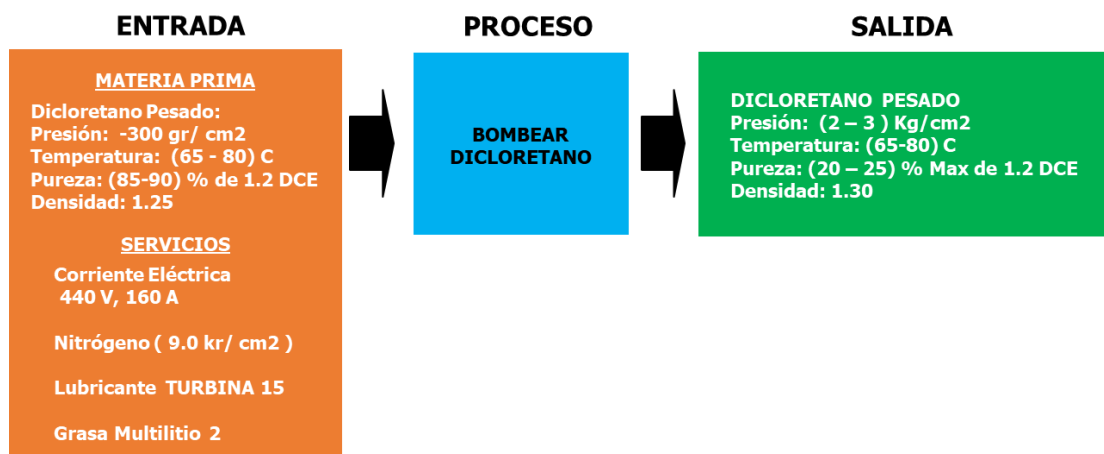


Figura 03-05. Diagrama EPS - Sistema PJ-300.

En la figura 03-06 se muestra el diagrama funcional del sistema PJ-300.

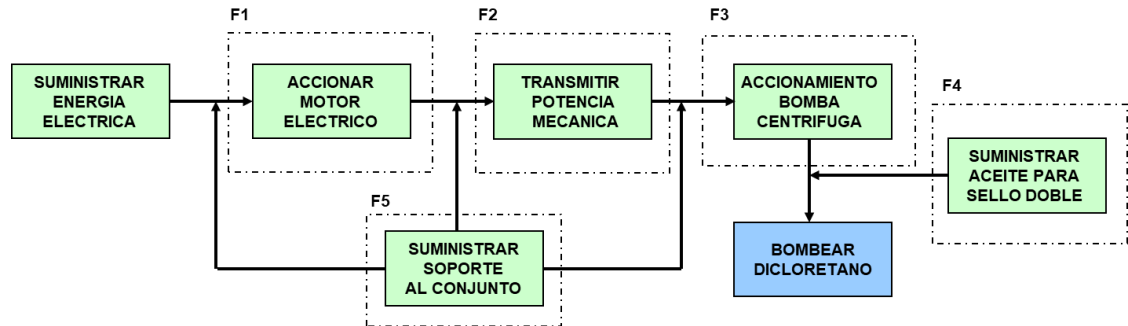


Figura 03-06. Diagrama funcional - Sistema PJ-300.

- F1: Suministrar la potencia mecánica de 125 HP a la bomba centrífuga a una velocidad constante de 1773 RPM.
- F2: Transmitir la potencia mecánica suministrada por el motor eléctrico hacia la bomba centrífuga.
- F3: Incrementar la presión del DICLORETANO de -300 gr/cm² en la succión a (2-3) Kg/cm² en la descarga.
- F4: Suministrar aceite lubricante al sello mecánico y mantener un delta de presión positivo entre el fluido del proceso y fluido barrena.
- F5: Servir de apoyo y soporte al conjunto motor/acople/bomba.

El contexto operacional del sistema es el siguiente:

- Esquema de Operación: 24 horas al día
- Fallas con una duración menor a 4 horas no generan impacto operacional
- Equipo de revelo: no tiene
- Plan de mantenimiento preventivo: Ejecutado en varias frecuencias (mensual, trimestral, semestral y anual)
- Plan de mantenimiento predictivo: Se efectúan inspecciones cada 14 días
- La bomba utiliza sello doble
- El personal de operaciones mantiene control permanente del sistema las 24 horas del día
- El operador de área efectúa una inspección diaria al equipo
- No cuenta con sistema automatizado desde el cuarto de control de la planta

5. Teoría de operación (ver tabla 03-04).
6. Descripción del equipo (ver tabla 03-04).

Tabla 03-04. Teoría de operación, Estándares de calidad, ambientales, seguridad.

5. TEORIA DE OPERACION
La Teoría de funcionamiento incluye una descripción detallada de cómo funciona el activo, incluidos parámetros específicos como las presiones y temperaturas de funcionamiento. Los parámetros deben reflejar lo que la instalación/sistema requiere del activo, no las especificaciones de diseño.
6. DESCRIPCION DEL EQUIPO
Se debe incluir una descripción de los componentes y subconjuntos principales asociados con el activo en el contexto operacional, incluidas las especificaciones de los componentes, las limitaciones operativas, etc. Componentes y subconjuntos principales como tanques, bombas, motores, filtros, calentadores, enfriadores, bypass Se deben describir los sistemas, medidores y equipos del panel de control.

7. Estándares de calidad, ambientales, seguridad (ver tabla 03-05).

Según la norma SAE J1012 debemos considerar en este punto lo siguiente:

- Estándares de calidad: la calidad global o las expectativas de servicio al consumidor, en términos de aspectos tales como la tasa global de desperdicio, mediciones de satisfacción al cliente (como expectativas de operación a tiempo en sistemas de transporte, o tasa de las demandas de garantía de los artículos manufacturados), o preparación militar.
- Estándares ambientales: que estándares ambientales organizacionales, regionales, nacionales, e internacionales aplican para el activo (si hay alguno).
- Estándares de seguridad: si cualquier expectativa de seguridad predeterminada aplica al activo (en términos de lesiones globales o tasa de fatalidad).

8. Dispositivos de protección (ver tabla 03-05).

9. Dificultades del contexto operacional (ver tabla 03-05).

Tabla 03-05. Estándares de calidad, ambientales, seguridad, Dispositivos de protección y Dificultades del contexto operacional.

7. ESTANDARES DE CALIDAD, AMBIENTALES, SEGURIDAD
Ver información descrita en el formato
8. DISPOSITIVOS DE PROTECCION
Los dispositivos de protección están destinados a proteger a las personas, los activos y la organización en caso de que algo salga mal. Todos los dispositivos de protección asociados con al activo deben enumerarse y describirse en el contexto operacional.
9. DIFICULTADES DEL CONTEXTO OPERACIONAL
Se debe detallar cualquier dificultad/problema relacionado con el activo. Estos problemas pueden someterse a ingeniería inversa e incluirse como modos de falla en el análisis para que se puedan formular recomendaciones.

10. Notas del estudio MCC (ver tabla 03-06).

11. Planes futuros (ver tabla 03-06).

Tabla 03-06. Notas del estudio MCC y Planes futuros.

10. NOTAS DEL ESTUDIO MCC
Cualquier nota o suposición que respalde las decisiones del estudio deben detallarse en la sección Notas del estudio de MCC.
11. PLANES FUTUROS
Los cambios potenciales o inminentes en el activo deben documentarse (por ejemplo, cambios en el hardware, capacitación, publicaciones técnicas, procedimientos operativos y ritmo operativo).

En este curso utilizaremos este contenido para desarrollar el ejemplo del Contexto Operacional.

En la plataforma se incluye el formato editable para generar el Contexto Operacional.

Ejemplo 03-02.

En este ejemplo se muestra el Contexto Operacional de un equipo de perforación de una empresa minera donde se desarrollará un estudio MCC, ver tablas 03-07, 03-08 y 03-09.

Tabla 03-07. Contexto Operacional de un equipo de perforación.

CONTEXTO OPERACIONAL DE UN ACTIVO		
1. DATOS GENERALES		
Empresa	American Corp.	
Instalación	Unidad Minera Steel Rock	
Activo seleccionado	Equipo de Perforación SOLO DL431-7C	
Criterios de selección	Análisis de criticidad (AC)	
Resumen sobre la condición del activo	Daño por operación fuera de parámetros, no se tiene perforadora extra	
Misión de la instalación donde se encuentra el activo	Producir onzas de oro rentables y hacer crecer nuestros recursos minerales a través de prácticas éticas, innovadoras y sostenibles, implementadas por una fuerza de trabajo empoderada que fomenta la permanencia de la organización.	
2. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO		
NOMBRE	PUESTO TRABAJO	AREA
RAUL L.	Jefe del proceso 01	Producción
ERNESTO M.	Jefe de Mantenimiento	Mantenimiento
LUIS G.	Planificador	Mantenimiento
PEDRO S.	Programador	Mantenimiento
TEOFILO S.	Ingeniero de procesos	Ingeniería
JUAN T.	Líder de EHS	Seguridad
GUILLERMO P.	Ingeniero de confiabilidad	Confiabilidad
MANUEL C.	Superintendente de la planta	Producción
JESUS O.	Facilitador de la metodología	Asesor externo
En este renglón, se debe documentar, todos los nombres, puestos de trabajo y departamentos/áreas de los integrantes del equipo de trabajo. Se puede elaborar y anexar un documento (acta constitutiva) de la conformación del equipo de trabajo.		
3. INFORMACION GENERAL, FINALIDAD Y USO		
1	Descripción amplia de la instalación/sistema y el activo a analizar: SOLO DL431-7C	
2	Función del activo dentro de la instalación/sistema: Realizar barrenación larga en los rebajes LH de la Unidad	
3	Número de unidades en inventario: 01	
4	Tiempo en funcionamiento del activo (mencionar si es nuevo): 2,500 Horas	
5	Bajo qué circunstancias opera/operará el activo (operación simultanea o por periodos): Periodo de 4 horas por turno/ Dos turnos por día	
6	Descripción del área donde está instalado el equipo: Interior mina rebajes de barrenación larga	
7	Describa esquema de operación (funcionamiento 24, 12, 8 horas, otro): 8 horas diarias	
8	Cómo afecta el activo a la instalación/sistema (si es que afecta, pérdida producción x hora): Pérdida de producción alrededor de 2000 Ton/Día.	
9	Redundancia: Si, Se utiliza equipos de BSL (disminuye la producción)	
10	Repuestos/refacciones: - Kit de sellos - Buje frontal de rotación - Cople de zanco - Tornillería de la tapa trasera de perforadora y acumuladores	
11	Demanda del mercado/suministro de materia prima: Combustible, Electricidad, Agua	

Tabla 03-08. Contexto Operacional de un equipo de perforación.

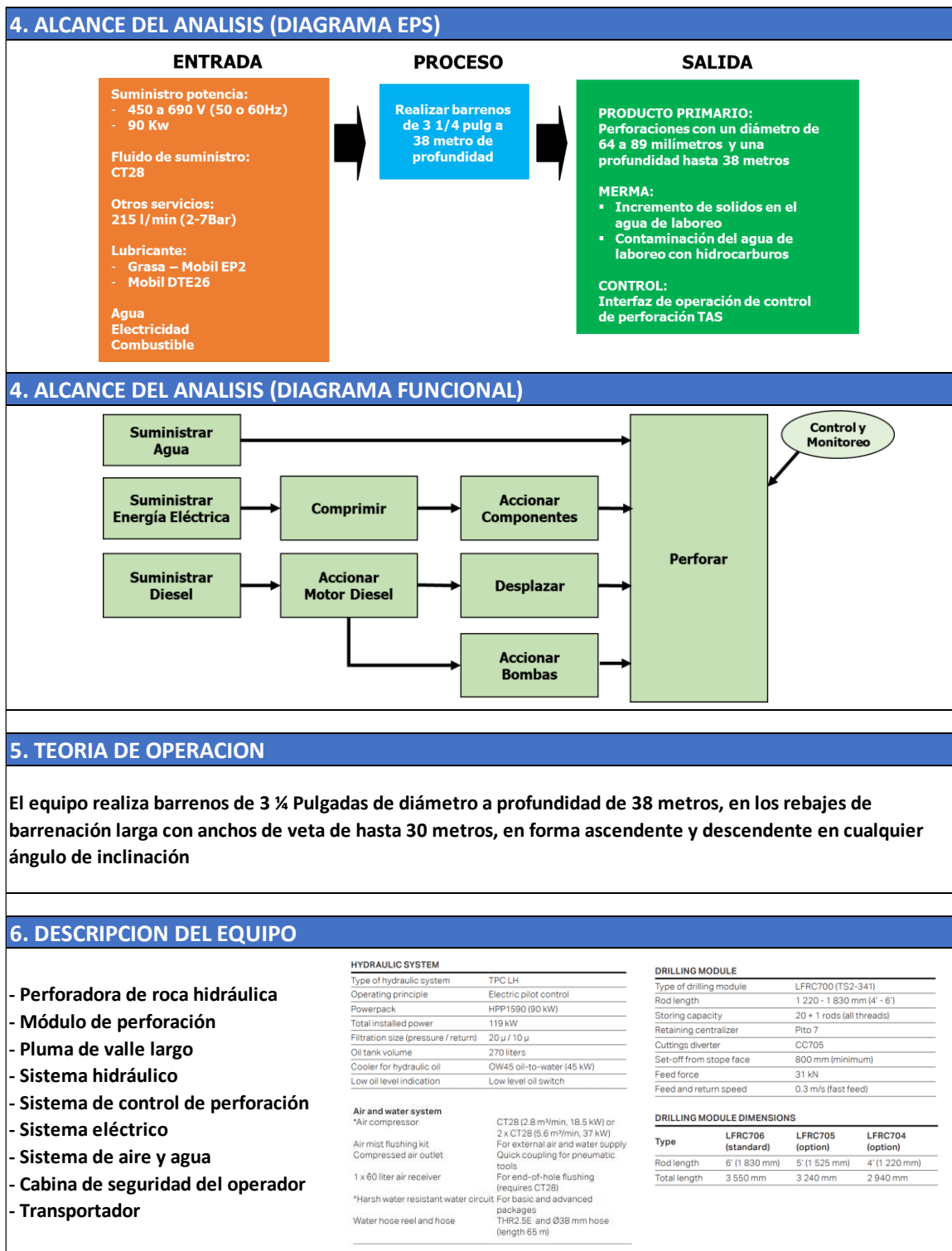


Tabla 03-09. Contexto Operacional de un equipo de perforación.

7. ESTANDARES DE CALIDAD, AMBIENTALES, SEGURIDAD																			
Regulación de emisiones bajo EPA TIER-IV FINAL (NORMA DE CONTROL DE EMISIONES)																			
8. DISPOSITIVOS DE PROTECCION																			
<ul style="list-style-type: none"> - ALARMAS de PROTECCION LL,L,H,HH - PAROS de EMERGENCIA - CENTINELA (EQUIPO de FALLA a TIERRA) 	<table border="0"> <tr> <td colspan="2">Operator's safety cabin or canopy</td> </tr> <tr> <td>*Stainless steel cabin</td> <td>FOPS (ISO 3449)</td> </tr> <tr> <td>*Safety canopy and safety grill</td> <td>FOPS (ISO 3449)</td> </tr> <tr> <td>Cabin heating system</td> <td>For drilling and tramming</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fire suppression system</td> </tr> <tr> <td>Spare hand held fire extinguisher</td> <td>7.7 or 9 kg (type ABC)</td> </tr> <tr> <td>Fire suppression system</td> <td>Sandvik Eclipse™ (TS2-461)</td> </tr> <tr> <td>Manual or automatic system</td> <td>6 nozzles, Ansul (TS2-460)</td> </tr> </table>	Operator's safety cabin or canopy		*Stainless steel cabin	FOPS (ISO 3449)	*Safety canopy and safety grill	FOPS (ISO 3449)	Cabin heating system	For drilling and tramming	<hr/>		Fire suppression system		Spare hand held fire extinguisher	7.7 or 9 kg (type ABC)	Fire suppression system	Sandvik Eclipse™ (TS2-461)	Manual or automatic system	6 nozzles, Ansul (TS2-460)
Operator's safety cabin or canopy																			
*Stainless steel cabin	FOPS (ISO 3449)																		
*Safety canopy and safety grill	FOPS (ISO 3449)																		
Cabin heating system	For drilling and tramming																		
<hr/>																			
Fire suppression system																			
Spare hand held fire extinguisher	7.7 or 9 kg (type ABC)																		
Fire suppression system	Sandvik Eclipse™ (TS2-461)																		
Manual or automatic system	6 nozzles, Ansul (TS2-460)																		
9. DIFICULTADES DEL CONTEXTO OPERACIONAL																			
Durante una inspección realizada al equipo la semana pasada, se detectó que estaban rimando barrenos a 6 pulgadas, según las especificaciones técnicas de esta perforadora lo máximo permisible para rimado es 4 pulgadas.																			
10. NOTAS DEL ESTUDIO MCC																			
Reporte elaborado por DMG SANDVIK Técnico R.P 24 de marzo 2022																			
SOLO DL-431 Datasheet fuente: https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/centro-de-descargas/especificaciones-t%C3%A9cnicas/equipos-de-perforaci%C3%B3n-subterr%C3%A1nea-y-empenadores/dl431-technical-specification/																			
11. PLANES FUTUROS																			
<ul style="list-style-type: none"> - Gestionar reparación de perforadora en spare. (US\$ 60,000) - Realizar recomendación de operación de cambiar broca según recomendación del fabricante - Realizar el estudio MCC en el equipo en un plazo no mayor a 2 meses 																			

3.4 Pregunta/Paso 01 – Funciones

Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función de un equipo deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.

El desempeño puede ser definido de dos maneras:

- Desempeño deseado (que desea el usuario que haga el activo).
- Capacidad inicial (que puede hacer).

Los estándares de desempeño de un activo se dividen 3 escenarios:

1. Capacidad del activo cae debajo del desempeño deseado luego de puesto en servicio (ver figura 03-07).

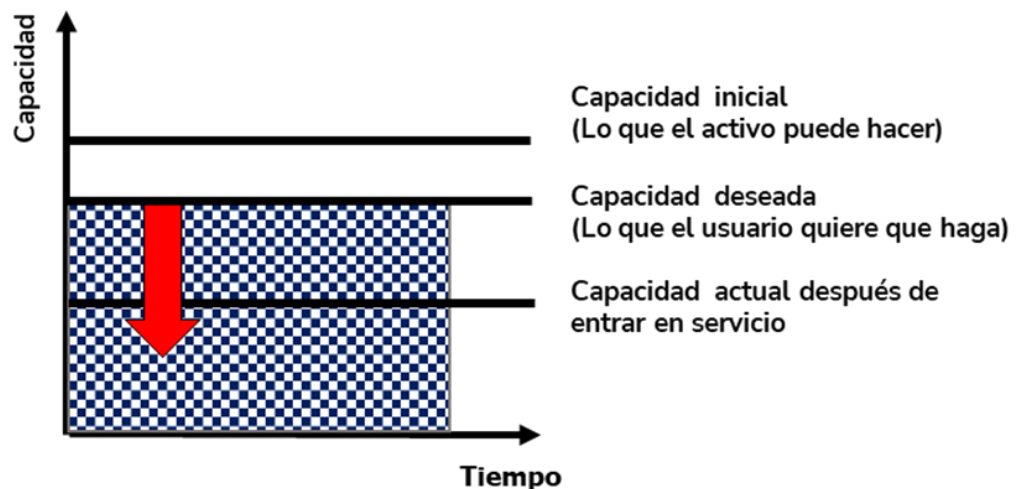


Figura 03-07. Estándar de desempeño – Escenario 01.

Relacionado con:

- Deterioro
- Fallas en la lubricación
- Acumulación de suciedad
- Desmontaje
- Errores humanos que reducen la capacidad

2. Desempeño deseado supera la capacidad del activo luego de puesto en servicio (ver figura 03-08).

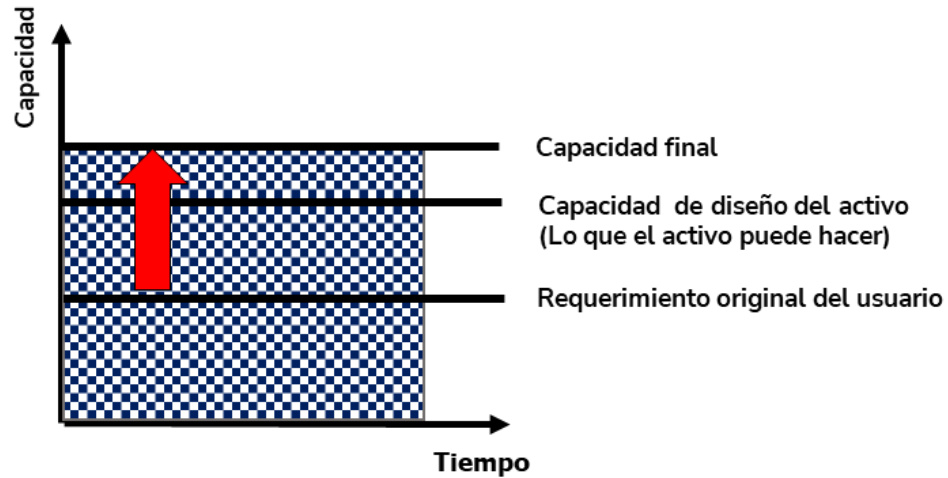


Figura 03-08. Estándar de desempeño – Escenario 02.

Relacionado con:

- Sobrecarga sostenida deliberada
- Sobrecarga sostenida sin intención
- Sobrecarga repentina sin intención

3. Activo no es capaz de realizar la función deseada para el contexto operacional desde el inicio de las funciones (ver figura 03-09).

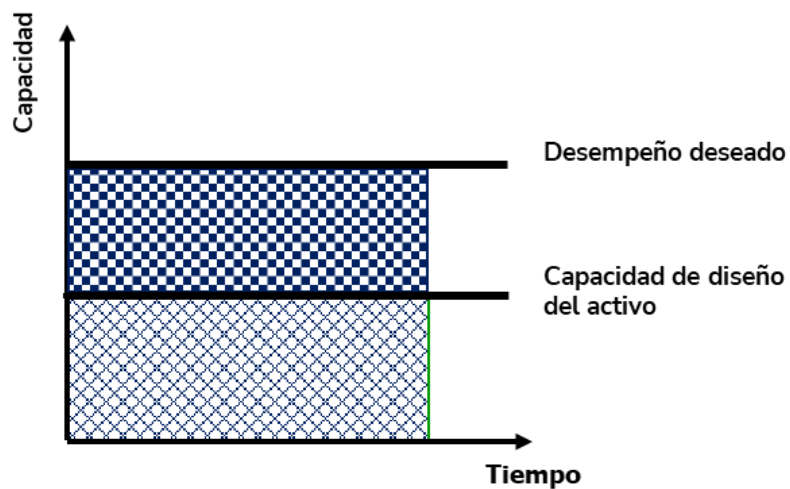


Figura 03-09. Estándar de desempeño – Escenario 03.

Relacionado con:

- Diseño
- Fabricación
- Materiales
- Otros

Para facilitar el registro y visualización de la información generada en un estudio MCC, a partir de las funciones identificadas, se debe documentar en una hoja de registro (ver figura 03-10) toda la información generada en el estudio.

Las normas SAE JA1011 & SAE JA1012 no proponen o exigen el uso de algún formato específico para la hoja de registro, quedando a criterio del equipo de trabajo del MCC la utilización de cualquier formato desarrollados por expertos en la materia.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC								
ACTIVO:								
Sistema Equipo Componente	COD	Función						

Figura 03-10. Formato de hoja de registro de información del MCC.

La función es lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema.

Las funciones permiten que una organización documente específicamente lo que se requiere de un activo.

Lo que los usuarios esperan que los activos puedan hacer, se puede dividir en dos categorías:

- Funciones primarias: Propósito fundamental del activo - Es la razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema.

- **Funciones secundarias:** Soportan el cumplimiento de las funciones primarias - Estas funciones normalmente son menos obvias que las funciones primarias, pero la pérdida de una función secundaria también puede tener serias consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria. En la tabla 03-10 se describen las funciones secundarias.

Tablas 03-10. Descripción de las funciones secundarias.

