

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



**IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) A LA EMPRESA FABRICACIONES
GENERALES MANTENIMIENTO Y