Función	Descripción
Integridad ambiental	Definen la magnitud de cumplimiento del activo con las normas o regulaciones ambientales, relacionadas con la descarga de materiales de desecho al ambiente, y el ruido, otros.
Seguridad	Algunas veces se hace necesario escribir el enunciado de una función que trata con una amenaza específica a la seguridad, que es inherente al diseño o a la operación del proceso (como opuesto a las amenazas de seguridad que son resultado de una falla funcional).
Integridad estructural	Muchos activos tienen una función secundaria para proveer soporte o una cierta seguridad a otro elemento.
Control	En muchos casos, los usuarios no sólo desean que el activo cumpla las funciones de una norma de desempeño dada, también desean regular su desempeño.
Contención	Los sistemas en los cuales la función primaria es almacenar materiales deben también contenerlos. Los sistemas que transfieren materiales (especialmente fluidos) también tienen una función de contención.
Confort	Dueños y usuarios generalmente esperan que sus activos o sistemas no causen pena o ansiedad a los operadores o mantenedores. los enunciados de esta función deben describirse de manera precisa y que reflejen los estándares actuales.
Apariencia	La apariencia frecuentemente constituye una función secundaria importante. Por ejemplo, la razón primordial de pintar la mayoría de los equipos industriales es protegerlos de la corrosión. Sin embargo, se puede seleccionar un color brillante para realzar su visibilidad por cuestiones de seguridad.
Protección	Las funciones protectoras evitan, eliminan, o minimizan las consecuencias de la falla de alguna otra función. Estas funciones están asociadas con dispositivos o sistemas que: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Advierten a los operadores de condiciones anormales ▪ Detienen el equipo en caso de una falla ▪ Eliminan o relevan las condiciones anormales causadas por una falla funcional ▪ Realizan una función que haya fallado ▪ Impiden, en primer lugar, el surgimiento de situaciones peligrosas
Economía/eficiencia	En la mayoría de las organizaciones, los costos globales esperados son expresados en la forma de presupuestos de gastos. Las funciones secundarias concernientes, están relacionadas a tasas de consumo de energía y tasa de desgaste de materiales de proceso.
Superfluas	Algunos sistemas incorporan elementos o componentes que se establecen para ser completamente superfluos. Esto pasa usualmente cuando el equipo o la manera en la cual es utilizado se ha modificado con el tiempo, o cuando se ha sobre especificado el nuevo equipo.
Confiables	La confiabilidad no es una función en si misma, es un desempeño esperado que comprende todas las otras funciones. Las metas de confiabilidad/disponibilidad globales deben ser documentadas en la definición del contexto operacional.

En la figura 03-11 se muestra como colocar las funciones principales y secundarios de varios equipos en la hoja de registro de información del estudio MCC.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC								
ACTIVO:		Sistema 01						
Sistema Equipo Componente	COD	Función						
Equipo 01	1	Función principal						
	2	Función secundaria						
Equipo 02	3	Función principal						
	4	Función secundaria						
Equipo 03	5	Función principal						
	6	Función secundaria						

Figura 03-11. Las funciones principales y secundarias en la de hoja de registro de información del MCC.

¿Se deben registrar todas las funciones?

- Es importante recordar que el MCC es un proceso basado en funciones y debemos enfocarnos en lo que debe hacer el activo, no en lo que es.
- Debido a que la mayoría de los componentes contribuyen a funciones de nivel superior asociadas con el activo, las funciones no es necesario escribirlas para todos los componentes.

Al escribir una función, es importante recordar describir lo que se requiere del activo, no lo que está diseñado para hacer.

En muchas ocasiones, se describen los aspectos de diseño de activos en lugar del rendimiento requerido.

Ejemplo 3-03a.

Describir la función de los faros de un vehículo

Respuestas:

- Función de diseño: Faros LED con ajuste automático, encendido y apagado automático.
- Función del MCC: Proyectar luz a una distancia de 300m para iluminar el camino del vehículo por la noche y/o cuando hay baja visibilidad.

¿Cómo escribir una función correctamente?

- Se recomienda para las funciones principales, comenzar con un verbo, objeto, estándar de desempeño y contexto operacional.
- En caso de las funciones secundarias, suele ser útil escribir el elemento descrito entre paréntesis al final para facilitar su identificación al momento revisar un listado de funciones, aunque esto no es obligatorio.

En la figura 03-12 se muestra la secuencia de como escribir una función principal o secundaria.

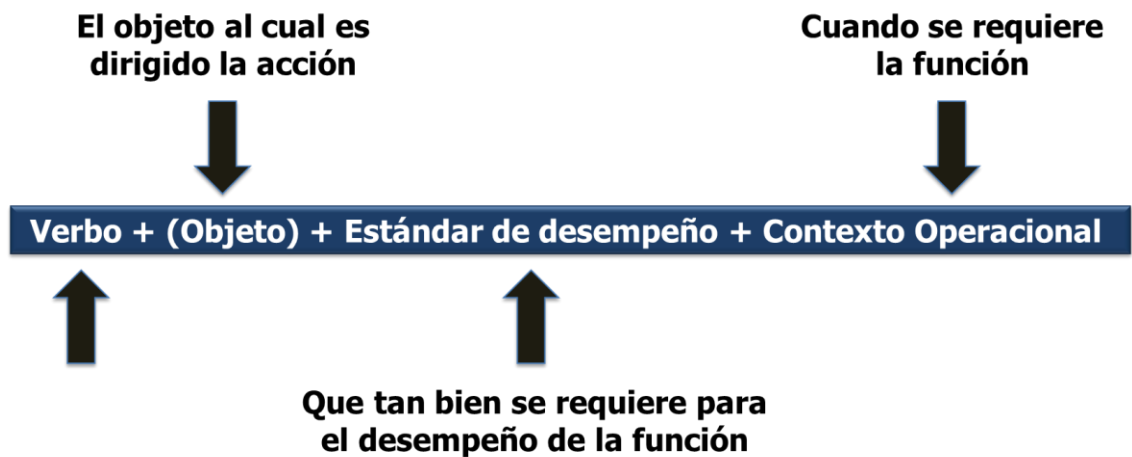


Figura 03-12. Secuencia para escribir una función primaria/secundaria

Ejemplo 3-03b.

Describir la función de un manómetro diferencial del filtro de combustible.

Respuesta:

- Mostrar la presión diferencial a través del filtro de combustible primario dentro de un rango (+/- 5%) cuando el sistema está funcionando



Figura 03-13. Descripción de la función del manómetro.

Ejemplo 3-04.

Describir la función principal y una función secundaria del sistema de lubricación de un turbogenerador.

Respuestas:

- Función principal: Suministrar aceite lubricante dentro de los límites de temperatura y presión establecidos a los cojinetes del generador de gas, caja de accesorios y turbina de gas.
- Función secundaria: Contener el aceite lubricante y permitir que este llegue a los puntos de lubricación sin fugas.

¿Cómo escribir una función de un dispositivo de protección correctamente?

Para un dispositivo de protección se recomienda escribir la función de la siguiente manera:

Ser capaz de [...] en caso de que [...]

Una función para un dispositivo de protección detalla lo que el dispositivo debe poder hacer y cuándo debe funcionar.

Ejemplo 03-05.

Describir la función de un interruptor final de carrera (grúa).

Respuesta:

- Ser capaz de interrumpir el ángulo de giro de la pluma en caso de que el operador exceda los 80 grados de izamiento de la pluma.

Las funciones superfluas

Algunos sistemas incorporan elementos o componentes que se establecen para ser completamente superfluos. Esto pasa usualmente cuando el equipo o la manera en la cual es utilizado se ha modificado con el tiempo, o cuando se ha sobre especificado el nuevo equipo.

Si estos elementos/componentes son desincorporados, los modos de falla asociados y los costos también serán desincorporados. Sin embargo, antes de que se recomiende su desincorporación, sus funciones deben estar claramente identificadas y entendidas.

Ejemplo 03-06.

Funciones del motor eléctrico del sistema de bombeo PJ-300 (ver tabla 03-11).

Tabla 03-11. Funciones del motor eléctrico.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC				
ACTIVO:		Sistema de bombeo PJ-300		
Sistema Equipo Componente	COD	Función		
Motor eléctrico	1	Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125HP a una velocidad constante de 1773 RPM.		
	2	Disponer de un aterramiento seguro		
	3	Contar con una fijación estable respecto a la base (SKIP).		

Ejemplo 03-07.

Funciones de un intercambiador de calor (ver tabla 03-12).

Tabla 03-12. Funciones de un intercambiador de calor.

Sistema Equipo Componente	COD	Función
Tuberías de agua	1	Bajar la temperatura del aceite a 35 °C
	2	Contener el agua a una presión mínima de 5 bar
Tapas laterales	3	Direccionar el flujo del agua a través de las tuberías del intercambiador de calor
	4	Contener el agua a una presión de 5 bar
Cuerpo cilíndrico	5	Contener aceite a una presión de 6 bar
Empaquetaduras	6	Evitar fugas de agua
Válvula reguladora	7	Regular la presión de aceite a 6 bar
Flujostato	8	Ser capaz de emitir una señal de paro cuando el flujo del agua es menor a 900 lts/hr

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)

3.5 Pregunta/Paso 02 – Fallas Funcionales

Una falla funcional representa la incapacidad de cumplir una función y también se le conoce como estado de falla.

Nowlan y Heap, definen una falla funcional como una condición insatisfactoria.

Las fallas funciones se clasifica en:

- Totales > Imposibilidad absoluta de cumplir con la función
- Parciales > La función se cumple, pero de manera parcial

Puede haber más de una falla funcional para cada función.

Normalmente, la función principal incluye más de una falla funcional y las funciones secundarias también pueden tener más de una falla funcional.

Las fallas funcionales son la siguiente información que se debe registrar en la hoja de información del MCC, como se muestra en la tabla 3-13.

Tabla 03-13. Registro de información sobre fallas funcionales.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC							
ACTIVO:		Sistema 01					
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional			
Equipo 01	1	Función principal	A	Falla funcional total			
			B	Falla funcional parcial			
	2	Función secundaria	A	Falla funcional total			
			B	Falla funcional parcial			
Equipo 02	3	Función principal	A	Falla funcional total			
	4	Función secundaria	A	Falla funcional total			

Notas:

- Puede haber más de una falla funcional para cada función.
- Normalmente, la función principal incluye más de una falla funcional y las funciones secundarias también pueden tener más de una falla funcional.

Ejemplo 03-08.

Mostramos algunas fallas funcionales del motor eléctrico del sistema PJ-300 (ver tabla 03-14).

Tabla 03-14. Registro de información sobre fallas funcionales del sistema PJ-300.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC				
ACTIVO:	Sistema de bombeo PJ-300			
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional
Motor eléctrico	1	Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125HP a una velocidad constante de 1773 RPM.	A	No suministra potencia (No gira)
	2	Disponer de un aterramiento seguro	A	Pérdida total del aterramiento/ aterrizamiento eléctrico
	3	Contar con una fijación estable respecto a la base (SKIP).	A	Pérdida parcial de la fijación estable respecto a la base (SKIP).

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)

3.6 Pregunta/Paso 03 – Modos de falla

Podemos definir un modo de falla de las siguientes maneras:

- Es lo que causa específicamente una falla funcional.
- Un evento único, que provoca una falla funcional, Norma SAE JA1011.
- Es el efecto por el cual una falla es observada, Norma ISO 14224.
- Es cualquier evento que causa un estado de falla y los mecanismos que conducen al estado de falla, RCM2.
- Es la combinación de la causa del modo de falla y el mecanismo del modo de falla.

El mecanismo del modo de falla es el evento que conduce a la causa del modo de falla. Muchos mecanismos de modo de falla diferentes pueden conducir a una causa de modo de falla (estado de falla).

Conceptos clave de los modos de falla

Según la norma SAE JA1012 existen 5 consideraciones para establecer adecuadamente los modos de falla:

1. Identificar los modos de falla probables
2. Establecer que se entiende por "probable"
3. Niveles de causalidad
4. Fuentes de información
5. Tipos de modos de falla

A continuación, se muestra la descripción detallada de cada consideración:

1. Identificar los modos de falla

La descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo.

La descripción debe ser suficientemente detallada de modo que posibilite la selección de una política de manejo de fallas adecuada, pero no tan detallada que tome demasiado tiempo realizar el proceso de análisis.

Los verbos utilizados para describir los modos de falla se deben seleccionar cuidadosamente, ya que tienen una gran influencia en el proceso de selección de las políticas de manejo de fallas.

No es recomendable usar los verbos como:

- Fallar
- Averiar

- Malfuncionamiento, ya que dan poca o ninguna indicación de cual podría ser la manera apropiada de manejar el modo de falla.

El termino falla se usa cuando vamos a considerar esa función como una caja negra (típico de los primeros niveles de causalidad), cuando el equipo o componente en estudio se considera complejo.

El uso de verbos más específicos hace posible seleccionar las opciones de manejo de fallas a partir de un rango completo.

Para válvulas, interruptores, y dispositivos similares, la descripción del modo de falla debe indicar si la pérdida de la función es causada en la posición abierta o cerrada del elemento que falla. "La válvula se atasca en el cierre" dice más que "La válvula falla".

Los modos de falla se deben registrar en el formato de información del MCC, como se muestra en los ejemplos 03-09 y 03-10.

Ejemplo 03-09.

Descripción de modos de falla según la Norma SAE JA1022 para una bomba centrífuga de un sistema de bombeo (ver tabla 03-15).

Tabla 03-15. Descripción de modos de falla según la Norma SAE JA1012.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC						
ACTIVO:		Sistema de bombeo				
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional (Pérdida de la función)	Modo de falla (Causa de la falla)	
Bomba centrífuga	1	Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros x minuto.	A	No disponible para transferir ninguna cantidad de agua	1	Cojinete atascado
					2	Motor quemado
					3	Impulsor suelto
					4	Cizallas en el cubo del acople debido a la fatiga
					5	Válvula de entrada atascada en posición cerrada
					6	Impulsor atascado por objeto extraño
			B	Transfiere menos de 800 litros x minuto	1	Impulsor desgastado
					2	Línea de succión parcialmente bloqueada

Ejemplo 03-10.

Descripción de modos y mecanismos de falla para un camión de transporte según la propuesta del RCM2 (ver tabla 03-16).

Tabla 03-16. Descripción de modos y mecanismos de falla según el RCM2.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC						
ACTIVO:		XP-750				
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional (Pérdida de la función)	Modo de falla (Causa de la falla)	Modo de falla Mecanismo
Camión de transporte	1	Transferir 20 ton de material del punto A al punto B a una velocidad de 60 mph con un tanque de combustible	A	Incapaz de transferir material alguno	1 Sin combustible en el tanque	Tanque perforado por objeto punzante
					2 Filtro de combustible obstruido	Contaminación
					3 Línea de combustible obstruida	Objetos extraños
					4 Falla de la bomba de combustible	Desgaste normal

La mayoría de los gerentes evalúan el tiempo y el esfuerzo que implicará identificar todos estos modos de falla asociadas a las fallas de los equipos en una planta. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajo y abandonan la idea por completo, pero pasan por alto el hecho de que, en el día a día, el mantenimiento se administra realmente a nivel del modo de falla.

En muchas empresas, el personal de mantenimiento y operación se reúnen casi todos los días, para tratar principalmente situaciones sobre qué ha fallado, qué causó la falla y algunas veces quien es el responsable, qué se está haciendo para repararlo y, a veces, qué se puede hacer para evitar que vuelva a suceder. En resumen, el mayor tiempo de las reuniones están enfocadas en discutir los modos de falla.

En gran medida en los CMMS se registran los modos de falla individuales (o al menos lo que se hizo para corregirlos).

En demasiados casos, estos modos de falla se discuten, registran o de otra manera son tratados después de que hayan ocurrido. Tratar con las fallas después de que hayan ocurrido es, por supuesto, la esencia del mantenimiento reactivo.

La gestión proactiva, por otro lado, significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir cómo deben tratarse si llegan a ocurrir.

Debemos identificar todos los modos de falla (causas y mecanismos) que tienen una probabilidad razonable de afectar a un activo.

2. Establecer que se entiende por "probable"

"Probabilidad razonable" significa una probabilidad que encuentra una prueba de racionalidad, cuando es aplicada por personal conocedor y entrenado. (Un término utilizado en lugar de "razonable" en este contexto es el término "creíble".)

En la tabla 03-17 se listan los modos de falla que se deben considerar en un estudio MCC.

Tabla 03-17. Modos de falla a considerar en un estudio MCC.

LOS MÁS PROBABLES	LOS QUE SON POCO PROBABLES
<ul style="list-style-type: none">▪ Que han ocurrido antes▪ Que son parte del programa de mantenimiento▪ Otros que no han ocurrido, pero son posible	Con consecuencias graves

En la práctica, algunas veces es muy difícil decidir si un modo de falla debe o no ser listado. Este problema está relacionado al mismo tiempo a la probabilidad de ocurrencia y al nivel de detalle utilizado para describir los modos de falla.

Una característica esencial del mantenimiento proactivo y de la gerencia del riesgo en particular, es identificar y decidir cómo tratar con los modos de fallas que aún no han ocurrido. Este es también uno de los aspectos más desafiantes de cualquier estudio MCC, porque requiere un alto grado de juicio aplicado por personas experimentadas y conocedoras.

Para identificar de manera adecuada los modos de falla que debemos incluir en un estudio de MCC, nos podemos apoyar con el siguiente diagrama de flujo mostrado en la figura 03-14.

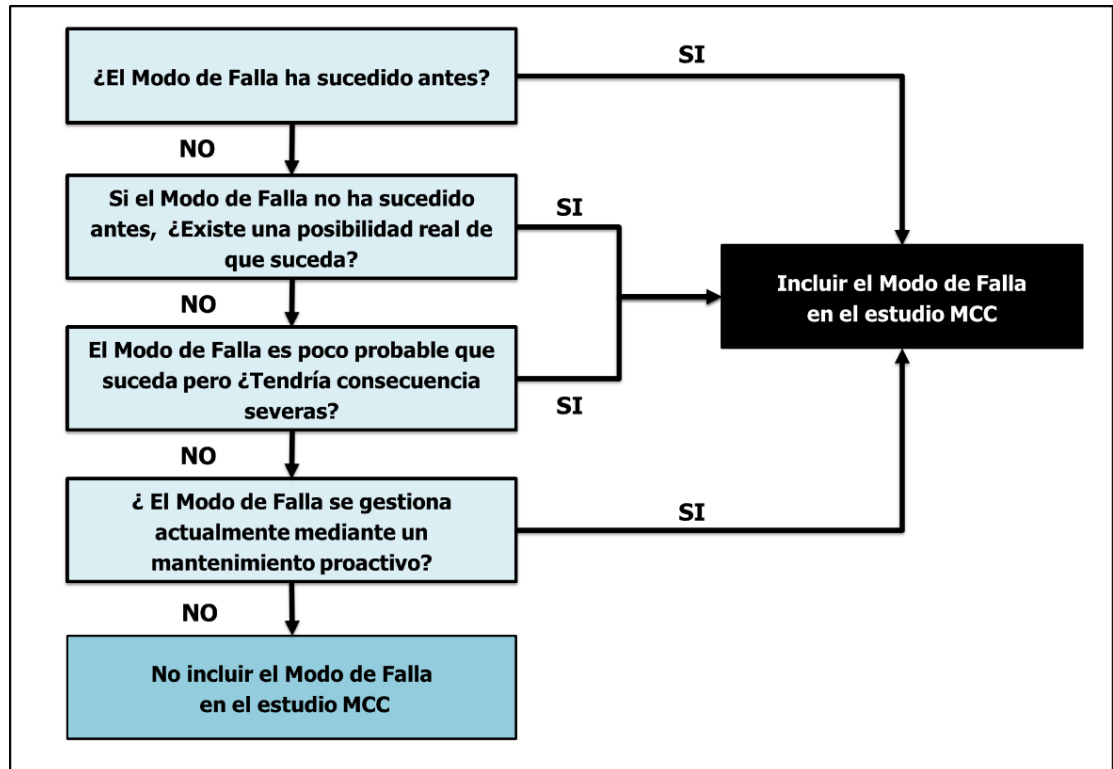


Figura 03-14. Diagrama para decidir sobre modos de falla a considerar en el MCC.

3. Niveles de causalidad

Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.

Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.

Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente debido a la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional actual.

En el ejemplo 03-11 se muestra los niveles de causalidad para un modo de falla.

Ejemplo 03-11.

En la tabla 03-18 se muestra los niveles de causalidad para un modo de falla.

Tabla 03-18. Niveles de causalidad para un modo de falla.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
Falla el conjunto de la bomba	Falla de la bomba	Falla del impulsor	Tuerca del impulsor suelta	Montaje de la tuerca desecho Montaje de la tuerca desgastado	Tuerca apretada incorrectamente Tuerca erosionada/corroida	Error de ensamble
				Tuerca del impulsor fracturada	Tuerca fabricada con un material erróneo Apretado excesivo de la tuerca del impulsor	Especificación errónea del material Suministro erróneo del material
				Cizallas en la chaveta del impulsor	Tuerca fabricada con un material erróneo	Especificación errónea del material Suministro erróneo del material
				Parte en el sistema después del mantenimiento	Especificación errónea del acero de la chaveta	Error de diseño
				Objeto extraño entra al sistema	Suministro erróneo del acero de la chaveta	Error de procura Error de almacenamiento de la tienda Error de requisición Ver (error humano)
				Objeto rompe el impulsor	Filtro de succión no instalado Filtro agujereado por la corrosión	Error de ensamble
				Ruptura de la carcaza	Poco apriete de los pernos de la carcaza	Ver (error humano)
					Pernos sueltos por la vibración	
					Pernos de la carcaza corroidos	
					Falla de los pernos debido a la fatiga	
					Junta ajustada incorrectamente	Error de ensamble
					Falla de las juntas debido al roce	Ver (error humano)
					Rotura de la carcaza	
					Carcaza rota por vehículo	Error de operación
					Rotura por objeto desde el cielo	Ver (error humano)
					Carcaza golpeada por una parte de avión	
					Falla del sello de la bomba	
					Rasgadura o desgaste normal	Desgaste del sello
					Bomba trabaja en seco	Ver "fallas de suministro de agua" debajo
					Sello desalineado	Ver (error humano)
					Caras del sello secas	Error de ensamble
					Sello mal ajustado	Ver (error humano) Suministro erróneo del sello
					Sello instalado dañado	Error de almacenamiento de la tienda Error de diseño
					Sello de la bomba se cayó en la tienda	Ver (error humano)
					Sello de la bomba dañado durante el transporte	Ver (error humano) Ver (error humano)

El termino falla se usa cuando vamos a considerar esa función como una caja negra (típico de los primeros niveles de causalidad), cuando el equipo o componente en estudio se considera complejo.

Este proceso de profundizar podría seguir casi para siempre la vía más allá del punto al cual la organización responsable de la operación y el mantenimiento del activo tiene algún control sobre los modos de falla.

Esta es la razón por la que la norma plantea un proceso MCC para identificar los modos de falla a un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.

Este nivel variará para los diferentes modos de falla. Algunos modos de falla se deben identificar hasta un nivel 3, otros hasta un nivel 5, y el resto a otros niveles.

Algunos de los modos de falla mostrados en la tabla anterior podrían considerarse no probables en un contexto diferente al utilizado para este ejercicio. En este caso, no habría ninguna razón para listarlos en absoluto.

Recíprocamente, otros modos de falla que no son mostrados en la tabla pero que se consideren probables en otro contexto deben ser agregados a la lista.

Recuerden que los modos de falla listados en la tabla sólo aplican a una falla funcional y no se muestran los modos de falla que podrían causar otras fallas funcionales, tales como pérdida de contención o pérdida de protección.

El término "causa raíz" se utiliza frecuentemente en conexión con el análisis de fallas. Implica que es posible llegar al final y a un nivel de causalidad absoluto, si se profundiza lo suficiente.

Lograr el nivel de causalidad absoluto es muy difícil de lograr e innecesario, como se explica en el ejemplo 03-12.

Ejemplo 03-12.

Considerando el listado del ejemplo anterior, podemos analizar el siguiente modo de falla:

- Nivel 4 "tuerca del impulsor suelta"
- Nivel 5 "tuerca del impulsor fracturada"
- Nivel 6 "apriete excesivo de la tuerca del impulsor"
- Nivel 7 "error de ensamblaje"
- Nivel 8 "técnico estaba distraído"
- Nivel 9 "problemas personales"
- Nivel 10 "puede perder su casa por una deuda"

4. Fuentes de información

- Personal que operar y mantiene el equipo
- Otros usuarios de equipos similares
- El fabricante o vendedor del equipo
- Sistema de información (CMMS)
- Bancos de datos
- Listas genéricas de modos de falla
- Las rutinas de mantenimiento para modos de fallas que ya están identificados
- Programas de mantenimiento para activos idénticos o muy similares

5. Tipos de modos de falla

Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores según la norma SAE JA1012.

Es importante recordar que la falla funcional (estado de falla) define la pérdida de función.

El "Modo de falla" (causa y mecanismo) es un término que se usa para describir cualquier evento que causa un estado de falla, enumerado en un nivel de detalle apropiado. El "mecanismo de falla" describe los procesos que conducen a la causa del estado de falla, por ejemplo, acumulación de suciedad, "desgaste/deterioro normal" o corrosión.

En este punto vamos a tratar nuevamente los estándares de desempeño de equipos, mencionados en la pregunta/paso 01, para identificar los modos de falla asociados a las 3 condiciones:

1. Capacidad del activo cae debajo del desempeño deseado luego de puesto en servicio.
 - El deterioro genera que la capacidad de un activo disminuya por debajo del desempeño deseado.
 - Los mecanismos asociados son los siguientes:
 - Fatiga
 - Corrosión
 - Abrasión
 - Erosión
 - Evaporación
 - Degradación (aislantes, lubricantes, etc.)

2. Desempeño deseado supera la capacidad del activo luego de puesto en servicio.
 - Muchas fallas funcionales son causadas cuando el esfuerzo aplicado a un activo se incrementa por encima de su habilidad para resistir el esfuerzo. En la práctica estos incrementos del esfuerzo son aplicados frecuentemente por seres humanos y en el mundo de los activos físicos estos errores usualmente entran en las siguientes categorías:
 - Operación incorrecta
 - Ensamblaje incorrecto
 - Daño externo

3. Activo no es capaz de realizar la función deseada para el contexto operacional desde el inicio de las funciones.
 - El diseño de un activo o la configuración de un sistema pueden proporcionarlo de modo que sea incapaz de cumplir el rango completo de los requerimientos funcionales en el contexto en el cual se espera que opere.

En la tabla 03-19 se muestra una clasificación de los modos de falla según varios mecanismos de falla.

Tabla 03-19. Clasificación de modos de falla según mecanismo de falla.

MECANISMO	MODOS DE FALLA
Mecánico (MEC)	<ul style="list-style-type: none"> • General: una falla relacionada con algún defecto mecánico, pero donde no se conocen más detalles • Fuga: fuga externa e interna, ya sea de líquidos o gases • Vibración anormal • Fallo de holgura/alineación • Deformación: distorsión, flexión, pandeo, abolladura, deformación, encogiéndose, ampollando, arrastrándose, etc. • Soltura: desconexión, elementos sueltos • Pegado: agarrotamiento, atascado debido a razones distintas a la deformación o fallas de holgura/alineación
MATERIAL (MAT)	<ul style="list-style-type: none"> • General: una falla relacionada con un defecto de material, pero no más detalles conocidos • Cavitación: relevante para equipos como bombas y válvulas • Corrosión: Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) y seca (químico) • Erosión: desgaste erosivo • Desgaste: Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo, rayado, irritación, raspaduras y preocupaciones • Rotura: fractura, rotura y agrietamiento • Fatiga • Sobrecalentamiento: daño material debido al sobrecalentamiento / quemado

MECANISMO	MODOS DE FALLA
INSTRUMENTACION (INS)	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo general: relacionado con la instrumentación, pero sin detalles conocido • Fallo de control: sin regulación o regulación defectuosa • Sin señal / indicación / alarma: Sin señal / indicación / alarma cuando esperado • Señal / indicación / alarma defectuosa: la señal / indicación / alarma es incorrecta En relación con el proceso real. Puede ser falso, intermitente, oscilante o arbitrario • Fuera de ajuste: error de calibración, desviación de parámetros • Fallo del software: defectuoso o sin control / monitoreo / operación debida al software • Causa común / falla de modo: varios elementos del instrumento fallaron simultáneamente, por ejemplo, detectores de fuego y gas redundantes; también fallas relacionadas con una causa común
ELECTRICO (ELE)	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos generales: relacionados con el suministro y transmisión de energía eléctrica, pero donde no se conocen más detalles. • Cortocircuito: cortocircuito • Circuito abierto: desconexión, interrupción, hilo / cable roto • Sin energía / voltaje: suministro de energía eléctrica insuficiente o faltante • Alimentación / voltaje defectuoso: suministro eléctrico defectuoso, por ejemplo, sobretensión • Fallo a tierra / aislamiento: Fallo a tierra, baja resistencia eléctrica
INFLUENCIA EXTERNA (EXT)	<ul style="list-style-type: none"> • General: Fallo causado por algunos eventos o sustancias externas fuera del límite, pero no se conocen más detalles • Bloqueo/ taponado: flujo restringido/bloqueado debido a incrustaciones, contaminación, formación de hielo, etc. • Contaminación: fluido/gas/superficie contaminados, por ejemplo, aceite de lubricación contaminado • Influencias externas diversas: objetos extraños, impactos, influencia ambiental de los sistemas vecinos
VARIOS (MIS)	<ul style="list-style-type: none"> • General: modo de falla que no entra en una de las categorías listados arriba • No se encontró ninguna causa: se investigó el modo de falla, pero no se reveló la causa o demasiado incierto • Causas combinadas, Varias causas: si hay una predominante porque, esto debe estar codificado • Otro, no se aplica código: utilice texto libre • Desconocido: no hay información disponible

Ejemplo 03-13.

Listar los modos de falla de un automóvil que no se detiene al pisar el pedal del freno.

En la tabla 03-20 se muestra una clasificación de los modos de falla del ejemplo.

Tabla 03-20. Clasificación de modos de falla.

MODO DE FALLA	CLASIFICACION
Fuga de líquido de frenos	MEC
Balatas/pastillas de frenos gastadas	MAT
Sin indicación de líquido de frenos bajo	INS
Sin alimentación de corriente	ELE
Carretera resbaladiza o aceitosa	EXT
Rotura en membrana de Booster	MIS

Todos estos eventos son modos de falla, que pueden necesitar más investigación para encontrar tareas adecuadas para mitigar las consecuencias de las fallas a niveles tolerables.

En la tabla 03-21 se muestran las causas fundamentales (raíces) de los modos de falla según la Norma ISO 14224.

Tabla 03-21. Causas raíz más comunes de los modos de falla.

CAUSA RAIZ	MODOS DE FALLA
Relacionadas con el Diseño (DIS)	<ul style="list-style-type: none"> • General: Diseño o configuración inadecuados del equipo (forma, tamaño, tecnología, configuración, operatividad, mantenibilidad, etc.), pero no se conocen más detalles • Capacidad inadecuada: dimensionamiento / capacidad inadecuados • Material inadecuado: selección de material incorrecta
Relacionadas con la Fabricación (FAB)	<ul style="list-style-type: none"> • General: falla relacionada con la fabricación o instalación, pero no se conocen más detalles • Error de fabricación: falla de fabricación o procesamiento • Error de instalación: falla de instalación o montaje (montaje después • mantenimiento no incluido)
Relacionadas con la Operación y Mantto (O&M)	<ul style="list-style-type: none"> • General: Falla relacionada con la operación / uso o mantenimiento del equipo, pero no se conocen más detalles • Servicio fuera de diseño: condiciones de servicio fuera de diseño o no deseadas, por ejemplo, funcionamiento del compresor fuera de la envolvente, presión por encima de la especificación, y así sucesivamente • Error operativo: error, mal uso, negligencia, descuidos, etc. encendido durante la operación

CAUSA RAIZ	MODOS DE FALLA
	<ul style="list-style-type: none"> • Error de mantenimiento: error, errores, negligencia, descuidos y así sucesivamente durante el mantenimiento
Relacionadas con la Gestión (MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo general: relacionado con problemas de gestión, pero no más detalles conocidos • Error de documentación: falla relacionada con procedimientos, especificaciones, dibujos, informes, etc. • Error de gestión: falla relacionada con la planificación, organización, garantía de calidad, etc.
Varios (MIS)	<ul style="list-style-type: none"> • Miscelánea: General: Causas que no caen en una de las categorías enumeradas anteriormente. • No causa encontrada: falla investigada pero no se encontró una causa específica. • Causa común: causa / modo común. • Causas combinadas: Varias causas actúan simultáneamente. • Si una causa es predominante, esta debe resaltarse. • Otro: No se aplica ninguno de los códigos anteriores. Especifique la causa como texto libre. • Desconocido: no hay información disponible relacionada con la causa de la falla.
Uso normal (EDAD)	<ul style="list-style-type: none"> • General: Este código se agregó a los mencionados anteriormente y proporcionado por ISO 14224. La edad es una causa raíz muy común, contabilizar un artículo que sufre fallas por desgaste de acuerdo con sus características de confiabilidad inherentes.

Se debe utilizar un nivel apropiado y equilibrado, aplicando una estrategia adecuada que permita evitar el uso de un tiempo excesivo en el estudio, pero a la vez con suficiente detalle que permita obtener resultados exitosos.

Ejemplo 03-14.

En este ejemplo se muestran algunos modos y mecanismo de falla del motor eléctrico del sistema de Bombeo PJ-300 (ver tabla 03-22).

Tabla 03-22. Modos y mecanismos del motor eléctrico – Sistema Bombeo PJ-300.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC							
ACTIVO:		Sistema de bombeo PJ-300					
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla
Motor eléctrico	1	Función principal: Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125HP a una velocidad constante de 1773 RPM.	A	No suministra potencia (No gira)	1	Falla del interruptor principal	Desconexión
					2	Mando de control no funciona	Rotura de cable de alimentación
					3	Motor atascado	Falla del aislamiento interno
					4	Falla en rodamientos	Desgaste interno
	2	Función secundaria: Disponer de un aterramiento seguro	B	Perdida total del aterramiento/ aterrizamiento eléctrico	1	Rotura del cable a tierra	Corte por fatiga
					2	Daño en zapata terminal	Corrosión por sulfatación
					3	Daño de conector cable de tierra	Desgaste

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)
03	Modos de falla

3.7 Pregunta/Paso 04 –Efecto de falla

Según la norma SAE JA1012, Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.

Un efecto de falla es una descripción de lo que sucedería si no se hiciera nada para predecir o prevenir el modo de falla, y en la mayoría de los casos es complicado para los operadores y mantenedores escribir lo que sucedería si no hicieran nada.

Otro punto importante sobre los efectos de las fallas es que siempre se documenta el peor de los casos. Los diferentes grados de efectos de falla a menudo son el resultado de un modo de falla. La documentación del peor escenario asegura que se evalúe la consecuencia mayor impacto.

Cuando ocurre un modo de falla nos podemos hacer las siguientes preguntas:

- ¿Hay impacto en la calidad?, ¿Cuánto?
- ¿Qué evidencia hay de que ocurrió la falla?
- ¿Qué daños físicos ocasiona la falla?
- ¿Hay impacto en el servicio al cliente?
- ¿Se producen daños a otros sistemas?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?
- ¿Es necesario parar el proceso?
- ¿De qué manera afecta la producción o las operaciones?
- ¿De qué manera afecta la seguridad y al ambiente?

¿¿¿Vale la pena hacer el análisis de los efectos de la falla...???

Conceptos claves

Según la Norma SAE JA1011 existen dos conceptos claves relacionados a los efectos de falla:

1. Suposiciones básicas
2. Información necesaria

1. Suposiciones básicas

- Una definición de efecto de falla describe lo que puede pasar si ocurre el modo de falla.
- El MCC distingue claramente entre un efecto de falla (que pasa) y una consecuencia de falla (como, y cuanto, afecta el modo de falla).

- Las definiciones de los efectos de falla son utilizadas para evaluar las consecuencias de cada modo de falla y proveen la información básica necesaria para decidir que políticas de manejo de fallas se deben implementar para evitar, eliminar o minimizar estas consecuencias para la satisfacción de los dueños/usuarios del activo.
- Si queremos identificar las tareas correctamente, es esencial asumir que no se está llevando a cabo ningún mantenimiento proactivo cuando se están identificando los modos de falla y los efectos asociados.
- En otras palabras, para comenzar desde una verdadera base cero, es esencial asumir que el modo de falla causa de hecho, la falla funcional asociada.

2. Información necesaria

- Los efectos deben incluir toda la información necesaria para realizar la evaluación de las consecuencias de la falla.
- La evidencia de que la falla ha ocurrido (para funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple).
- Qué se debe ser hacer para restaurar la función del sistema después de la falla.
- Si pueda matar o dañar a alguien, o genere efectos adversos en el ambiente.
- Si la falla causo algún daño físico.
- Si hay un efecto adverso en la producción o en las operaciones.

En este punto es importante aclarar los siguientes conceptos de falla oculta y falla evidente.

- **Falla oculta:** Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado. Las fallas ocultas se pueden considerar la mitad de los modos de falla que pueden afectar equipos modernos.
- **Falla evidente:** Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidente para el personal de operaciones en circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.

Ejemplo 03-15.

Falla oculta: La falla del interruptor limitador de carrera del ángulo máximo de levantamiento de la pluma en una grúa.

Nota: En este caso consideramos que el limitador de carrera cuando está en falla no emite ninguna señal audible o visual dentro o fuera de la cabina del operador de la grúa.

Falla evidente: la falla de la bomba de combustible de un vehículo impide el suministro de combustible al motor y se vuelve evidente para el conductor cuando el automóvil deja de funcionar/no arranca.

Ejemplo 03-16.

En la figura 03-15 se describe lo que es una falla evidente con el ejemplo de dos válvulas.



Figura 03-15. Falla evidente.

Ejemplo 03-17.

En la figura 03-16 se describe lo que es una falla evidente, falla oculta y falla múltiple con el ejemplo de dos válvulas.



Figura 03-16. Falla evidente, falla oculta, falla múltiple.

La mayoría de los dispositivos de protección y los componentes redundantes tienen funciones ocultas y su falla puede tener un alto impacto para el negocio.

Nota: El concepto de falla múltiple se describirá con mayor detalle en el próximo paso.

Ahora presentamos una clasificación de la información para generar los efectos de falla:

2.1 Evidencia de que ha ocurrido la falla

- Describir si hay alguna evidencia de que el modo de falla ha ocurrido.
- Mencionar si hay cambios del equipo como resultado del modo de falla (luces de alarma, cambio en los niveles de ruido y velocidad, etc.).
- Describir si el modo de falla está acompañado (o precedido) por efectos físicos obvios, tales como, ruidos altos, fuego, humo, escapes de vapor, olores inusuales, o charcos de líquido en el piso.
- Para dispositivos de protección los efectos de falla deben definir brevemente lo que puede pasar si la función protectora falla mientras la protección está en estado de falla.

2.2 Amenazas a la seguridad y al ambiente

- Si hay una posibilidad de que alguien pueda ser herido o muerto como resultado directo del modo de falla, o se viola una norma o regulación ambiental, el efecto de falla debe describir como podría pasar esto.
- Cuando se listan estos efectos, se debe tener cuidado de no decir que el modo de falla "tiene consecuencias de seguridad" o "afecta el ambiente".

Esto forma parte del siguiente paso del MCC.

2.3 Efecto en la producción o en las operaciones

- Tiempo fuera de servicio: cuanto tiempo el activo podría estar fuera de servicio debido a ese modo de falla, desde el momento que ocurre la falla hasta que nuevamente la operación.
- Velocidad de operación: En que porcentaje o magnitud el equipo puede bajar su velocidad como resultado del modo de falla.
- Calidad: Si el modo de falla afecta la calidad de los productos generados por el activo.
- Otros sistemas: Si otro equipo o proceso se detienen, bajan su velocidad, o son afectados de otra manera por el modo de falla.
- Costos de operación: Si el modo de falla causa incremento en los costos operacionales por pérdidas de producción y otros.

2.4 Daño secundario

- Si el modo de falla en consideración causa daños significativos a otros componentes o sistemas, los efectos de este daño secundario también se deben registrar.

2.5 Acción correctiva requerida

- La descripción de los efectos de falla debe incluir una breve descripción de la acción que se requiere para corregir el modo de falla después que este ha ocurrido.

Recomendaciones generales sobre el contenido de los efectos de falla

- La descripción del proceso de falla se debe realizar desde la falla potencial hasta la falla funcional.
- Evidencia física de que ha ocurrido la falla.
- ¿Cómo afecta adversamente la seguridad y/o el medio ambiente?
- ¿Cómo afecta la capacidad operativa?
- Daños secundarios
- Restricciones operativas específicas como resultado de la falla.
- Qué se debe hacer y cuánto tiempo se tarda en reparar la falla.

En la tabla 03-23 se listan varias recomendaciones sobre lo que debe contener un efecto de falla.

Tabla 03-23. Recomendaciones sobre el contenido de un efecto de falla.

RECOMENDACION	CONTENIDO
Una descripción del proceso de falla desde la ocurre del modo de falla hasta la falla funcional	Incluya evidencia temprana del proceso de falla, como fenómenos que no pueden ser detectados por el equipo operativo. Esta evidencia puede incluir firmas de vibración que solo son detectables usando sofisticados dispositivos de monitoreo o escombros que se acumulan en fluidos como fluido hidráulico, aceite de motor y refrigerante. Incluya evidencia del proceso de falla que sea detectable por el equipo de operación, como vibración, ruido, calor, humo, fugas de líquido, indicadores de medición, luces de advertencia y varias alarmas. Incluya todo lo que el equipo operativo pueda ver, sentir, oler u oír.
Evidencia física de que ha ocurrido la falla	Incluya evidencia de que se ha producido la falla, como agarrotamientos en los cojinetes, paradas de la bomba, paradas del motor, que el motor no arranca, fugas de aceite hidráulico en el área circundante, que los frenos no se enganchan, que el cabrestante se detiene y el cable no se afloja o, el orificio de drenaje se obstruye y la correa se rompe.

RECOMENDACION	CONTENIDO
¿Cómo afecta adversamente la seguridad y/o el medio ambiente?	Detalle específicamente cómo alguien podría resultar lesionado o qué ley o norma ambiental podría infringirse. No se limite a decir: el operador podría lastimarse. En su lugar, sea más específico, como que el operador podría electrocutarse.
Cómo afecta la capacidad operativa	Explique cómo se ve afectada la capacidad operativa. Por ejemplo: la producción se detiene hasta por tres días a un costo de \$ 150,000 mientras se implementa un medio alternativo para producir aire para instrumentos: se producen 1,000 pies de chatarra con un costo de \$ 20,000.
Restricciones operativas específicas como resultado de la falla	Detallar las restricciones operativas como resultado de la falla. Por ejemplo, si se detecta una pequeña fuga de vapor en el sistema de una caldera durante el funcionamiento, aún se puede producir vapor. Sin embargo, por razones de seguridad, puede haber una restricción que obligue a apagar la caldera hasta que se repare la fuga.
Daños secundarios	Detalle cualquier daño secundario que pueda ser causado por el modo de falla. Por ejemplo, la bomba se detiene y el eje se corta; El fluido hidráulico sin filtrar circula a través del sistema causando un desgaste anormal de los componentes del sistema hidráulico.
Qué se debe hacer y cuánto tiempo se tarda en reparar la falla (tiempo de inactividad y tiempo de reparación)	Al final del Efecto de falla, detalle qué se debe hacer para reparar la falla y cuánto tiempo llevará la reparación. No escriba un procedimiento de reparación detallado. Simplemente indique lo que se debe hacer para reparar la falla (por ejemplo, se reemplaza la bomba). Al documentar cuánto tiempo llevará la reparación, use el término tiempo de inactividad para reparar cuando el equipo está averiado como resultado del modo de falla. Utilice el plazo para reparar cuando el equipo aún pueda funcionar y se realice una reparación en la próxima oportunidad disponible.

Se debe registrar un solo efecto de falla por cada modo de falla en la hoja de registro de información del MCC, como se muestra en la tabla 03-24.

Tabla 03-24. Un efecto de falla por cada modo de falla

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC								
ACTIVO:		Sistema 01						
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	Modo de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	
Equipo 01	1	Función principal	A	Falla funcional total	1	Modo de Falla	Mecanismo	Efectos de Falla
			B	Falla funcional parcial	1	Modo de Falla	Mecanismo	Efectos de Falla
	2	Función secundaria	A	Falla funcional total	1	Modo de Falla	Mecanismo	Efectos de Falla
			B	Falla funcional parcial	1	Modo de Falla	Mecanismo	Efectos de Falla

Ejemplo 03-18.

Describir los efectos de la falla de un modo de falla de una bomba de agua en una planta de papel, que alimentación a una caldera presenta pérdida/disipación en la lubricación del cojinete.

Respuesta:

- La falta de lubricación hace que el rodamiento se desgaste de manera anormal.
- Aumentan los niveles de vibración.
- Eventualmente, se desarrolla ruido y justo antes de la falla, aumenta la fricción de tal manera que se generan calor y humo.
- El cojinete se tranca, la bomba se detiene y ya no se suministra agua de alimentación a la caldera.
- El nivel del agua en la caldera desciende y se indica en el indicador de nivel de agua.
- Si este cambio pasa desapercibido, eventualmente se dispondrá de agua inadecuada para seguir produciendo vapor.
- La presión del vapor de salida disminuye de manera que se entregan menos de 10 psi al proceso de secado del papel.
- La caída de la presión de salida se indica en el manómetro de vapor.
- Cuando el vapor suministrado al proceso de secado del papel cae por debajo de 140 psi, suena la alarma de baja presión de vapor.
- Hasta 20.000 pies de papel no se secan completamente antes de que se pueda detener el proceso de secado del papel.
- El papel se desecha para reciclar y se reemplaza el motor de la bomba de agua de alimentación.
- Tiempo de inactividad para reparar: 8 horas.

La descripción del ejemplo 03-18 es bastante extensa y completa, pero llevaría mucho tiempo describir todos los efectos de esta manera, tomando en consideración la cantidad de modos de falla que se identifican en un estudio MCC.

Lo conveniente sería elaborar una versión más corta que incluya los puntos clave que nos permitan definir adecuadamente las consecuencias de falla.

Los dispositivos y sistemas de protección están destinados a proteger a las personas, el activo y la organización en caso de que ocurra otra falla. Es decir, la falla del dispositivo de protección solo importa en caso de que haya otra falla. Por esta razón, los efectos de falla para los modos de falla del dispositivo de protección siempre comienzan con lo siguiente:

Este modo de falla solo importa en el caso de que ...

Ejemplo 03-19.

Describir el efecto asociado al siguiente modo de falla, donde no abre el interruptor de alarma de vapor de baja presión de una caldera.

Respuesta:

Este modo de falla solo importa en el caso de que la presión de vapor de la caldera suministrada al proceso de secado de papel caiga por debajo de 140 psi. La alarma de baja presión de vapor no suena, el papel no se seca completamente y hasta 150,000 pies de papel se desechan para reciclar a un costo de \$ 50,000 y el tiempo estimado de reparación es de 4.5 horas.

Este un ejemplo de la descripción de los efectos de falla de manera corta y precisa.

Ejemplo 03-20.

Describir los efectos de falla para los modos de falla del sistema de bombe PJ-300, ver tabla 03-25.

Tabla 03-25. Efectos de falla del motor eléctrico del sistema de bombeo PJ-300.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC									
Sistema de bombeo PJ-300									
ACTIVO:	Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla
Motor eléctrico	1	A	Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125HP a una velocidad constante de 1773 RPM.		No suministra potencia (No gira)	1	Falla del interruptor principal	Desconexión	Se detiene el motor y el proceso de bombeo de dicloretano, disminuyendo la presión en el calentador. El sistema automático de respaldo arranca nuevamente el motor. Se efectúa revisión del alimentador del circuito. TER: 15 min (0.5 h-h / eléctrico). Impacto operacional: NO HAY
						2	Mando de control no funciona	Rotura de cable de alimentación	El conjunto motor-bomba no arranca. No se puede incrementar la presión en el calentador. Se efectúa revisión del juego de contactos de la bobina, si es necesario se repara la bobina. Tiempo estimado reparación: 2 horas (4 h-h / eléctrico). Impacto operacional: NO HAY
						3	Motor atascado	Falla del aislamiento interno	Se produce recalentamiento interno del motor, se detiene el motor hasta se puede quemar. Se detiene el proceso de bombeo de dicloretano, disminuyendo la presión en el calentador. Demontar el motor y reusarlo. Si el motor presenta daños internos graves debe enviarse a talleres. Tiempo estimado de reparación: 3 días (24 h-h / talleres). Impacto operacional: SI HAY
						4	Falla en rodamientos	Desgaste interno	Se produce recalentamiento del motor con posible daño por quemado. Se detiene el proceso de bombeo de dicloretano, disminuyendo la presión en el calentador. Se efectúa medición de la resistencia del aislamiento y resistencia óhmica. Se revisan los rodamientos y se envía el motor a talleres para reemplazarlos, si el motor está quemado se envía a talleres para su reparación general. ter: 3 días (24 h-h / talleres). Impacto operacional: SI HAY.
						1	Rotura del cable a tierra	Corte por fatiga	El proceso de bombeo de dicloretano continúa pero existe un alto riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa empalme de los cables y limpieza de zapatas terminales. Ter: 2 horas (4 h-h / eléctrico). Impacto operacional: NO HAY
		B	Disponer de un aterramiento seguro		Pérdida total del aterramiento / aterramiento eléctrico	2	Daño en zapata terminal	Corrosión por sulfatación	El proceso de bombeo de dicloretano continúa pero existe un riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa empalme de los cables y limpieza de zapatas terminales. Ter: 2 horas (4 h-h / eléctrico). Impacto operacional: NO HAY
						3	Daño de conector cable de tierra	Desgaste	El proceso de bombeo de dicloretano continúa pero existe un alto riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa el reemplazo de conector del cable y limpieza de zapatas terminales. Ter: 1.5 horas (3 h-h / eléctrico). Impacto operacional: NO HAY

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)
03	Modos de falla
04	Efectos de falla

3.8 Pregunta/Paso 05 – Consecuencia de fallas

La fuente básica de información utilizada para evaluar las consecuencias de la falla es la descripción de los efectos de cada modo de falla.

En esta pregunta/paso es importante definir los siguientes conceptos:

- La función protectora
 - La función de cualquier protección y asegurar que las consecuencias de la falla de la función protegida sean mucho menos serias de lo que hubiesen sido si no tuviese protección.
 - La función protectora es parte de un sistema con al menos dos componentes, La función protectora y la función protegida.
- Falla evidente de las funciones protectoras
 - En este contexto, una falla “evidente” de una función protectora es aquella mediante la cual los efectos del modo de falla aislado se vuelven apreciable para el equipo de operadores en circunstancias normales.
 - Existen 3 escenarios asociados a la función protectora en este caso:
 1. La función protectora y la función protegida no fallan > En ese caso todo continua normal.
 2. La función protegida falle antes de la protección > En este caso la protección llevará a cabo su función, y dependiendo de la naturaleza de la protección, las consecuencias de falla de la función protegida son reducidas o eliminadas.
 3. La función protectora falla antes que la función protegida (ver figura 03-17), Debido a que esta falla es “evidente”, la pérdida de la protección se debe convertir en aparente. En esta situación la falla de la función protegida se considera casi nula.

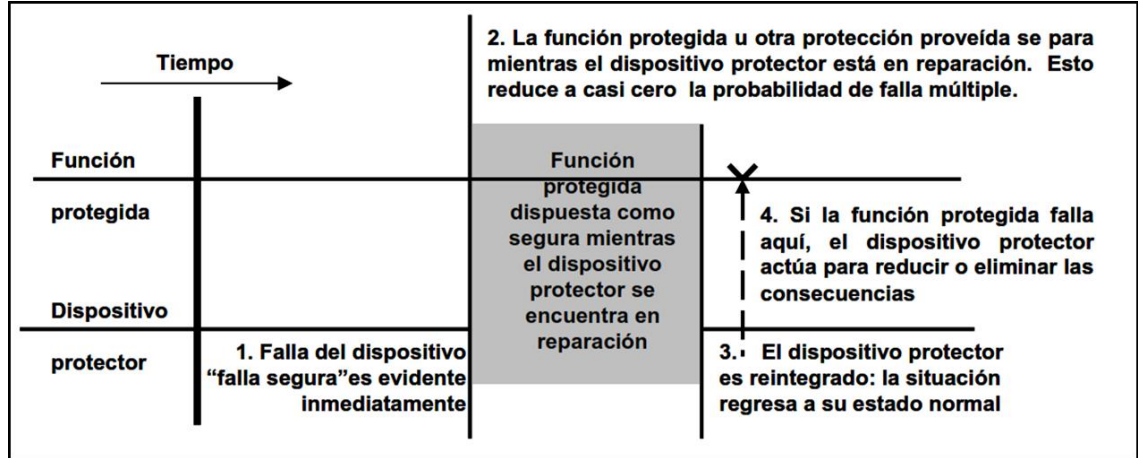


Figura 03-17. La función protectora falla antes que la función protegida.

- Falla no evidente de las funciones protectoras
 - Una falla oculta se puede identificar por medio de la pregunta:

¿Algunos de los efectos de este modo de falla se harán evidentes para el equipo de operadores en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado?

 - Si la respuesta en NO, el modo de falla es oculto
 - Si la respuesta en SI, el modo de falla es evidente
 - Existen 4 escenarios asociados a la función protectora en esta condición:
 1. La función protectora y la función protegida no fallan: En este caso todo continua normal.
 2. La función protegida falla cuando la protección está funcionando: En este caso las consecuencias de las fallas de la función protegida son de nuevo reducidas o eliminadas del todo.
 3. Falla la protección mientras la función protegida está operando: En este caso, la pérdida de la protección no tiene consecuencias directas. De hecho, nadie sabe que la protección está en estado de falla.
 4. Falla la protección, entonces la función protegida falla mientras la protección está en estado de falla (ver figura 03-18), Esta situación se conoce como falla múltiple.

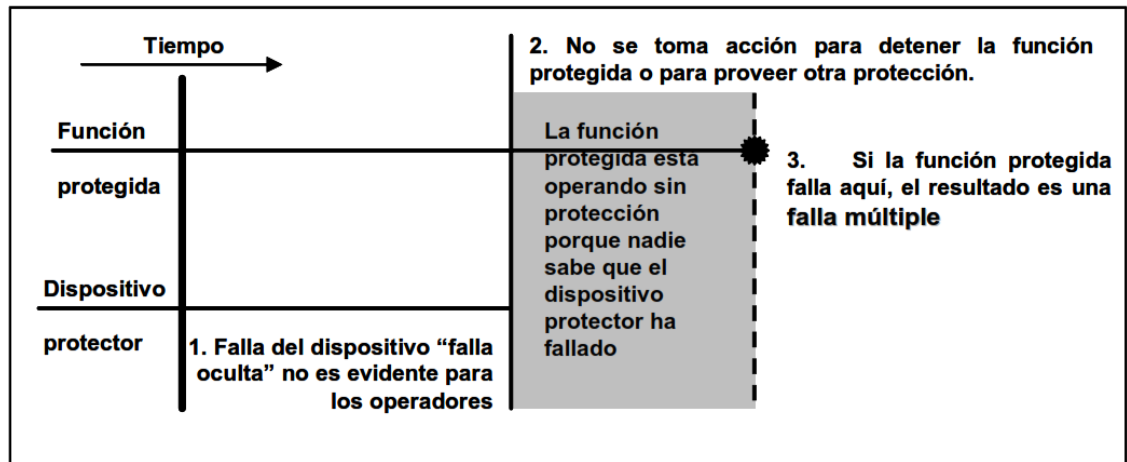


Figura 03-18. La función protegida falla mientras la protección está en estado de falla.

Acá se repiten los ejemplos 03-16 y 03-17 sobre falla evidente, falla oculta y falla múltiple.

Ejemplo 03-21.

¿Qué pasa cuando falla el sistema de seguridad de baja presión de aceite de un tractor (la presión debe mantenerse por encima de 15 Psi)?

Respuesta (ver figura 03-19):

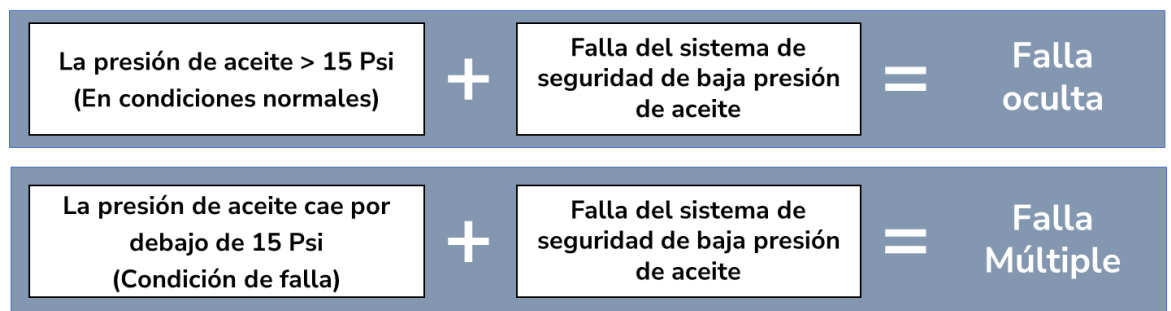


Figura 03-19. Escenarios de falla oculta y falla múltiple.

Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas como sigue:

- El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.

- El proceso de categorización de consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de falla y fallas múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o el ambiente de los que sólo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).
- La valoración de las consecuencias de falla se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.

Los modos de falla pueden afectar:

- El rendimiento
- La calidad del producto o el servicio al consumidor
- La seguridad
- El ambiente
- Incrementan los costos operacionales
- Todas las áreas anteriores
- Ninguna consecuencia > Afectan a la organización ya que su corrección consume recursos

El manejo de falla no está enfocado en anticipar o prevenir los modos de falla per se, más bien debe centrarse en evitar y reducir sus consecuencias.

Las consecuencias de cada modo de falla dependerán:

- Del contexto operacional del activo
- Los estándares de desempeño que aplican a cada función
- los efectos físicos que genera el modo de falla

En el caso de consecuencias muy serias se deben hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o anticiparlo en el tiempo con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias.

En el caso de consecuencias menores no se aplica ninguna acción proactiva y el modo de falla simplemente se corregirá cada vez que ocurra.

Las consecuencias se dividen en 4 categorías en dos fases, fallas ocultas y fallas evidentes como se muestra en la figura 03-20.



Figura 03-20. Categorías de consecuencias de falla.

▪ Consecuencias para la Seguridad

- Una falla tiene consecuencias en la seguridad si existe una probabilidad intolerable de que pueda matar o dañar a un ser humano.
- Para los modos de falla que tienen consecuencias en la seguridad o en el ambiente, una política de manejo de fallas sólo vale la pena aplicarla si reduce el riesgo del modo de falla a un nivel bajo tolerable.

El MCC estipula que debemos tratar de reducir la probabilidad del modo de falla, o sus consecuencias, o ambos, para que descienda a un nivel tolerable.

▪ Consecuencias para el Medio Ambiente

- Una falla tiene consecuencias ambientales si existe una probabilidad intolerable de que pueda violar cualquier norma corporativa, municipal, regional, nacional o ambiental internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración.

▪ Consecuencias Operacionales

- Una falla tiene consecuencias operacionales cuando afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al cliente, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación).
- Una falla trae consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, es decir:
 - Afecta al rendimiento total
 - Afecta la calidad del producto
 - Afecta el servicio al cliente

▪ **Consecuencias No Operacionales**

- Es una falla que no afecta adversamente la seguridad, el ambiente, o las operaciones, pero que sólo requiere reparación o reemplazo de cualquier componente (s) que podría ser afectado por la falla.
- No ejercen ningún efecto sobre la capacidad operacional, el ambiente, ni la seguridad.
- Están relacionadas con Costos de Producción y Costos Directos de Reparación.
- La tarea preventiva es eficaz si, a través de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas que se requieren evitar.

Evaluando las consecuencias de una falla

Para identificar las consecuencias de una falla evidente u oculta se utiliza una herramienta denominada el diagrama de decisión o algoritmo de decisión.

La Norma SA JA1012 no establece ningún diagrama de decisión específico. Sin embargo; sólo con propósitos ilustrativos, propone 2 diagramas de decisión que cumplen con los principios discutidos en la norma, ver figuras 03-21 y 03-22.

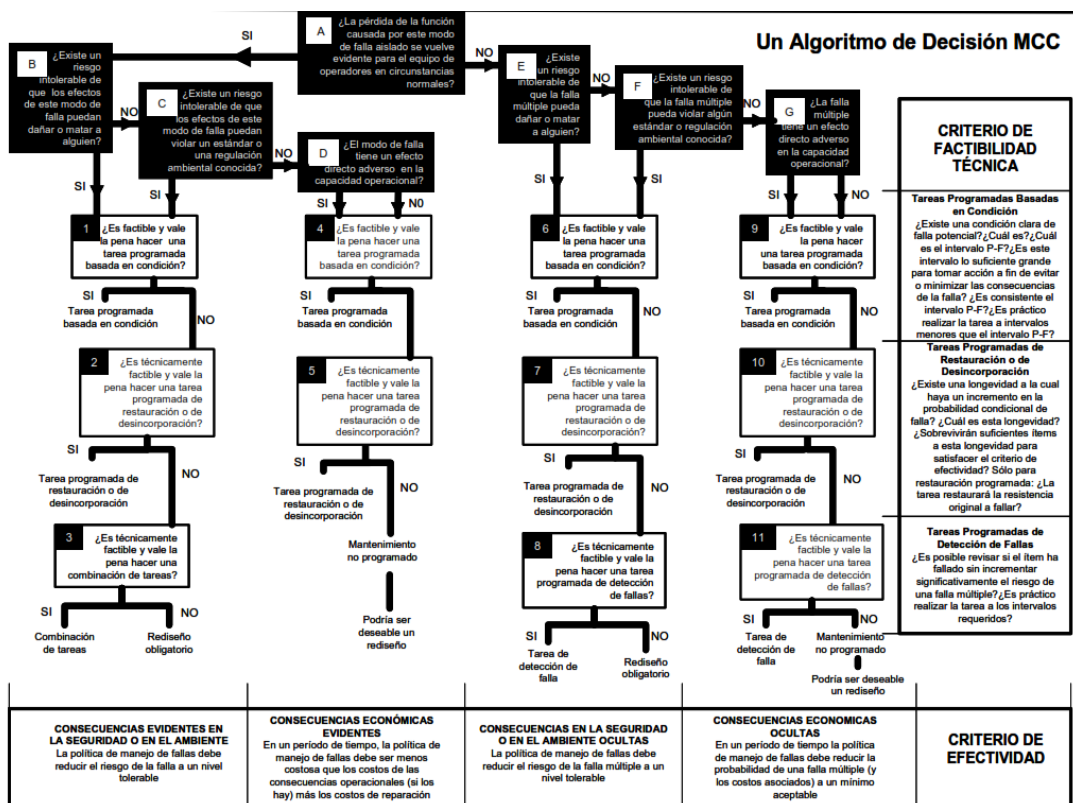


Figura 03-21. Opción 01 – Diagrama de decisión Norma SAE JA1012.

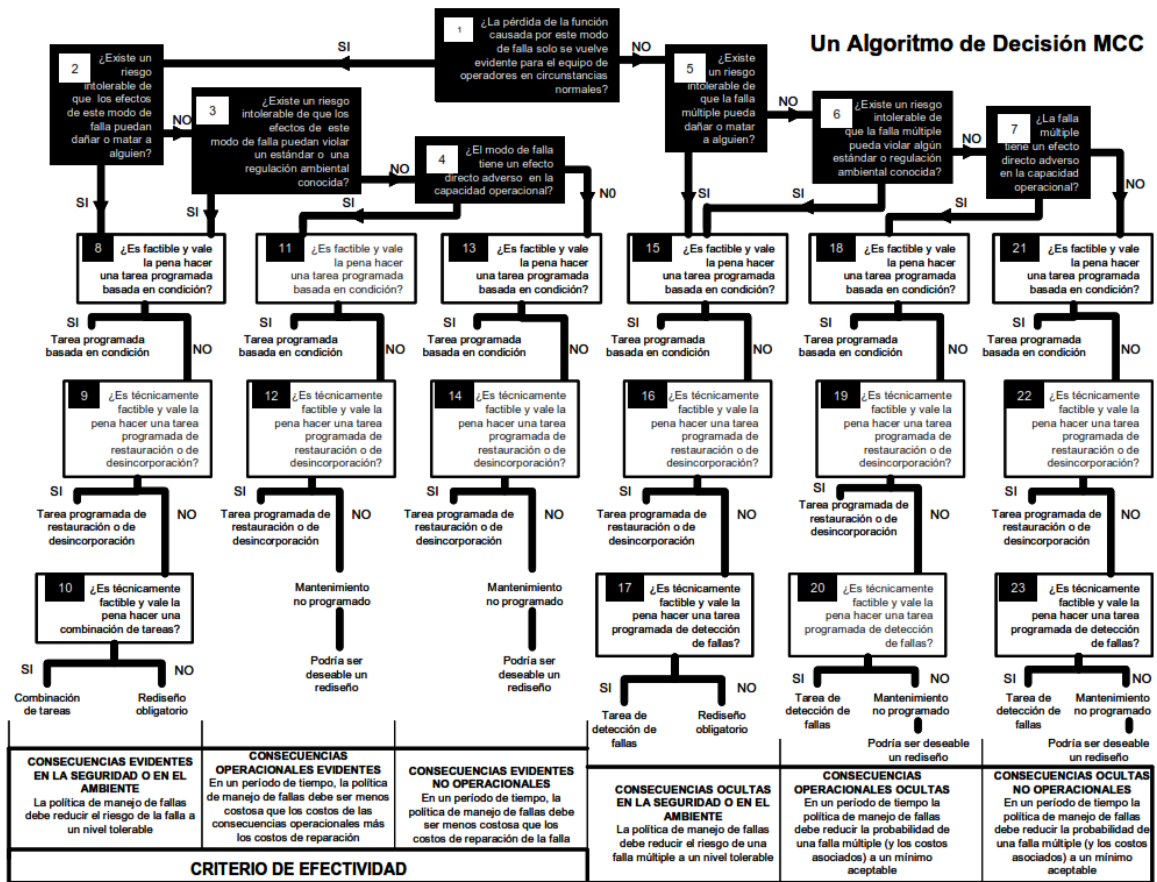


Figura 03-22. Opción 02 – Diagrama de decisión Norma SAE JA1012.

En este curso utilizaremos la opción 01 del diagrama de decisión propuesto en la Norma SAE JA1012.

El diagrama de decisión se utiliza para responder las preguntas/pasos del MCC:

5. Evaluar las consecuencias
6. Identificar las políticas de manejo de fallas
7. Asignar estrategias predeterminadas

El diagrama de decisión permite:

- Clasificar los modos de falla en evidentes u ocultos.
- Evaluar las consecuencias de fallas.
- Determinar si algún mantenimiento es técnicamente apropiado y vale la pena realizarlo: tareas basadas en condiciones, de restauración o de reemplazo o una combinación de tareas y búsqueda de fallas.

- Determinar si se recomienda una estrategia predeterminada para administrar un modo de falla.
- Presentar un proceso de sentido común para la toma de decisiones.
- Analizar cada modo de falla mencionado en la hoja de registro de información del MCC.
- Formular soluciones lógicas a las preguntas planteadas en el diagrama.

En la figura 03-23 se muestra la información a llenar sobre el tipo de falla (evidente, no evidente) y las consecuencias a partir de diagrama o algoritmo de decisión.

FE: Falla evidente

CONSECUENCIAS

S: Seguridad
A: Ambiente
O: Operacional
NO: No operacional

Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS				A		A	
										S	A	O	NO	B C D	E F G		
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla									
					2	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla									
					3	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla									
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla									
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla									

Secuencia en el diagrama para falla evidente

Secuencia en el diagrama para falla no evidente

Figura 03-23. Información por llenar en esta pregunta/paso del MCC.

El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.

Recordemos los conceptos de falla oculta y falla evidente:

- **Falla oculta:** Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.
- **Falla evidente:** Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidente para el personal de operaciones en circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.

Ejemplo 03-22.

Aplicar el diagrama de decisión para identificar las consecuencias de fallas del siguiente modo de falla: Fuga en el filtro de aceite debido a perforación con un objeto.

Análisis:

Considerando que la falla es evidente, no ocasiona daños ni a seguridad ni al ambiente, pero si ocasionan perdidas operacionales, entonces la ruta establecida en el diagrama de decisión seria como se muestra en la siguiente figura.

Respuesta (ver figura 03-24 y tabla 03-26):

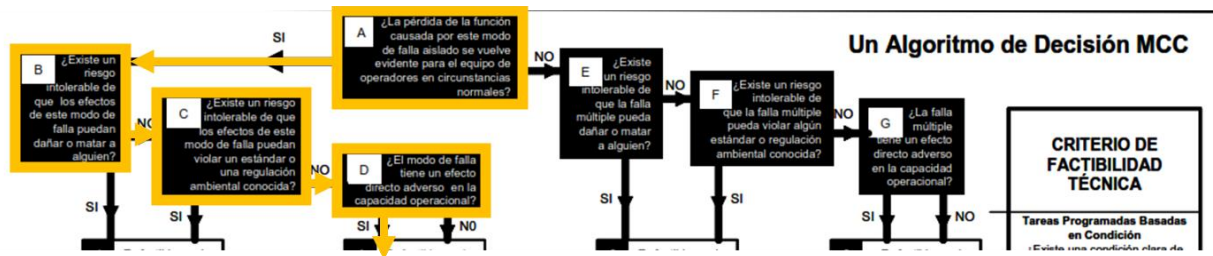


Figura 03-24. Ruta de selección dentro del diagrama de decisión.

Tabla 03-26. Llenado de información en el formato del MCC.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC															
ACTIVO:		Sistema													
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS					
										S	A	O	NO	A B C D	A E F G
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla	SI	NO	NO	SI		X	
					2	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					3	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							

Ejemplo 03-23.

Aplicar el diagrama de decisión para la identificación de las consecuencias de fallas del siguiente caso.

Modo de falla: Obstrucción del filtro primario de un tractor.

Efecto de falla (resumen): Eventualmente, se restringe el flujo de combustible al motor. El motor funciona con dificultad y el motor se apaga debido a la falta de combustible sin impacto operacional.

Análisis:

- ¿la pérdida de función causada por este único Modo de Falla se volvería evidente para el Equipo Operador en condiciones normales?
- Sí, Por lo tanto, el modo de falla se clasifica como evidente.

Respuesta (ver figura 03-25 y tabla 03-27):

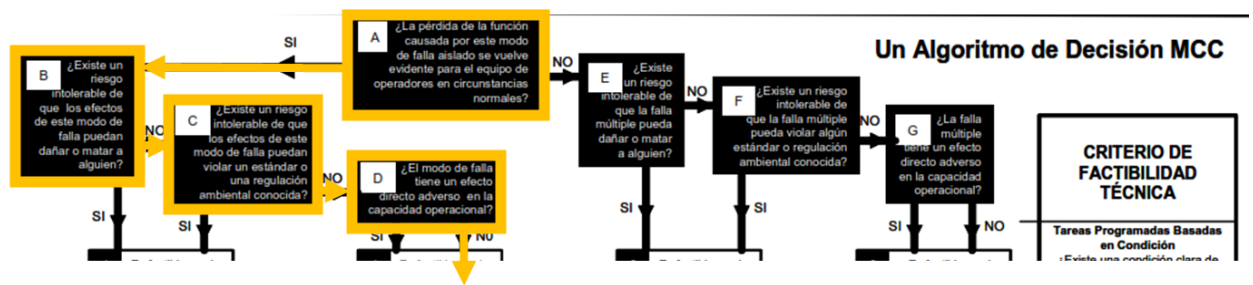


Figura 03-25. Ruta de selección dentro del diagrama de decisión.

Tabla 03-27. Llenado de información en el formato del MCC.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																
ACTIVO:		Sistema														
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS						
										S	A	O	NO	A B C D	A E F G	
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla	SI	NO	NO	NO	SI	X		
					2	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla								
					3	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla								
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla								
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla								

Ejemplo 03-24.

Aplicar el diagrama de decisión para la identificación de las consecuencias de fallas del siguiente modo de falla y su efecto.

Modo de falla: La válvula de seguridad de presión del sistema hidráulico de un equipo falla al cerrarse.

Efecto de falla (resumen): La válvula no puede aliviar la presión en caso de que la presión exceda las 4,000 psi. En el caso de que la presión exceda los 4000 psi y la válvula de seguridad de presión no se cierre, los componentes hidráulicos se rompen. El personal en el área circundante puede resultar quemado por el fluido hidráulico caliente y los escombros sueltos de la ruptura.

Análisis:

- ¿la pérdida de función causada por este único Modo de Falla se volvería evidente para el Equipo Operador en condiciones normales?
- No, Por lo tanto, el modo de falla se clasifica no evidente.

Respuesta (ver figura 03-26 y tabla 03-28):

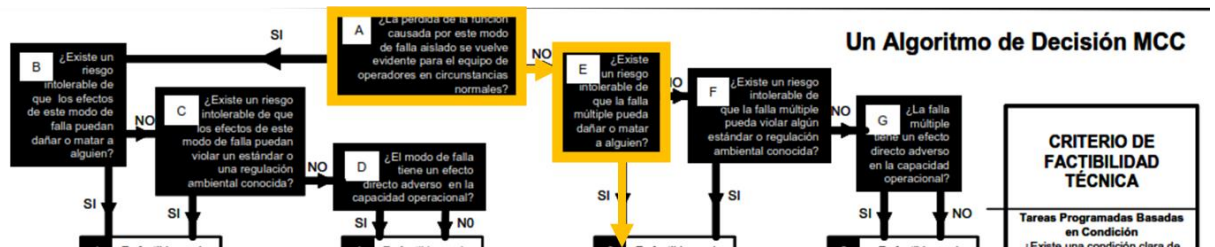


Figura 03-26. Ruta de selección dentro del diagrama de decisión.

Tabla 03-28. Llenado de información en el formato del MCC.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC															
ACTIVO:		Sistema													
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS					
										S	A	O	NO	A B C D	A E F G
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla	NO	SI					X
					2	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					3	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla							

Ejemplo 03-25a.

Identificar si la falla es o no evidente y las consecuencias para los modos de falla del sistema de bombeo PJ-300.

Resultados (ver tabla 03-29):

Tabla 03-29. Consecuencias de los modos de falla del motor eléctrico del sistema PJ-300.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																									
Sistema de bombeo P-J-300																									
ACTIVO:	Sistema de bombeo P-J-300																								
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS															
										S	A	O	NO	SI	A	B	C	D	E	F	G				
Motor eléctrico	1	Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125-HP a una velocidad constante de 1773 RPM.	A	No suministra potencia (No gira)	1	Falla del interruptor principal	Desconexión	Se detiene el motor y el proceso de bombeo de dicloreano, disminuyendo la presión en el calentador. El sistema automático de respaldo arranca nuevamente el motor. Se efectúa revisión del alimentador del circuito. TER: 15 min (0.5 h-h/ eléctrico). Impacto operacional: NO HAY	SI	NO	NO	NO	NO	SI											
					2	Mando de control no funciona	Rotura de cable de alimentación	El conjunto motor-bomba no arranca. No se puede incrementar la presión en el calentador. Se efectúa revisión del juego de contactos de la botonera, si es necesario se repara la botonera. Tiempo estimado reparación: 2 horas (4 h-h/ eléctrico). Impacto operacional: NO HAY	SI	NO	NO	NO	NO	SI											
					3	Motor atascado	Falla del aislamiento interno	Se produce recalentamiento interno del motor, se detiene el motor y hasta se puede quemar. Se detiene el proceso de bombeo de dicloreano, disminuyendo la presión en el calentador. Desmontar el motor y revisarlo. Si el motor presenta daños internos graves debe enviarse a talleres. Tiempo estimado de reparación: 3 días (24 h-h/ talleres). Impacto operacional: SI HAY	SI	NO	NO	NO	NO	SI											
					4	Falla en rodamientos	Desgaste interno	Se produce recalentamiento del motor con posible daño por quemado. Se detiene el proceso de bombeo de dicloreano, disminuyendo la presión en el calentador. Se efectúa medición de la resistencia del aislamiento y resistencia óhmica. Se revisan los rodamientos y se envía el motor a talleres para reemplazarlos, si el motor está quemado se envía a talleres para su reparación general. Ter: 3 días (24 h-h/ talleres). Impacto operacional: SI HAY.	SI	NO	NO	NO	NO	SI											
									1	Rotura del cable a tierra	Corte por fatiga	El proceso de bombeo de dicloreano continuo pero existe un alto riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa empalme de los cables y limpieza de zapatas terminales. Ter: 2 horas (4 h-h/ eléctrico). Impacto operacional: NO HAY	SI	SI											
	2	Disponer de un aterramiento seguro	B	Pérdida total del aterramiento eléctrico	2	Daño en zapata terminal	Corrosión por sulfatación	El proceso de bombeo de dicloreano continuo pero existe un riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa empalme de los cables y limpieza de zapatas terminales. Ter: 2 horas (4 h-h/ eléctrico). Impacto operacional: NO HAY	SI	SI															
									3	Daño de conector cable de tierra	Desgaste	El proceso de bombeo de dicloreano continuo pero existe un alto riesgo de aterramiento de personal que pueda entrar en contacto con el conjunto motor-bomba. Se efectúa el reemplazo de conector del cable y limpieza de zapatas terminales. Ter: 1.5 horas (3 h-h/ eléctrico). Impacto operacional: NO HAY	SI	SI											

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)
03	Modos de falla
04	Efectos de falla
05	Consecuencia de fallas

3.9 Pregunta/Paso 06 – Selección de políticas de manejo de fallas

El proceso de selección políticas de manejo de fallas debe considerar la relación entre longevidad y falla.

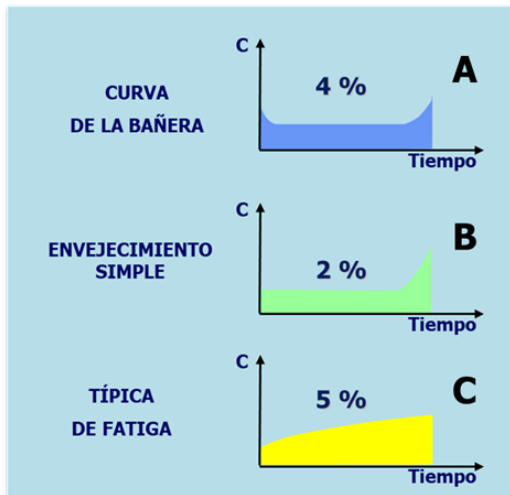
El proceso de selección de manejo de fallas debe tomar en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de falla se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo), que la probabilidad condicional de otros no cambiará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otros tampoco decrecerá con el tiempo.

Probabilidad condicional de falla: La probabilidad de que una falla ocurra en un período específico, dado que el elemento involucrado ha sobrevivido al comienzo de ese período.

Existen seis patrones en los cuales la probabilidad condicional de falla varía a medida que un elemento acumula horas de operación como se muestran en la figura 03-27.

11 % RELACIONADAS CON LA EDAD

Estos patrones exhiben un fenómeno de falla relacionado con la edad



89% NO RELACIONADAS CON LA EDAD (ALEATORIAS)

Estos patrones de falla exhiben aleatoriedad

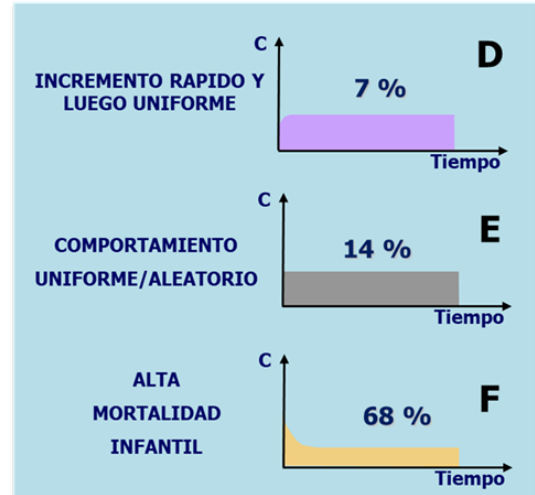


Figura 03-27. Los patrones de falla.

Se pueden utilizar dos aproximaciones distintas para seleccionar las políticas de manejo de fallas:

- Aproximación rigurosa
- Aproximación con el diagrama de decisión

La aproximación rigurosa es más completa y produce una política de manejo de fallas totalmente costo-optimizada para tratar con cada modo de falla en el AMEF.

La aproximación con el diagrama de decisión es más rápida y económica que la aproximación rigurosa. Sin embargo; cualquier enfoque de diagrama de decisión debe estar orientado principalmente sobre las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada modo de falla.

En este curso utilizaremos la aproximación con el diagrama de decisión.

La selección de las políticas de fallas debe cumplir con 2 criterios básicos:

- La selección de las políticas de manejo de fallas debe ser llevada a cabo como si ninguna tarea específica estuviese siendo realizada actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.”
- Asumir que ningún mantenimiento proactivo se está realizando.

En este paso vamos a revisar los conceptos de las categorías de mantenimiento antes de fallar según la Norma ISO 14224 (ver figura 03-28), los cuales serán de utilidad en este paso.

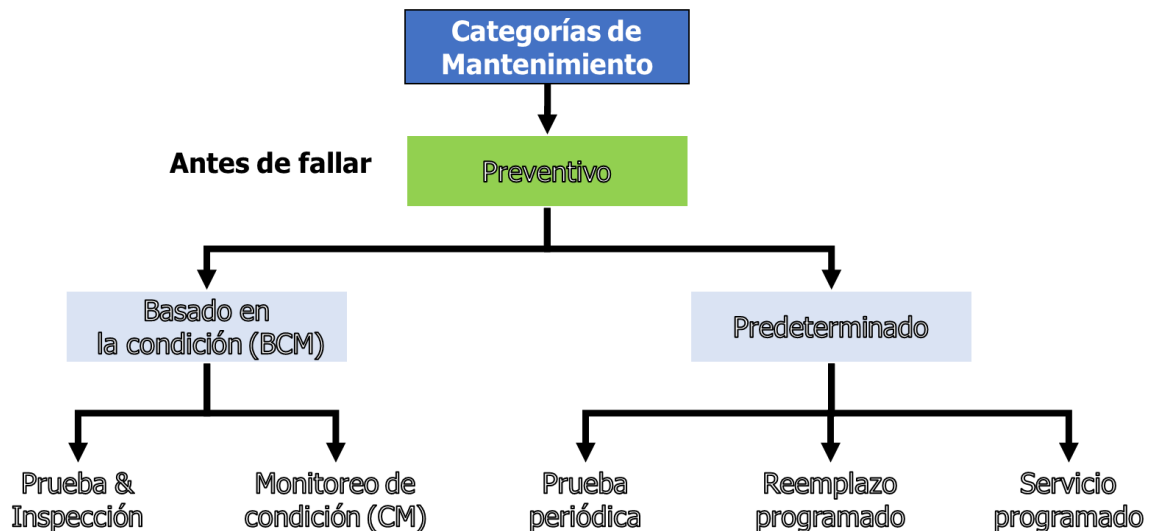


Figura 03-28. Categorías de mantenimiento antes de fallar.

En las tablas 03-30 y 03-31 se describen las categorías de mantenimiento según la Normas ISO 14224.

Tabla 03-30. Categorías de mantenimiento – Basado en la condición.

Basado en la condición (CBM)		
Consiste en la evaluación de las condiciones físicas de un equipo, que se puede realizar mediante la observación del operador, conducida de acuerdo a un programa o mediante el monitoreo de condiciones de parámetros del sistema. Es muy importante en los equipos rotativos.	Prueba & Inspección	Pueden ser simplemente los chequeos (inspecciones, pruebas) para verificar la condición y el rendimiento del equipo con el fin de decidir si se requiere un mantenimiento preventivo.
	Monitoreo de condición (CM)	Se realiza por medio de equipos y/o algoritmos específicos para monitorear la condición del equipo con respecto a modos de falla predefinidos.

Tabla 03-31. Categorías de mantenimiento – Mantenimiento predeterminado.

Mantenimiento predeterminado		
Es cíclico, independiente de la condición, tradicionalmente llamado mantenimiento preventivo planificado.	Prueba periódica	Operación planificada realizada a intervalos de tiempo constante con el fin de detectar fallas ocultas potenciales que puedan haber ocurrido en un periodo determinado. Generalmente relacionadas con sistema de seguridad.
	Reemplazo programado	La sustitución de un componente o pieza por deterioro o desgaste con base en variable de medición.
	Servicio programado	Son actividades realizadas para prolongar la vida útil de los equipos.

La selección de estrategias de mantenimiento está ligada a la utilización de la lógica de decisión establecida en la norma SAE JA1012 en la cual se considera las implicaciones de las consecuencias de fallas y la posibilidad de asociar alguna estrategia de mantenimiento que permitan establecer una serie de tareas técnicamente factibles y que efectivamente mitigue los riesgos asociados al ítem en su contexto operacional específico.

En este paso debemos utilizar los diagramas de decisión, que se aplican bajo la siguiente secuencia:

- Determinación de las categorías de consecuencias asociada al modo de falla en análisis.
- Evaluación de la factibilidad técnica de las posibles políticas de manejo de falla en cada categoría.
- Selección de la política de manejo de falla que satisfaga el criterio de factibilidad técnica y que ataque de manera efectiva las consecuencias asociadas al modo de falla considerado.

Los fundamentos técnicos para la selección de las tareas de mantenimiento se muestran en la figura 03-29.

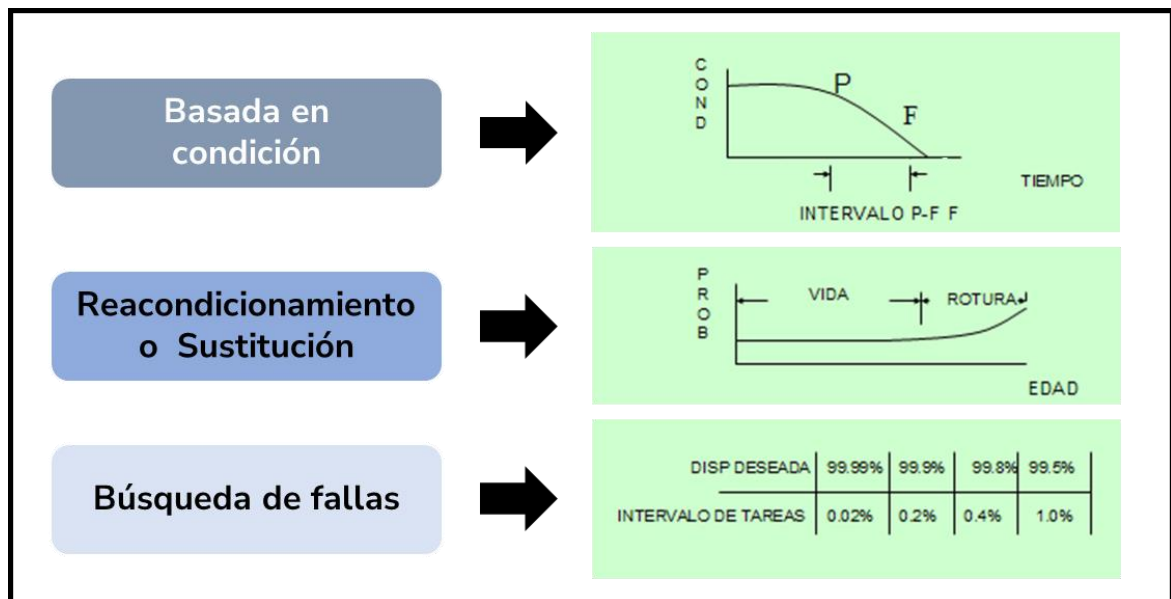


Figura 03-29. Fundamentos técnicos para selección de tareas de mantenimiento.

En la figura 03-30 se muestra la relación entre consecuencias y las tareas de mantenimiento.

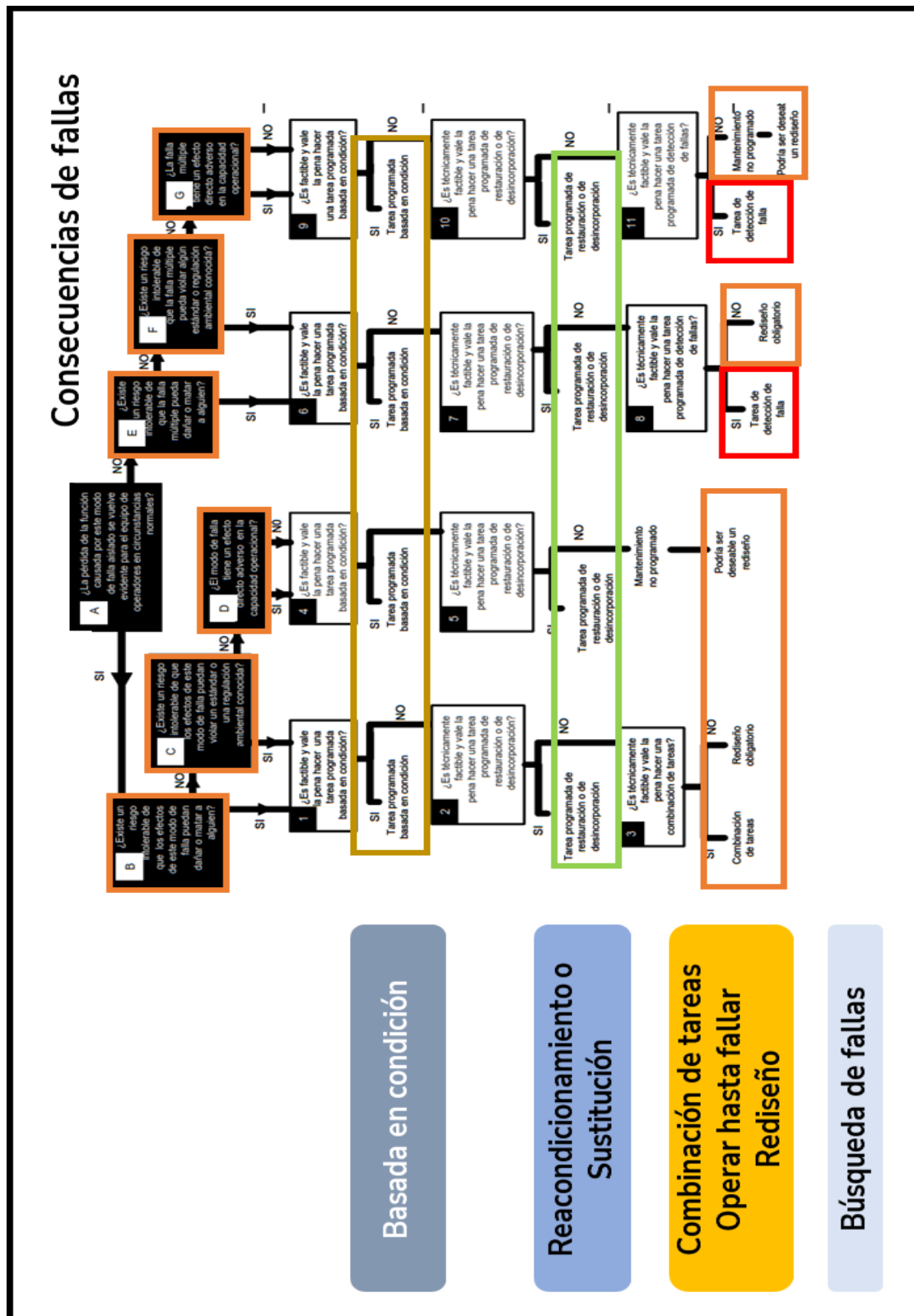


Figura 03-30. Relación entre consecuencias y tareas de mantenimiento.

En la figura 03-31 se muestran los campos de la hoja de registro de información del MCC donde se colocará la información sobre las políticas de manejo de fallas.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																										
ACTIVO:		Sistema																								
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS					POLITICA MANTTO				DESCRIPCION TAREA							
										S	A	O	NO	A B C D	A E F G	BC	P	DF	OT	TAREA	FRECUENCIA PROPUESTA	EJECUTOR				
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla																		
					2	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla																		
					3	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla																		
					4	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla																		
					5	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla																		

FE: Falta evidente

S: Seguridad
A: Ambiente
O: Operacional
NO: No operacional

BC: Basada en condición
P: Programada
DF: Detección de fallas
OT: Otra tarea
(0 perar hasta fallar, Rediseño, Combinación de tareas)

Figura 03-31. Llenado de información sobre las políticas de manejo de fallas.

a. Tarea basada en condición

Las preguntas incluidas en el diagrama de decisión dentro de los bloques de tarea basada en condición se deben responder para determinar si una tarea de condición es técnicamente apropiada y vale la pena realizarla.

Para determinar si una tarea en condiciones es técnicamente adecuada, se deben evaluar las posibles condiciones de falla.

- Los intervalos para estas tareas no se basan en el MTBF o en la gravedad de la falla, pero si deben estar basados en el intervalo P-F.
- Una regla general es realizar la tarea en condición a la mitad del intervalo P-F (esto es solo una guía).
- Siempre que los intervalos de tareas en condiciones se realicen a intervalos menores que el intervalo PF y el intervalo PF neto, el tiempo mínimo restante antes de que ocurra la falla, deja suficiente tiempo para manejar las consecuencias de la falla, entonces el intervalo de la tarea de condición es aceptable.

En la figura 03-32 se muestra en el diagrama de decisiones donde aparece la pregunta sobre una tarea basada en condición.

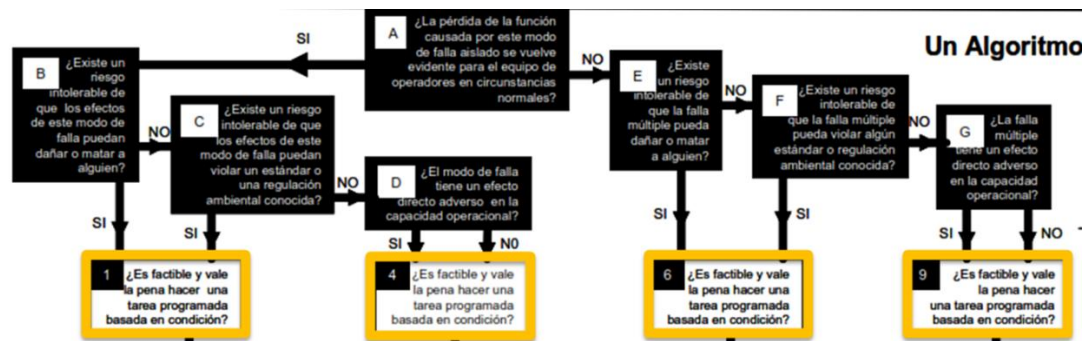


Figura 03-32. Diagrama de decisión, pregunta sobre una tarea basada en condición.

Para que una tarea basada en condición se puede implementar se deben responder afirmativamente los siguientes criterios de factibilidad técnica:

- ¿Existe una condición clara de falla potencial?
- ¿Cuál es?
- ¿Cuál es el intervalo P-F?
- ¿Es este intervalo lo suficiente grande para tomar acción a fin de evitar o minimizar las consecuencias de la falla?
- ¿Es consistente el intervalo P-F?
- ¿Es práctico realizar la tarea a intervalos menores que el intervalo P-F?

Ejemplo 03-25b.

Modo de falla: Desgaste de la banda trapezoidal debido al uso normal.

Análisis:

- Antes de que la correa trapezoidal se rompa, desarrolla evidencia visual de una falla inminente.
- La condición de falla potencial de la correa trapezoidal es evidencia de desgaste (por ejemplo, grietas y deshilachados).
- Suponemos que la correa fue inspeccionada justo de que se inicie un desgaste (punto P).

Durante el tiempo entre la 1era inspección y la próxima inspección (cada 3 meses), se desarrollará evidencia de desgaste que se hará visible cuando sea inspeccionada, ver figura 03-33.

Eso significa que quedan un mínimo de tres meses antes de que se rompa la banda. Es decir, el intervalo P-F neto es de 3 meses.

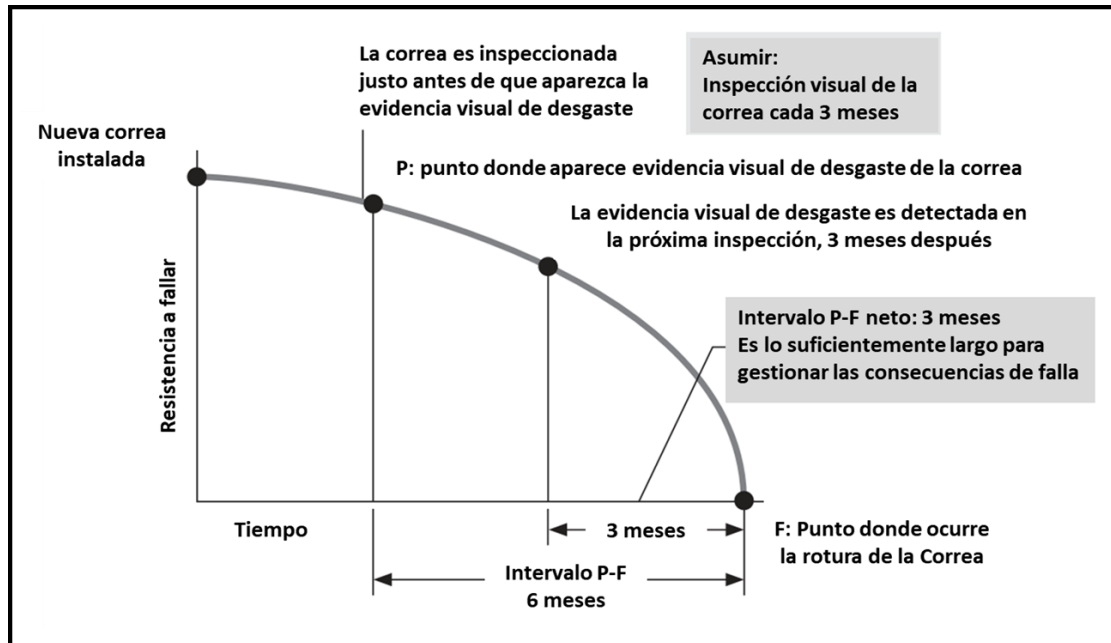


Figura 03-33. Diagrama P-F.

Escenario 01: Suponga que el activo con la correa trapezoidal se apaga solo cada 6 meses.

En la tabla 03-32 se muestran las respuestas para este escenario.

Tabla 03-32. Resultados del escenario 01.

Pregunta	Respuesta
¿Existe una condición clara de falla potencial?	Si
¿Cuál es?	grietas y/o deshilachados
¿Cuál es el intervalo P-F?	6 meses
¿Es este intervalo lo suficiente grande para tomar acción a fin de evitar o minimizar las consecuencias de la falla?	No
¿Es consistente el intervalo P-F?	No aplica
¿Es práctico realizar la tarea a intervalos menores que el intervalo P-F?	No

En este caso tenemos varias preguntas con respuestas negativas, lo que implica que bajo este escenario no podemos realizar este tipo de tarea y debemos continuar verificando si aplican otras tareas.

Escenario 02: suponga que el activo con la correa trapezoidal se apaga cada 3 meses.

En la tabla 03-33 se muestran las respuestas para este escenario.

Tabla 03-33. Resultados del escenario 02.

Pregunta	Respuesta
¿Existe una condición clara de falla potencial?	Si
¿Cuál es?	grietas y/o deshilachados
¿Cuál es el intervalo P-F?	6 meses
¿Es este intervalo lo suficiente grande para tomar acción a fin de evitar o minimizar las consecuencias de la falla?	Si
¿Es consistente el intervalo P-F?	Si
¿Es práctico realizar la tarea a intervalos menores que el intervalo P-F?	Si

Ejemplo 03-26.

Se presenta desgaste en las pastillas de freno delanteras de un tractor de remolque debido al uso normal.

Consideraciones:

- El equipo de trabajo identificó que el modo de falla es evidente y que tiene consecuencias para la seguridad cuando sucede.
- Según la evidencia que maneja el equipo de trabajo se identificó como falla que los tambores de freno se dañan por el desgaste total de las balatas al termino de 1 año.

En la tabla 03-34 se muestran las respuestas para este ejemplo.

Tabla 03-34. Respuestas del ejemplo.

Pregunta	Respuesta
¿Existe una condición clara de falla potencial?	Si
¿Cuál es?	Desgaste total de las pastillas
¿Cuál es el intervalo P-F?	1 año
¿Es este intervalo lo suficiente grande para tomar acción a fin de evitar o minimizar las consecuencias de la falla?	Si
¿Es consistente el intervalo P-F?	Si
¿Es práctico realizar la tarea a intervalos menores que el intervalo P-F?	Si

En la figura 03-34 se muestra la ruta en el diagrama de decisiones para seleccionar la tarea basada en condición.

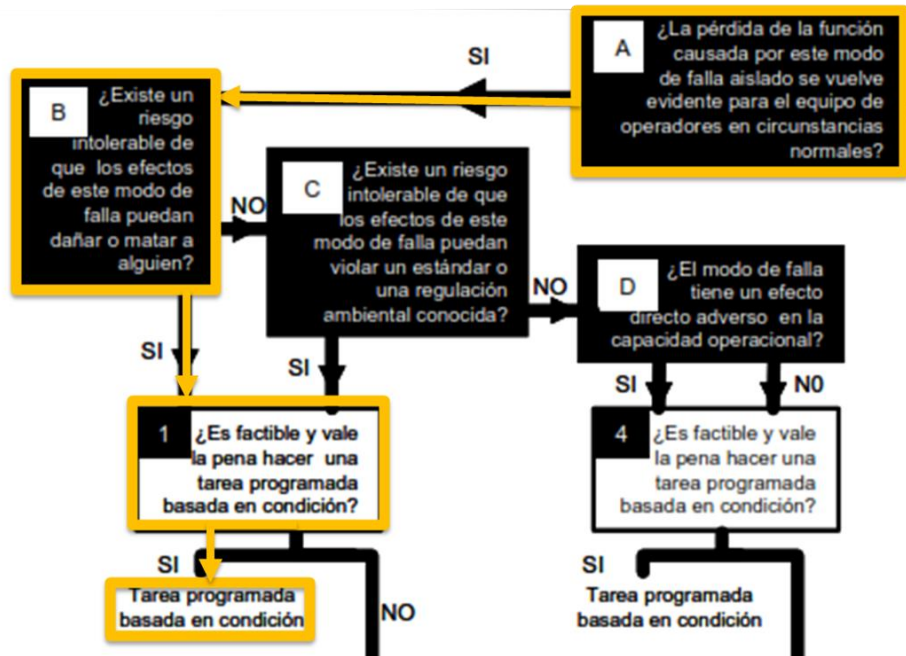


Figura 03-34. Selección de la tarea basada en condición en el diagrama de decisión

En la tabla 03-35 se muestra la propuesta de tarea basada en condición y en la figura 03-35 se muestra donde se registra la información en la hoja de información del MCC.

Tabla 03-35. Propuesta de la tarea basada en condición.

Tarea	Frec. Propuesta	Condición del Equipo	Ejecutor	Tiempo de ejecución	Equipo /Herramientas
Efectuar la revisión visual y medición del espesor de las pastillas/balatas de frenos	4 meses	Fuera de servicio	Técnico Mecánico	30 min	Calibrador Micrómetro

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																											
ACTIVO:		Sistema																									
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de falla	FE	CONSECUENCIAS				POLITICA MANTTO				DESCRIPCION TAREA									
										S	A	O	NO	A	A	BC	P	DF	OT	TAREA	FRECUENCIA PROPUESTA	EJECUTOR					
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla	SI	SI				X	X												

Figura 03-35. Registro de tarea basada en condición en la hoja de información del MCC.

b. Tarea programada de restauración o de desincorporación

- La vida útil no es la mismo que el tiempo medio entre fallas (MTBF).
- MTBF por definición es un promedio. Es decir, algunas fallas ocurrirán antes del MTBF establecido y algunas ocurrirán después.
- Si se utiliza MTBF para determinar los intervalos para las tareas de restauración y reemplazo, se evitarán algunas fallas y otras se producirán antes de que se realice la tarea.

La restauración programada, consiste en tomar acciones periódicas para restaurar la capacidad de un elemento a (o antes de) un intervalo especificado (límite de longevidad), indiferentemente de su condición en el momento de su intervención, a un nivel que provea una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final o hasta otro intervalo especificado por el usuario.

Criterios para una tarea de restauración programada:

- Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.
- Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
- La tarea debe restaurar la resistencia a fallar (condición) del componente a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

La desincorporación programada, consiste en desincorporar un elemento o componente a (o antes de) un límite de longevidad especificado, indiferentemente de su condición en el momento de su intervención.

Esto se hace en el supuesto de que al reemplazar un viejo componente con uno nuevo se restaurará la resistencia original a fallar.

Criterios a considerar para aplicar una tarea programada:

- En el caso de que un modo de falla evidente tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

- En el caso de un modo de **falla oculta** en el que la falla múltiple asociada tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla oculta a una magnitud que disminuya la probabilidad de la falla múltiple asociada a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- En el caso de un modo de **falla evidente** que no tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, los costos directos o indirectos de la tarea deben ser menores que los costos directos o indirectos del modo de falla cuando se calculan en períodos de tiempo comparables.
- En el caso de un modo de **falla oculta** en el que la falla múltiple asociada no tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, los costos directos o indirectos de la tarea deben ser menores que los costos directos o indirectos de una falla múltiple más el costo de reparación del modo de falla oculta cuando se calculen en períodos de tiempo comparables.

Criterios adicionales para una tarea de desincorporación programada:

- **Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad en la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.**
- **Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.**

En la tabla 03-36 se muestran un resumen de los criterios para las tareas de desincorporación y restauración.

Tabla 03-36. Criterios Desincorporación/Restauración

CRITERIOS DE DESINCORPORACION	CRITERIOS DE RESTAURACION
Debe ser claramente definido (preferiblemente demostrable) la edad en la cual, hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla bajo consideración.	Debería ser claramente definido (preferiblemente demostrable) la edad en la cual, hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla bajo consideración.
Un aumento en la ocurrencia de este modo de falla deberá ocurrir después de esta edad, por lo que un reemplazo de este componente podrá reducir la probabilidad de falla prematura a un nivel tolerable para la organización.	Un aumento en la ocurrencia de este modo de falla deberá ocurrir después de esta edad, por lo que la restauración de este componente podrá reducir la probabilidad de falla prematura a un nivel tolerable para la organización. La tarea deberá restaurar la confiabilidad de un componente a un nivel que sea tolerable para la organización.

En la figura 03-36 se muestran los patrones de falla asociados con la longevidad de equipos.

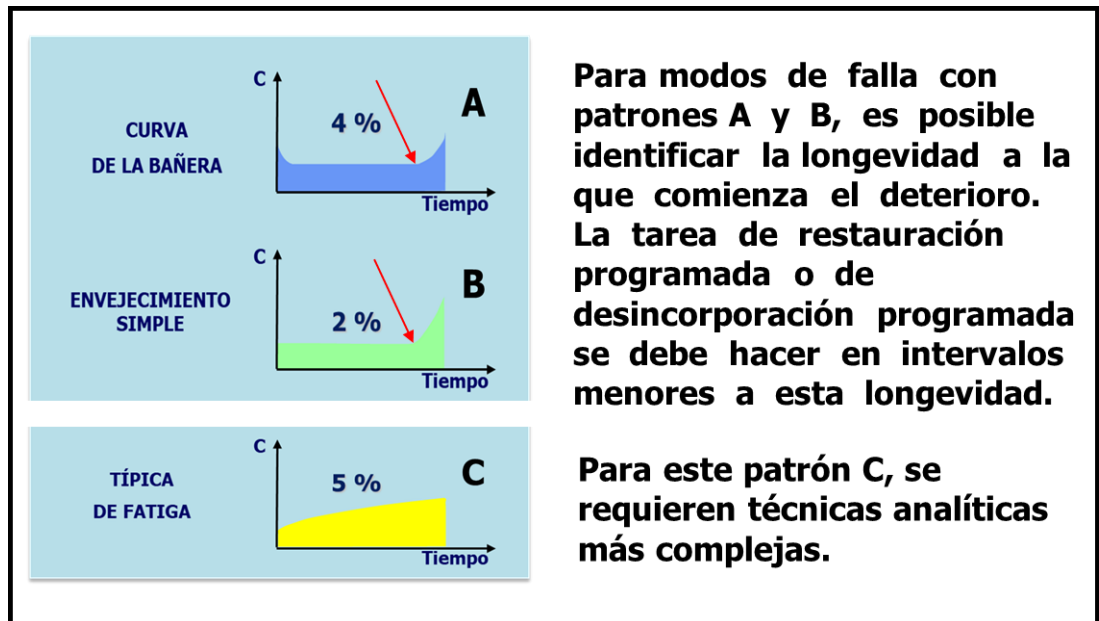


Figura 03-36. Patrones de falla y la longevidad.

Para las tareas de restauración o de desincorporación es importante considerar el límite de vida-segura y límite de vida-económica que se describen a continuación:

LIMITE DE VIDA-SEGURA: Aplican a modos de falla que tienen consecuencias en la seguridad o en el ambiente, así las tareas asociadas deben reducir a un nivel tolerable la probabilidad de que ocurra un modo de falla antes del límite de vida, ver figura 03-37.

Idealmente, los límites de vida-segura se deben determinar antes de que un elemento nuevo entre en servicio. Se deben establecer probando estadísticamente una muestra adecuada de elementos en un ambiente de operación simulado para determinar qué vida realmente se logra. Algunas industrias aplican una fracción conservadora de esta vida (típicamente un tercio o un cuarto) como límite de vida-segura.

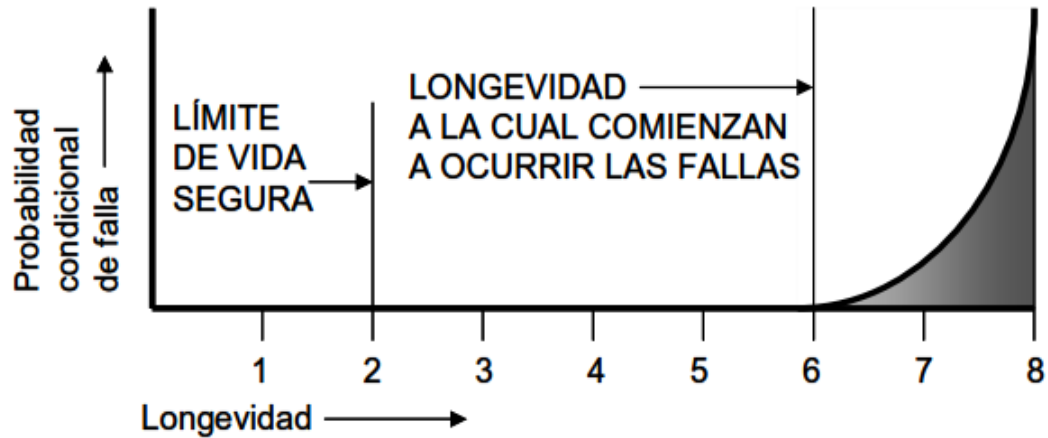


Figura 03-37. Límite de vida- segura.

LÍMITE DE VIDA-ECONÓMICA: La experiencia en operaciones algunas veces sugiere que la restauración programada o la desincorporación programada es deseable en términos económicos (Esto se conoce como un límite de vida-económica).

Está basado en la relación longevidad-confiabilidad actual del elemento, en lugar de una fracción de la longevidad a la cual existe un incremento en la probabilidad condicional de falla.

Una cantidad suficientemente mayor de elementos deben sobrevivir al límite de vida-económica para que la tarea sea justificable en términos económicos.

En la figura 03-38 se muestra en el diagrama de decisión donde aparecen las preguntas sobre las tareas de restauración o de desincorporación y en las tablas 03-37 y 03-38 los criterios para que se puede ejecutar una de estas tareas según las normas SAE JA1011&JA1012 y otros autores expertos en MCC.



Figura 03-38. Pregunta sobre tareas de restauración o desincorporación.

Tabla 03-37. Criterios según las normas SAE JA1011 & JA1012.

CRITERIOS DE FACTIBILIDAD TECNICA (NORMAS SAE JA1011&JA1012)
Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación
<ul style="list-style-type: none">▪ ¿Existe una longevidad a la cual haya un incremento en la probabilidad condicional de falla?▪ ¿Cuál es esta longevidad?▪ ¿Sobrevivirán suficientes ítems a esta longevidad para satisfacer el criterio de efectividad de costo?▪ Solo para restauración programada: ¿La tarea restaurará la resistencia original a fallar?

Tabla 03-38. Criterios de otros autores de MCC.

CRITERIOS DE OTROS AUTORES DE MCC
Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación
<ul style="list-style-type: none">▪ ¿Existe una edad de desgaste identificable?▪ ¿La probabilidad de falla aumenta significativamente después de cierta edad de operación?▪ ¿Cuál es esta edad?▪ ¿Sobrevivirán suficientes ítems a esta longevidad para satisfacer el criterio de efectividad de costo?▪ Solo para restauración programada: ¿La tarea restaurará la resistencia original a fallar?

Es importante considerar una diferencia clave cuando los modos de falla tienen consecuencias para el ambiente o la seguridad vs. Los operacionales o no operacionales, como se muestra en la figura 03-39.

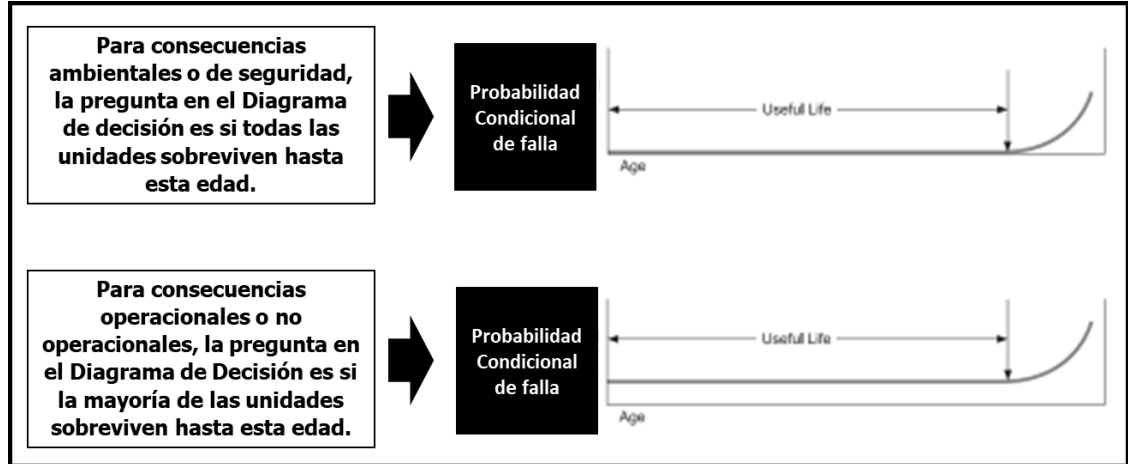


Figura 03-39. Probabilidad de falla según consecuencias.

También es necesario realizar las siguientes preguntas para definir adecuadamente la ejecución de las tareas de desincorporación y restauración:

- ¿Para consecuencias ambientales o de seguridad vale la pena realizar una tarea?

Respuesta: La forma de medir si vale la pena realizar una tarea es evaluando el riesgo. Es decir, la tarea tiene que reducir el riesgo de falla a un nivel aceptable, Riesgo vs. Costo.

- ¿Para consecuencias operacionales o no operacionales vale la pena realizar una tarea?

Respuesta: Se determina evaluando el costo. Para las consecuencias operativas, si cuesta menos hacer la tarea en comparación con lo que costaría soportar las consecuencias operativas más los costos de reparación, entonces la tarea es rentable.

Ejemplo 03-27.

Se presente el siguiente modo de falla: La correa de distribución de un vehículo se desgasta debido al uso normal.

Análisis:

Se identificó que el modo de falla es evidente y tiene consecuencias operativas porque la falla de la correa de distribución causaría un daño grave al motor.

El fabricante recomienda su reemplazo a las 120,000 kms. Esto implica que se pudiera realizar una actividad programada de reemplazo/desincorporación, pero antes es necesario responder las preguntas mostradas en la tabla 03-39.

Tabla 03-39. Preguntas y respuestas del ejemplo.

PREGUNTA	RESPUESTA
¿Existe una longevidad (edad de desgaste) a la cual haya un incremento en la probabilidad condicional de falla?	Si
¿Cuál es esta longevidad?	120,000 kms
¿Sobrevivirán suficientes ítems a esta longevidad para satisfacer el criterio de efectividad de costo?	Si
¿La tarea restaurará la resistencia original a fallar?	NO APLICA ES DESINCORPORACION

Se determinó que el costo de reemplazar proactivamente la correa de distribución es menor al costo de reparar el daño que puede producir al motor del vehículo.

En la tabla 03-40 se muestra la propuesta de tarea basada en condición y en la figura 03-40 se muestra donde se registra la información en la hoja de información del MCC.

Tabla 03-40. Propuesta de tarea programada de reemplazo.

Actividad	Frecuencia	Condición Equipo	Tiempo de ejecución	Responsable	Equipo /Herramientas
Efectuar el reemplazo de la correa de la distribución	120,000 kms	Fuera de servicio Taller	6 horas	Técnicos Mecánicos	Polipasto Caja de herramientas

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																										
ACTIVO:		Sistema																								
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Falla Funcional	COD	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Efectos de Falla	FE	CONSECUENCIAS					POLITICA MANTTO				DESCRIPCION TAREA							
										S	A	O	NO	A B C D	A E F G	BC	P	DF	OT	TAREA	FRECUENCIA PROPUESTA	EJECUTOR				
Equipo	1	Función principal	A	Falla funcional	1	Modo de falla	Mecanismo	Efecto de falla	SI	NO	NO	SI		X												

Actividad	Frecuencia	Condición Equipo	Tiempo de ejecución	Responsable	Equipo /Herramientas
Efectuar el reemplazo de la correo de la distribución	120,000 kms	Fuera de servicio Taller	6 horas	Técnicos Mecánicos	Polipasto Caja de herramientas

Figura 03-40. Registro de tarea programada de reemplazo en la hoja de información del MCC.

c. Tarea búsqueda de fallas

En el caso de falla ocultas, se puede reducir el riesgo de una falla múltiple realizando cualquiera de los siguientes cambios de especificaciones:

- Hacer la falla oculta evidente adicionando otro dispositivo: Ciertas fallas ocultas se pueden hacer evidentes por adición de otro dispositivo (tales como Equipo de Prueba Incorporado).
- Sustituir el dispositivo protector existente por un dispositivo más confiable en otras palabras, uno que tenga un tiempo promedio entre fallas más alto.
- Duplicar la función oculta.
- Reducir la tasa de demanda de la función protegida.
- Facilitar el acceso al dispositivo o sistema protector.

Las tareas de detección de fallas son el último tipo de tarea que se considera para los modos de falla ocultos, en el contexto del MCC, una tarea de detección de fallas se considera una estrategia predeterminada porque no es una tarea proactiva.

Las tareas de detección de fallas buscan encontrar una falla que ya ha ocurrido un dispositivo de protección.

El propósito de una tarea de detección de fallas es reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptable.

En el marco del MCC, para poder asignar una tarea de búsqueda de fallas, debe ser posible verificar el sistema en busca de fallas. Además, el dispositivo de protección debe comprobarse en su totalidad.

A continuación, se presenta un listado de dispositivos de protección son los siguientes:

- Detector de humo
- Las luces de advertencia
- Los mecanismos de apagado
- Los mecanismos de alivio
- Los sistemas de supresión de incendios y alarmas
- Las balsas salvavidas
- Paradas de emergencia
- Fusibles
- Sistemas de corte de alta temperatura
- Otros

Ejemplo 03-28a.

Si ocurre un incendio en un edificio y el detector de humo está operativo, el detector hace sonar una alarma para que los ocupantes del edificio sepan que deben evacuarlo rápidamente, reduciendo las posibilidades de que los ocupantes resulten heridos o muertos en el incendio.

¿Cómo podemos probar de manera sencilla el detector de humo?

Respuestas:

Opción 01 – Accionando el botón de prueba que trae el equipo. Aunque solamente se prueba la parte de la alarma del detector de humo.

Opción 02 - Es posible comprobar su función protectora, utilizando una lata de aerosol para simular humo en el detector de humo y verificar su funcionamiento.

Ambas opciones son válidas, pero hace falta definir el intervalo inspección (tarea de búsqueda de fallas) y verificar por completo el dispositivo.

Para determinar los intervalos de tareas de búsqueda de fallas se tienen en cuenta las siguientes preguntas:

- ¿Con qué frecuencia falla el dispositivo de protección?
- ¿Con qué frecuencia se requiere que funcione el dispositivo de protección?
- ¿Con qué frecuencia la organización está dispuesta a aceptar el fracaso múltiple?

Criterios que deben cumplir las tareas de búsqueda/ detección de fallas:

- **La base sobre la cual se selecciona el intervalo de tarea debe tomar en cuenta la necesidad de reducir la probabilidad de una falla múltiple del**

sistema protector asociado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.

- **La tarea debe confirmar que todos los componentes cubiertos por la descripción del modo de falla sean funcionales.**
- **La tarea de detección de falla y el proceso de selección del intervalo asociado deben tomar en cuenta cualquier probabilidad de que la tarea por sí misma pueda dejar la función oculta en un estado de falla.**
- **Debe ser físicamente probable hacer la tarea en los intervalos especificados.**

Nota: La detección de fallas no aplica para modos de falla evidentes.

Las fallas múltiples que pueden afectar a la seguridad o al medio ambiente deben ser encarados mediante los siguientes pasos:

- Definir que probabilidad está dispuesta la organización a aceptar de una falla múltiple.
- Determinar con qué frecuencia la función protegida necesitará el dispositivo de seguridad en el periodo bajo consideración.
- Determinar que disponibilidad debe alcanzar la función oculta para reducir el riesgo de un fallo múltiple al nivel requerido.
- Seleccionar una tarea que nos permita asegurar el nivel requerido de disponibilidad de la función oculta (Tarea programada > Búsqueda de fallas > Rediseño es obligatorio).

Ejemplo 03-28b.

Un motociclista tiene una preocupación sobre la frecuencia de inspección de la luz trasera de freno, actualmente verifica si funcionamiento mensualmente y quiere saber si la frecuencia es la correcta.

Realizar el cálculo de la frecuencia de inspección, tomando en cuenta la siguiente información:

- La probabilidad de verse involucrado en un choque debido a la luz es 1 en 10000 años = 0.0001 (probabilidad de falla múltiple).
- Tiempo estimado que usara la moto en su vida es de 40 años, equivalente a un choque cada 250 vidas (10000 años/40 años).
- El motociclista estima que pudiera sufrir un accidente anual debido a la falla de luz, que equivale a 1 el nivel de demanda anual de la función protegida.

Respuesta:

$$\text{Indisponibilidad permitida del dispositivo de seguridad} = \frac{\text{Probabilidad de una Falla Múltiple}}{\text{Nivel de demanda de la función protegida}}$$

$$\text{Indisponibilidad permitida del dispositivo de seguridad} = \frac{\text{Probabilidad de una Falla Múltiple}}{\text{Nivel de demanda de la función protegida}} = \frac{0.0001}{1} = 0.01\%$$

El fabricante informo que el uso promedio de las motos por año es de 10,000 kms y un TMEF de 15 años.

Para continuar el desarrollo del ejemplo utilizaremos la tabla 03-39 de búsqueda de intervalo de fallas, disponibilidad y confiabilidad disponible en el libro RCM2 de John Moubray, 1997.

Ingresando en la tabla 03-41 con el valor de indisponibilidad permitida para la función oculta, obtenemos el valor del intervalo de la búsqueda de fallas igual a 0.02%.

Tabla 03-41. Determinar el intervalo de búsqueda.

Indisponibilidad permitida para la función oculta	0.01%	0.1%	0.2%	0.5%	1%	2%	5%	7%	9%	11%
Disponibilidad requerida para la función oculta	99.99%	99.9%	99.8%	99.5%	99%	98%	95%	93%	91%	89%
Intervalo de la búsqueda de fallas (como % del TMEF)	0.02%	0.2%	0.4%	1%	2%	4%	10%	15%	20%	25%

Luego procedemos a calcular el intervalo de búsqueda de fallas, multiplicando:

$$0.02\% \times 15 \text{ años (5475 días)} = 0.0002 \times 5475 = 1.095 \text{ días}$$

d. Combinación de tareas

Si un modo de falla o una falla múltiple puede afectar la seguridad o el ambiente y no se puede encontrar ninguna tarea programada que por sí misma reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable, es posible aplicar una combinación de tareas (pueden ser dos categorías de tareas diferentes, tales como una tarea basada en condición y una tarea de desincorporación programada) para reducir el riesgo del modo de falla a un nivel tolerable.

Es necesario asegurar que cada tarea por sí misma satisfaga los criterios de factibilidad técnica apropiado para cada tipo de tarea, y que cada tarea se realice a una frecuencia adecuada para esa tarea.

También se debe cuidar de asegurar que las dos tareas combinadas reducirán de hecho, las consecuencias a un nivel tolerable.

Nota: Las situaciones en las que se necesite la combinación de tareas son muy raras, y se debe cuidar de no emplear tales combinaciones indiscriminadamente.

En la figura 03-42 se muestra la ubicación la pregunta sobre una combinación de tareas en el diagrama de decisiones.

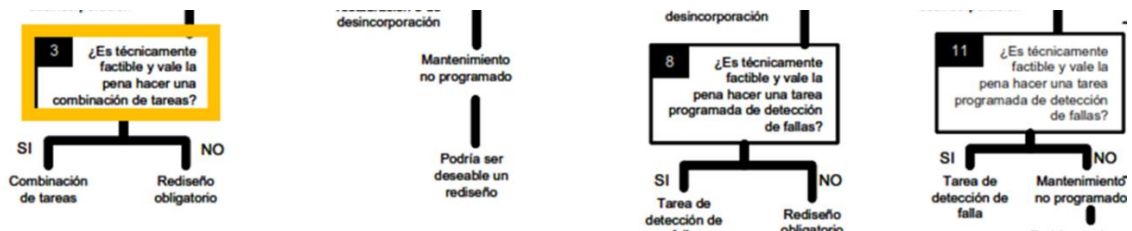


Figura 03-42. Pregunta sobre combinación de tareas.

Ejemplo 03-29.

Tenemos un modo de falla donde se puede aplicar una combinación de tareas:

las partículas suspendidas en el suministro de agua obstruyen el Intercambiador de Calor debido al uso normal.

Análisis:

El equipo de trabajo recomienda una combinación de tareas:

- Se identificó que el retrolavado semanal es muy bueno, pero no elimina todas las partículas.

- Adicionalmente si monitoreamos la temperatura del intercambiador de calor, se puede establecer en qué momento realizar el retrolavado.

Recomendación:

- Tarea de restauración: Lavar a contracorriente cada enfriador entre etapas semanalmente.
- Tarea según condición: Medir la cuarta temperatura entre etapas cada tres meses. Si la temperatura es de 110°F o más, efectuar la limpieza el intercambiador.

Ejemplo 03-30.

Políticas de manejo de fallas para el motor eléctrico del sistema PJ-300, ver tabla 03-42.

Tabla 03-42. Políticas de manejo de fallas -Sistema PJ-300.

HOJA DE REGISTRO DE INFORMACION DEL ESTUDIO DE MCC																			
ACTIVO:		Sistema de bombeo PJ-300																	
Sistema Equipo Componente	COD	Función	COD	Modos de Falla	FE	CONSECUENCIAS							POLITICA MANTTO				DESCRIPCION TAREA		
						S	A	O	NO	A B C D	A E F G	BC	P	DF	OT	TAREA	FRECUENCIA PROPUESTA	EJECUTOR	
Motor eléctrico	1	Suministrar potencia mecánica a la bomba centrífuga de 125HP a una velocidad constante de 1773 RPM.	1	Falla del interruptor principal	SI	NO	NO	NO	SI	X		X				Realizar medición de la temperatura del interruptor principal con el equipo de termografía.	Trimestral	Tec. Eléctrico	
			2	Mando de control no funciona	SI	NO	NO	NO	SI	X			X		Efectuar limpieza de los contactos de la botonera.	Trimestral	Tec. Eléctrico		
			3	Motor atascado	SI	NO	NO	SI		X		X			Realizar medición de temperatura, medición de cargas eléctricas y medición de zonas calientes.	Trimestral	Tec. Eléctrico		
			4	Falla en rodamientos	SI	NO	NO	SI		X		X			Realizar análisis de vibración.	Trimestral	Tec. Eléctrico		
	2	Disponer de un aterramiento seguro	1	Rotura del cable a tierra	SI	SI				X		X			Verificar la condición y conexión del cable y conector a tierra.	Semanal	Operador del equipo		
			2	Daño en zapata terminal	SI	SI				X			X		Efectuar limpieza de las zapatas terminales	Trimestral	Tec. Eléctrico		
			3	Daño de conector cable de tierra	SI	SI				X		X			Verificar la condición y conexión del cable y conector a tierra.	Semanal	Operador del equipo		

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)
03	Modos de falla
04	Efectos de falla
05	Consecuencia de fallas
06	Selección de políticas de manejo de fallas

3.10 Pregunta/Paso 07 – Cambios de especificaciones/Operar hasta fallar

Cambio de especificaciones

La confiabilidad, el diseño y el mantenimiento están relacionados intrínsecamente. Esto puede llevar a la tentación de realizar cambios de especificaciones a los sistemas y equipos existentes antes de considerar para lo que fue diseñado e instalado.

El diagrama de decisión del MCC da prioridad al mantenimiento antes de realizar los cambios de especificaciones por las siguientes razones:

- La duración de las modificaciones (que pueden ser mayores a 6 meses)
- Los cambios de especificaciones son costosos
- Existe un riesgo de que el cambio falle en la eliminación o incluso en el alivio del problema que se quiere resolver

El proceso MCC se esfuerza por obtener el desempeño deseado del sistema como está configurado y operado actualmente, a través de la aplicación de tareas programadas apropiadas.

En aquellos casos donde no aplican tareas programadas, pueden ser necesarios cambios de especificaciones del activo:

- Donde la falla es oculta y la falla múltiple asociada tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente.
- Donde el modo de falla es evidente y tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente.

Estos casos también se deben analizar los cambios de especificaciones:

- Donde el modo de falla es oculto y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio de especificaciones debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.
- En casos donde el modo de falla es evidente y no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio de especificaciones debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.”

De acuerdo con el MCC también podemos generar otras soluciones para estos casos:

- Modificaciones a los procedimientos operativos
- Actualizaciones de publicaciones técnicas
- Recomendaciones de capacitación
- Otros

Operar hasta fallar

Cualquier política de operar hasta fallar seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios:

- En casos donde la falla es oculta y no hay ninguna tarea programada apropiada, la falla múltiple asociada no debe tener consecuencias en la seguridad ni el ambiente.
- En casos donde la falla es evidente y no hay ninguna tarea programada apropiada, el modo de falla asociado no debe tener consecuencias en la seguridad ni en el ambiente.

En la figura 03-43 se muestran algunos casos donde se aplica la política de operar hasta fallar.

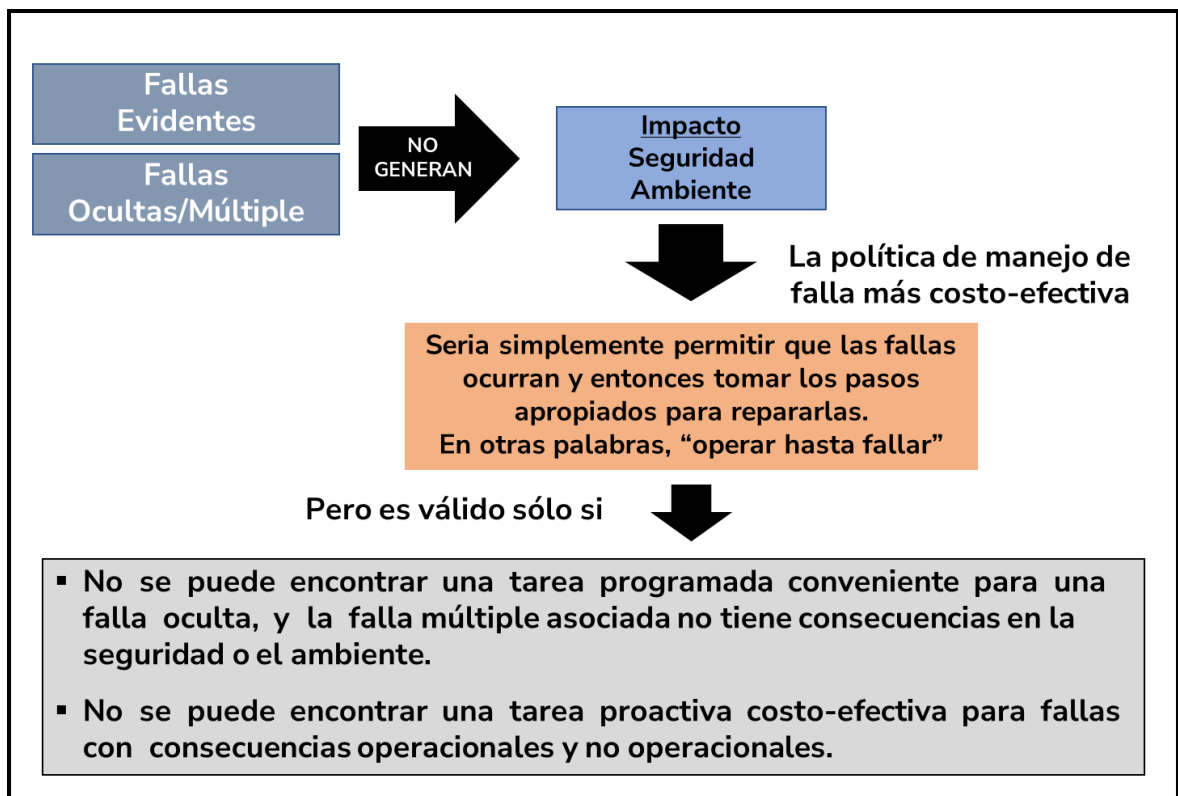


Figura 03-43. Casos donde aplicar la política de operar hasta fallar.

El equipo de trabajo debe identificar cuando es técnicamente apropiado no realizar ningún análisis en un activo según los criterios antes mencionados.

Es decir, la estrategia óptima de gestión de fallas es no hacer nada y se debe permitir que el activo funcione hasta la falla.

En estos casos es necesario contar los repuestos, personal y servicios para minimizar el tiempo de reparación.

Resumen de las preguntas/pasos

PREGUNTA /PASO	CONTENIDO
01	Diagramas EPS y Funcional Contexto Operacional Funciones (primarias y secundarias)
02	Fallas funcionales (totales o parciales)
03	Modos de falla
04	Efectos de falla
05	Consecuencia de fallas
06	Selección de políticas de manejo de fallas
07	Cambio de especificaciones/Operar hasta fallar

4. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Descripción general

Se recomienda generar y organizar la información del estudio MCC según la siguiente estructura:

1. Tabla resumen con la magnitud del análisis
2. Resultados registrados en la hoja de información del estudio MCC
3. Gráfica de distribución de las consecuencias
4. Gráfica de distribución de las tareas
5. Gráfica de distribución de tareas por disciplinas
6. Tips relevantes sobre la comparación del plan actual vs. propuesto
7. Beneficios directos (estimados)
8. Beneficios potenciales (estimados)
9. Beneficios adicionales
10. Conclusiones
11. Recomendaciones

La información contenida en esta lista no es limitativa y puede ser modificada o ampliada según el enfoque del equipo de trabajo/asesor MCC.

Ejemplo 4-01.

Informe de resultados - Estudio MCC

En las siguiente figuras y tablas se muestran los resultados para un estudio de MCC realizado en un equipo de perforación:

- Tabla 04-01. Magnitud del análisis
- Tabla 04-02. Resultados generales registrados en la hoja de información del estudio MCC
- Figura 04-01. Distribución de las consecuencias
- Figura 04-02. Distribución de las tareas
- Figura 04-03. Distribución de tareas por disciplina
- Tabla 04-03. Comparación del plan de mantenimiento (Actual vs. Propuesto)
- Figura 04-04: Beneficios directos
- Figura 04-05. Beneficios potenciales

Tabla 04-01. Magnitud del análisis.

	SISTEMA EQUIPO COMPONENTE	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	FALLAS EVIDENTES	FALLAS NO EVIDENTES
EQUIPO 756	Alta y baja presión de Lodo	4	13	43	43	0
	Top Drive	8	13	48	40	8
	Generación de "Potencia eléctrica"	15	17	93	88	5
	Tratamiento de sarta	10	19	58	58	0
	Control de solidos	5	8	18	18	0
	TOTAL		42	70	260	247

Tabla 04-02. Resultados generales registrados en la hoja de información del estudio MCC.

	FUNCION	FALLO FUNCIONAL	MODOS DE FALLO (Causa del fallo)	EFFECTO DEL FALLO (Qué ocurre cuando falla)
1	Transmitir potencia y movimiento a la sarta de perforación durante la perforación del pozo, ajuste y desajuste de tuberías. Velocidad: 0-200 RPM Potencia: 0-1000 HP	A	No transmite potencia	1 No hay suministro de energía eléctrica (Generación Eléctrica) Falla SCR. Tiempo de restitución: 3 horas
1		A		2 Freno de inercia del motor activo (Consola del Perforador) Falla en electroválvula. Tiempo de restitución: 2 horas
1		A		3 Falla del PLC No activa los periféricos del Top Drive. Tiempo de restitución: 1 horas(variable)
1		A		4 Falla del soplador Falla del swichet permisivo del soplador. Tiempo de restitución: 1 horas
1		A		5 Perdida de lubricación en caja de transmisión Bomba de lubricación no funciona. Tiempo de restitución : 3 horas
1		A		6 Swivel no gira Fuga de aceite, daño en los sellos y empaques. Tiempo de restitución: 24 horas
1		A		7 Falla interna del motor eléctrico Carbones dañados. Bajo aislamiento de los bobinados. Tiempo de restitución de carbones: 1 horas y 30 minutos. Tiempo de restitución motor: 36 horas
1		A		8 Falla en la consola del perforador del Top Drive Conectores sulfatados, selectores en mal funcionamiento. Tiempo de restitución: 1 horas
1		A		9 Baja presión del sistema de lubricación de aceite Fallo en la bomba de lubricación. Fugas de aceites en las líneas. Tiempo de restitución la bomba de lubricación: 4 horas Tiempo de restitución de las líneas: 1 hora.
1		A		10 Baja presión del sistema de aire Fuga en las líneas. Tiempo de restitución: 1 hora
1		A		11 Baja presión del sistema hidráulico Fugas en las líneas. Sistema fuera de ajuste. Tiempo de restitución en las líneas: 1 hora. Tiempo de ajuste: 1 hora.
1		A		12 Falla eléctrica (conectores, cables, interruptores) No hay suministro de energía. Tiempo de restitución: 1 hora
1	B	No transmite movimiento giratorio	1 Swivel no gira No funciona, se produce aumento de fricción, existe restricción en el Top Drive, aumento de amperaje. Tiempo de restitución: 24 horas.	
1	B		2 Sarta atascada (por condiciones operacionales) No gira. Tiempo de restitución: 8 horas.	
2	VALVULA IBOP Permite el paso del lodo hacia la sarta de tuberías sin fuga hacia el	A	No permite el paso del lodo hacia la sarta de tuberías	1 Válvula superior interna de seguridad cerrada (Falla de los cilindros neumáticos) No deja pasar el lodo a la sarta de tuberías de perforación. Tiempo de restitución: 2 horas

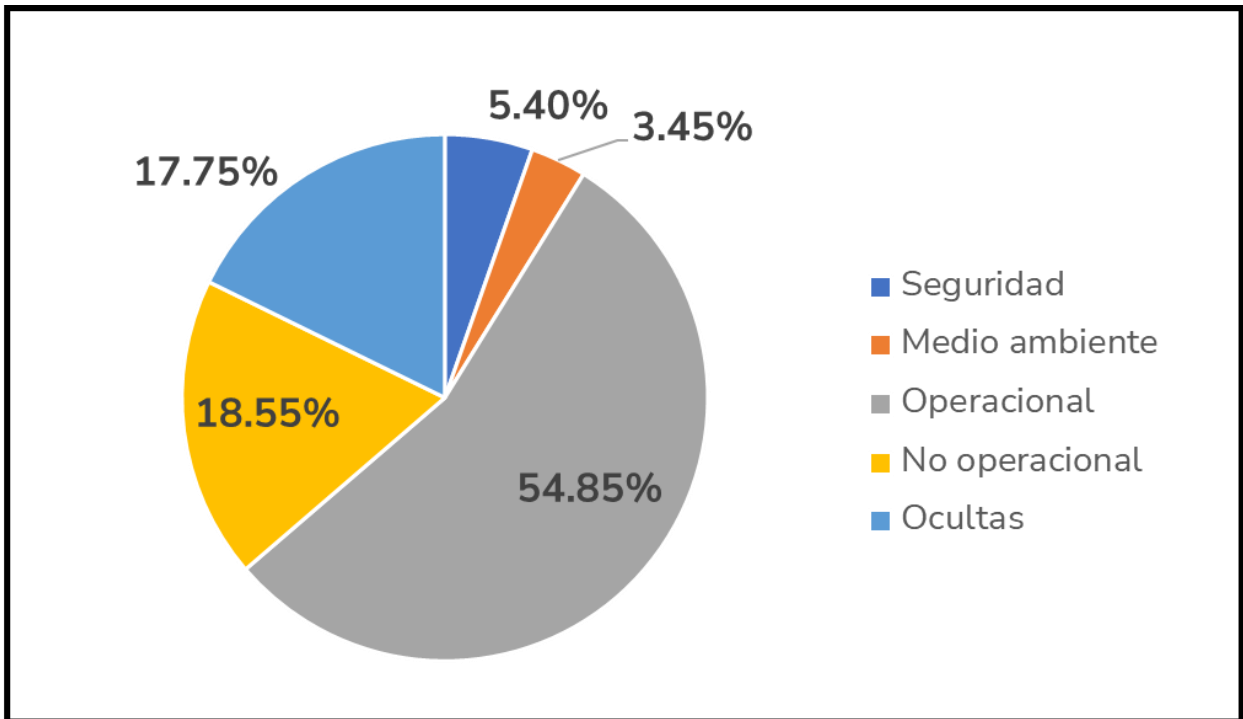


Figura 04-01. Distribución de las consecuencias.

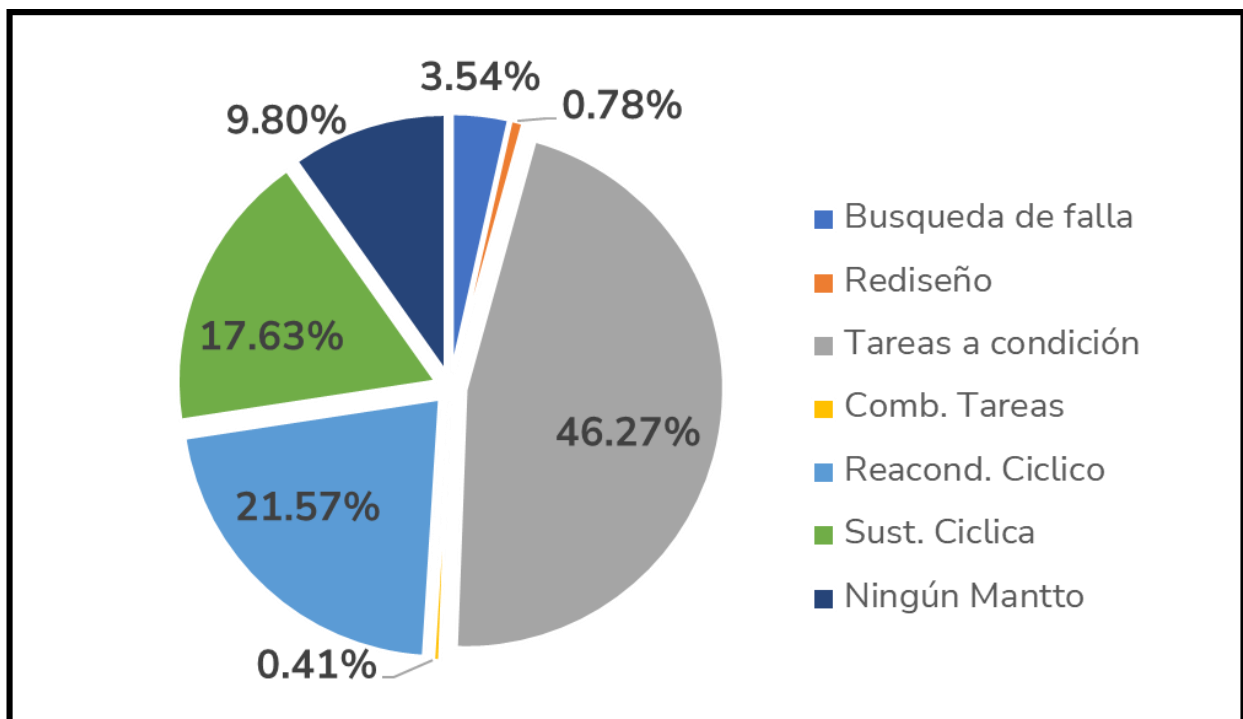


Figura 04-02. Distribución de las tareas.

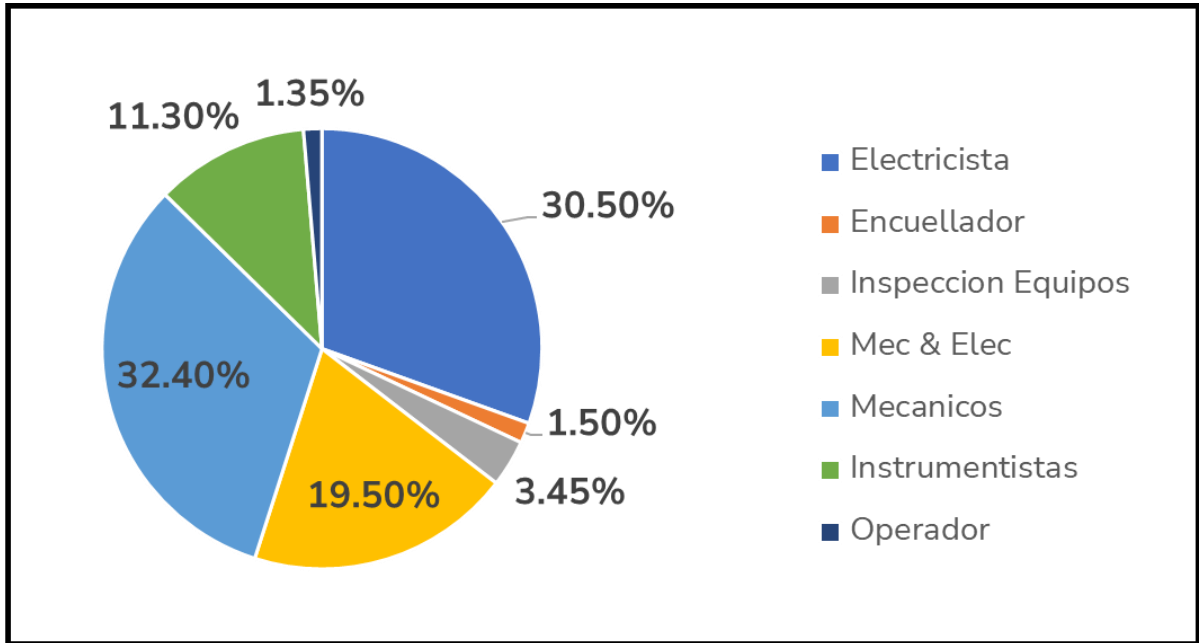


Figura 04-03. Distribución de tareas por disciplina.

Tabla 04-03. Comparación del plan de mantenimiento (Actual vs. Propuesto).

ACTUAL	PROPUESTO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mantenimiento enfocado a preservar la condición de funcionamiento de los equipos. ▪ Servicios de mantenimiento preventivo aplicados: Nivel 1 (Diario), Nivel 2 (Semanal), Nivel 3 (mensual) , Nivel 4 (6 meses) ▪ Ejecución de actividades rutinarias por parte del mecánico y electricista de la Unidad (arranque de equipos / reparaciones menores) ▪ Grupo de mantenimiento mixta en Mecánico y Eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mantenimiento enfocado a preservar las funciones principales en el proceso. ▪ Servicios a aplicar: Nivel 1 (8 horas, diario), Nivel 2 (semanal, quincenal, mensual), Nivel 3 (trimestral), Nivel 4 (semestral, anual). ▪ Actividades del mecánico, electricista orientadas a la prevención de fallas funcionales además del registro y control de interrupciones. ▪ Participación más activa y permanente de los operadores del equipo en actividades de mantenimiento preventivo. ▪ Agrupar las tareas de mantenimiento por sistemas permitiendo realizar todos los servicios en una sola interrupción, facilitando su programación.

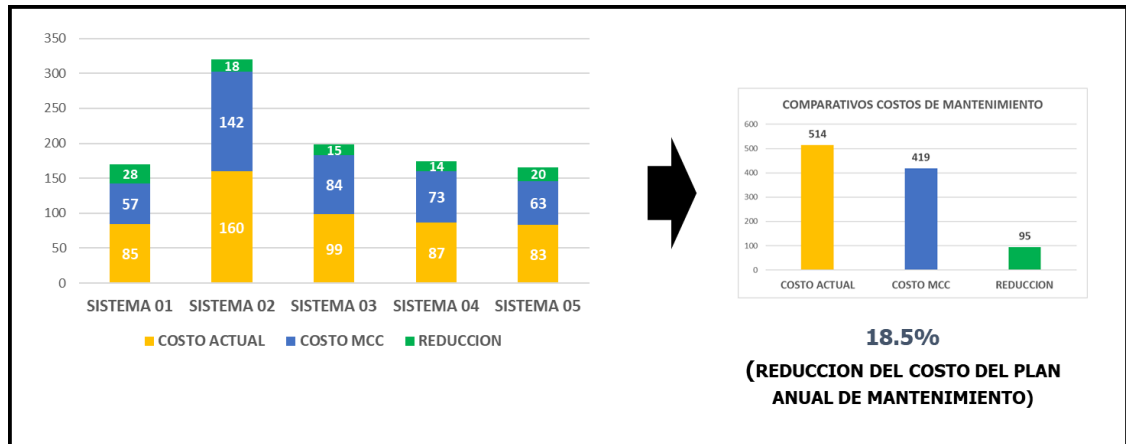


Figura 04-04. Beneficios directos.

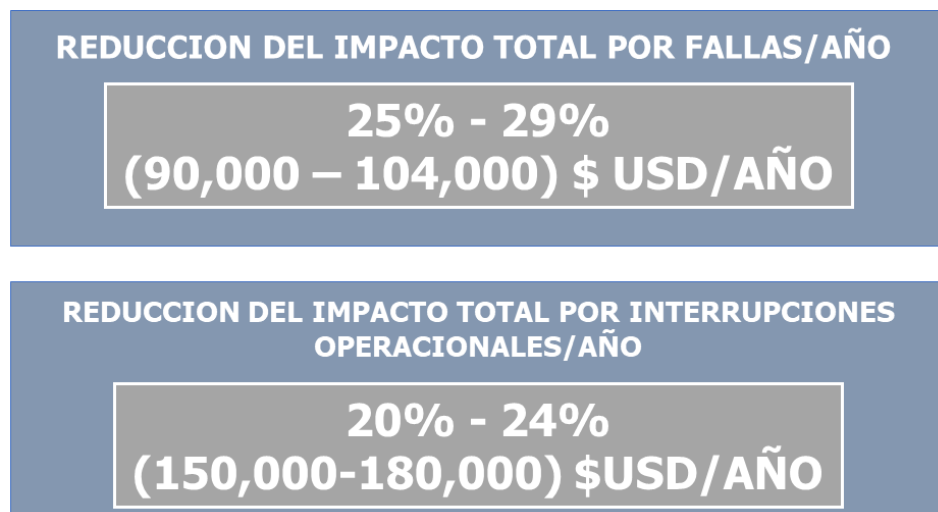


Figura 4-05. Beneficios potenciales.

Los beneficios potenciales de este estudio fueron los siguientes:

- Los planes de mantenimiento actualizados para los sistemas críticos del equipo de perforación están orientados a minimizar el riesgo de seguridad al personal y daños al medio ambiente.
- Generación de planes de mantenimiento alineado con la taxonomía del CMMS.
- Integración del personal de operación y mantenimiento en equipos de trabajo.
- Unificación de las bases de conocimientos relacionadas con las operaciones y mantenimiento de los sistemas estudiados.

Conclusiones del estudio:

- El MCC es una metodología sistemática que permite optimizar los planes de mantenimiento.
- El personal comparte y adquiere mayor conocimiento y control sobre las condiciones de funcionamiento y mantenimiento de los equipos.
- Existen alta probabilidad de reducir de la frecuencia de fallas en cada sistema estudiado.

Recomendaciones del estudio:

- Capacitar a los técnicos de mantenimiento y al personal de operación de los sistemas considerados en el estudio MCC.
- Implementar en el corto plazo los resultados del estudio MCC.
- Realizar seguimiento y control para validar los beneficios directos, la reducción de fallas y sobre el impacto en las operaciones.
- Extender el estudio en el resto de los equipos de la organización.

5. AUTORIZACION, IMPLEMENTACION, SEGUIMIENTO Y CONTROL

5.1 Descripción general

El equipo de trabajo debe generar un plan de trabajo que incluya los puntos más relevantes para presentar y obtener la aprobación del estudio MCC, y posteriormente cubrir las etapas para su implementación, donde la actualización de los planes en el CMMS constituye uno de los pasos clave para el seguimiento y control de los beneficios propuestos con el nuevo enfoque del mantenimiento para el activo considerado en el estudio.

El proyecto de MCC debe ser planeado, desarrollado, implementado, verificado y en caso de ser necesario, ajustado según el ciclo PHVA.

Para cubrir el alcance de este módulo debemos realizar los siguientes pasos:

1. Presentar el estudio a la Gerencia para su revisión y autorización
2. Actualizar el plan de mantenimiento en el CMSS
3. Actualizar Checklist/Listas de verificación
4. Actualizar/elaborar procedimientos de trabajo
5. Realizar capacitación al personal de mantenimiento/operación sobre la metodología MCC y los resultados del estudio
6. Programar las actividades del nuevo plan de mantenimiento en el CMMS
7. Ejecutar el mantenimiento según el enfoque del MCC
8. Efectuar seguimiento a los resultados generados y comparar con los beneficios directos y potenciales estimados
9. Realizar ajustes en el plan de ser necesario

En la tabla 05-01 se muestra los pasos mencionados anteriormente para facilitar el seguimiento y control de cada actividad.

Tabla 05-01. Actividades del plan de trabajo

#	ACTIVIDAD	RESPONSABLES	FECHA PERIODO
1	Presentar el estudio a la Gerencia	Líder y personal de equipo de trabajo	
2	Actualizar el plan en el CMMS	Planificador	
3	Actualizar Checklist/Listas de verificación	Planificador	
4	Actualizar/elaborar procedimientos de trabajo	Planificador	
5	Realizar capacitación al personal de mantenimiento/operación sobre la metodología MCC y los resultados del estudio	Líder del equipo Facilitador MCC	
6	Programar las actividades del nuevo plan de mantenimiento en el CMMS	Programador	
7	Ejecutar el mantenimiento según el enfoque del MCC	Técnicos Mantenimiento	
8	Efectuar seguimiento a los resultados generados y comparar con los beneficios directos y potenciales estimados	Planificador Confiabilidad	
9	Realizar ajustes en el plan de ser necesario	Planificador	

Los integrantes del equipo deben establecer fechas y/o periodos de cumplimiento de cada actividad.

6. PERSONALIDADES RELEVANTES EN EL MUNDO DEL MANTENIMIENTO Y LA CONFIABILIDAD

- Doc Palmer: tiene más de tres décadas de experiencia industrial principalmente dentro del departamento de mantenimiento de la Autoridad Eléctrica de Jacksonville, una de las principales empresas eléctricas de Estados Unidos, donde fue responsable de revisar la organización de planificación de mantenimiento de la empresa. Desde 1990 es el escritor del Manual de planificación y programación de mantenimiento, publicado en 1999 y ahora en su cuarta edición (2019).
- John Moubray: fue un ingeniero mecánico, pasó sus primeros años de carrera desarrollando e implementando sistemas de gestión de mantenimiento, primero como ingeniero de plantas y luego consultor, a principios de los años 80. En 1986 funda un Aladon LTD, empresa de consultoría y formación en la gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad para su aplicación en activos físicos.
- R.Keith Mobley: Es Consultor Principal de Ingeniería de Ciclo de Vida. Se ha ganado una reputación internacional como líder en transformaciones corporativas, ingeniería de confiabilidad y optimización de procesos. El Sr. Mobley está en las juntas asesoras de ANSI e ISO; un conferencista distinguido para ASME; y recibió el Premio Smarrot por su destacada contribución en ingeniería y confiabilidad. Formado en el Motorola-Juran Institute, es Master Black Belt con cientos de proyectos exitosos y 20 años de experiencia directa en aplicaciones Lean-Six Sigma. El Sr. Mobley es autor de 22 libros, que incluyen: Gestión total del rendimiento de la planta, Manual del ingeniero de planta, Manual de ingeniería de mantenimiento, Reglas generales para ingenieros de confiabilidad e Introducción al mantenimiento predictivo.
- Neil B. Bloom: Neil Bloom recibió su licenciatura en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Miami, donde también se especializó en economía. Tiene una experiencia única como practicante de MCC y programas de mantenimiento preventivo, habiendo trabajado en estrecha asociación durante más de 30 años con las dos agencias federales de vanguardia más responsables de la confiabilidad y la seguridad, a saber, la Administración Federal de Aviación (FAA) y la Comisión Reguladora Nuclear (NRC). Su experiencia en MCC en aviación comercial y energía nuclear ha sido tanto en Ingeniería como en Mantenimiento, donde el proceso MCC cumple con sus desafíos más formidables para una implementación exitosa. El MMC puede ser una poderosa herramienta de confiabilidad, pero desafortunada e injustamente, se ha convertido en lo que se percibe como una tarea compleja, difícil y costosa. Como resultado, el autor ha introducido conceptos innovadores que permiten que el proceso de MCC clásico alcance un nuevo nivel para el lego promedio, lo que hace que todo el proceso sea menos abrumador, más directo y simple. Explica lo que se puede y lo que no se puede hacer, lo que funciona y lo que no funciona, comprende dónde están las trampas y cómo evitarlas. Bloom ha sido orador invitado sobre MCC en conferencias nacionales e internacionales, incluido el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME), la Sociedad Nuclear

Estadounidense (ANS), el Laboratorio Nacional de Argonne (ANL) que es operado por la Universidad de Chicago para el Departamento de Energía (DOE), el Instituto Edison Electric (EEI) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en Viena, Austria.

- Terry Wireman: es el vicepresidente senior de desarrollo estratégico en Vesta Partners. Dirige los seminarios y la capacitación en Vesta sobre mantenimiento y confiabilidad, y brinda orientación estratégica a empresa para dar forma a su estrategia de mercado y su dirección a largo plazo. Durante más de cuatro décadas, Terry se ha especializado en la mejora de la gestión y la confiabilidad del mantenimiento.

7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- ACR: Análisis causa raíz
- AMEF: Análisis de modo y efecto de fallas
- CMMS: Computerized Maintenance Management System (Sistema Computarizado de Administración de Mantenimiento)
- FMECA: Modo de falla, efecto y su criticidad
- ISO: International Organization for Standardization
- MBC: Mantenimiento basado en condición
- MCC: Mantenimiento centrado en confiabilidad
- MP: Mantenimiento preventivo
- MTBF: Tiempo medio entre fallas
- MTTR: Tiempo medio para la reparación
- PMO: Optimización del mantenimiento preventivo
- RAM: Reliability, Availability & Maintainability
- RCM2: Reliability Centered Maintenance Second Edition 2 Revised edition by Moubray, John (1997)
- SAE: Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores).
- TPM: Total Productive Maintenance.
- UNE EN: Organismo de normalización español

8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Activo (instalaciones):** Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja, puede ser humano, físico y financiero intangible.
- **Análisis Causa-Efecto:** Es utilizado en la metodología Análisis Causa Raíz para ordenar gráficamente y de manera secuencial el análisis, partiendo desde el evento de falla, a través de los diferentes modos de falla e hipótesis, encontrando la relación de las causas y los efectos hasta llegar a las causas raíz del evento de falla.
- **Análisis Causa Raíz (ACR):** Es una metodología utilizada para identificar factores (gente, procesos y tecnologías) causales de fallas o eventos relacionados con las instalaciones, sistemas o equipos, con el objeto de eliminar o mitigar las causas raíz que los producen.
- **Cambio de especificaciones:** Cualquier acción tomada para cambiar la configuración física de un activo o sistema (rediseño o modificación), cambiar el método utilizado por un operador o mantenedor para el desarrollo de una tarea específica, cambiar el contexto operacional del sistema, o cambiar la capacidad de un operador o mantenedor (entrenamiento).
- **Capacidad Inicial:** El nivel de operación que el activo físico o sistema es capaz de lograr en el momento que entra en servicio.
- **Ciclo de Vida:** Plazo de tiempo durante el cual un Ítem conserva su capacidad de utilización. El periodo va desde su compra hasta que es substituido o es objeto de restauración.
- **CMMS:** Se conoce a los sistemas de información por computador para el área de mantenimiento, cuyo principal objetivo es asistir con la administración eficiente y eficaz de las actividades de mantenimiento a través de la tecnología de información.
- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de funcionamiento libre de fallas de un equipo o sus componentes por un tiempo definido y bajo un contexto operacional determinado.
- **Confiabilidad Operacional:** Es la capacidad de un activo, representado por sus procesos, tecnología y gente, para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de éste, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.
- **Consecuencia:** Resultado de una falla o evento, pueden existir una o más consecuencias. Se expresan cualitativa o cuantitativamente, los modelos para el cálculo de consecuencias deben tomar en cuenta el impacto en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.
- **Consecuencias Ambientales:** Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el equipo o sistema en consideración.
- **Consecuencias de Falla:** Los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos).
- **Consecuencias en la Seguridad:** Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano.
- **Consecuencias No Operacionales:** Una categoría de consecuencias de falla que no afecta adversamente la seguridad, el ambiente, o las operaciones, y que sólo requiere reparación o reemplazo de cualquier elemento (s) que podría ser afectado por la falla.
- **Consecuencias Operacionales:** Una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un equipo o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación).

- **Contexto Operacional:** Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema
- **Defecto:** Causa inmediata de una falla (desalineamiento, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, etc.
- **Desempeño deseado:** El nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario de un activo físico o sistema.
- **Disponibilidad:** se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico.
- **Desincorporación Programada:** Una tarea programada que trae consigo la desincorporación de un componente en o antes de un límite de longevidad específico sin tener en cuenta su condición en el momento.
- **Dispositivo Protector o Sistema Protector:** Un dispositivo o sistema que pretende evitar, eliminar, o minimizar las consecuencias de falla de cualquier otro sistema.
- **Dueño:** Una persona u organización que puede sufrir o acarrear la responsabilidad de las consecuencias de un modo de falla en virtud de la propiedad del activo o sistema.
- **Efecto de Falla:** Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla.
- **Estrategia:** en el campo de la administración, una estrategia «es el patrón o plan que integra las principales metas y políticas de una organización y a la vez, establece la secuencia coherente de las acciones a realizar». También, se identifica como «el arte de crear y proyectar planes para alcanzar una meta concreta».
- **Falla:** Terminación de la habilidad de un equipo o sistema para ejecutar una función requerida. Estado que se origina cuando un componente, equipo, sistema o proceso deja de cumplir con la función esperada.
- **Falla Evidente:** Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.
- **Falla Funcional:** Un estado en el que un equipo o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.
- **Falla Múltiple:** Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla.
- **Falla Oculta:** Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado.
- **Falla Potencial:** Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir.
- **Función:** Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema
- **Función(es) Primaria(s):** La(s) función(es) que constituyen la(s) razón(es) principal(es) por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario.
- **Funciones Secundarias:** Las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de su(s) función(es) primaria(s), así como aquellas que necesitan cumplir con los requerimientos reguladores o a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural.
- **Impacto Económico:** Representa el impacto financiero por incremento en costos de mantenimiento o pérdidas de producción.

- **Ingeniería de Confiabilidad:** Se define como la rama de la ingeniería que estudia las características físicas y aleatorias del fenómeno "falla".
- **Intervalo P-F:** El intervalo entre el punto en que una falla potencial se hace detectable y el punto en que esta se degrada hasta una falla funcional (también conocido como "período para el desarrollo de falla" o "tiempo esperado para la falla").
- **Intervalo P-F Neto:** El intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional.
- **Ítem:** Término específico usado para denotar cualquier producto, incluyendo sistemas, partes materiales, sub-ensambles, conjuntos, accesorios, etc.
- **Jerarquización:** Ordenamiento de características propias de los equipos de acuerdo a su prioridad.
- **Jerarquización de Problemas:** Lista donde los problemas son jerarquizados según su impacto en términos de la criticidad.
- **Longevidad:** Una medida de exposición al esfuerzo calculada desde el momento en el cual un elemento o componente entra en servicio cuando nuevo o vuelve a entrar en servicio después de una tarea designada para restaurar su capacidad inicial, y puede ser medida en términos de tiempo de calendario, tiempo de operación, distancia recorrida, ciclos de durabilidad o unidades de producción o de rendimiento.
- **Mantenibilidad:** Es una función que determina la probabilidad de que un componente o sistema fallado sea restaurado o reparado bajo una condición específica y dentro de un periodo de tiempo establecido previamente.
- **Mantenimiento basado en condición:** El mantenimiento preventivo iniciado como consecuencia del conocimiento del estado de un artículo derivado de un seguimiento periódico, rutinario o continuo.
- **Mantenimiento en línea:** mantenimiento que se puede realizar mientras la planta o unidad está en uso (también llamado mantenimiento en funcionamiento).
- **Mantenimiento fuera de línea:** Mantenimiento que solo se puede realizar cuando la planta o unidad no está en uso.
- **Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento que se realiza a intervalos
- **Mantenimiento proactivo:** Es un mantenimiento donde su intervención al equipo se realiza mediante estudios e ingeniería. Los datos e historiales de un equipo juegan un papel muy importante durante su intervención puesto que será útil para formar un patrón, para realizar pronóstico (proyección) al futuro y estudiar mediante gráficos. Todo aquello con la finalidad de gestionar cada parámetro y optimizar.
- **Mantenimiento reactivo:** Es un tipo de mantenimiento donde su intervención al equipo se realiza de manera sorpresa, puesto que las apariciones de fallas no se pueden predecir. Lo bueno que se rescata de estos datos de vida y de fallas son para gestionar y evitar que otra vez vuelva a ocurrir la misma falla.
- **Mecanismo de falla:** Proceso físico, químico u otro que ha conducido a una falla.
- **Metodología:** Conjunto de métodos y/o procedimientos estructurados que se siguen para obtener un resultado. Las de mayor uso para el mejoramiento de la confiabilidad operacional y la disponibilidad de los equipos, son el Análisis de Criticidad, Análisis Causa Raíz, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad e Inspección Basada en Riesgo.
- **Modo de Falla:** Un evento único, que causa una falla funcional.
- **Monitoreo de condición:** Medición e interpretación periódica, rutinaria o continua de datos para indicar el estado de un artículo.

- **Operar hasta Fallar:** Una política de manejo de fallas que permite que un modo de falla específico ocurra sin ningún esfuerzo para anticiparla o prevenirla.
- **Política de Manejo de Fallas:** Un término genérico que abarca tareas basadas en condición, restauración programada, desincorporación programada, detección de falla, operar hasta fallar y cambio de especificaciones.
- **Prioridad:** La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.
- **Probabilidad Condicional de Falla:** La probabilidad de que una falla ocurra en un período específico, dado que el elemento involucrado ha sobrevivido al comienzo de ese período.
- **Restauración Programada:** Una tarea programada que restaura la capacidad de un elemento en (o antes de) un intervalo especificado (límite de longevidad), sin tener en cuenta su condición en el momento, a un nivel que proporciona una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final de otro intervalo especificado.
- **Sistema:** es un conjunto de componente que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común.
- **Tarea Apropriada:** Una tarea que es técnicamente factible y al mismo tiempo vale la pena realizar (aplicable y efectiva).
- **Tarea Basada en Condición:** Una tarea programada usada para detectar una falla potencial.
- **Tarea para Detectar Fallas:** Una tarea programada utilizada para determinar si ha ocurrido una falla oculta específica.
- **Tiempo Promedio Entre Falla (MTBF):** Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el período observado.
- **Tiempo Promedio Para Fallar (MTTF):** Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.
- **Tiempo Promedio Para Reparación (MPPR):** Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.
- **Usuario:** Una persona u organización que opera un activo o sistema y podría sufrir o acarrear la responsabilidad por las consecuencias de un modo de falla de ese sistema.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias bibliográficas utilizadas en este manual y la presentación del curso:

- Libro, RCM II, John Moubray, 1997.
- Libro, RCM Reengineered - practical optimization, Jesus R. Sifontes, 2017.
- Libro, RCM Implementation made simple, Niel B. Bloom, 2006.
- Libro, RCM3, Risk-Based Reliability Centered Maintenance, Marius Basson, 2018.
- Libro, RCM Building a Reliable Plant Maintenance Program, Jim August, 2004.
- Libro, Planning and Scheduling Handbook, Timothy C. Kister, 2006.
- Libro, Maintenance and Reliability BEST PRACTICES – 2da Edición, Ramesh Gulati, 2014.
- Libro, Maintenance Plannig and Schedulling handbook, Doc Palmer, 2019.
- Libro, Maintenance Engineering Handbook, Keith Mobley, 2008.
- Libro, The Basic of FMEA, 2da Edition, Robin E. McDermott, 2009.

- Manual de Sistema de Confiabilidad Operacional (SCO), Versión 03-PEMEX, EyP.

- Norma UNE EN 13306:2018.
- Norma ISO-14224: 2016.
- Norma SAE JA1011:2009.
- Norma SAE JA1012:2002.

- Artículo, Estudio de probabilidad de falla realizada por la aviación civil en los 70 ´s.

- Página web, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>
- Página web, <https://ingcci.com/confiabilidad-operacional/>
- Página web, <https://quality-one.com/fmeca/>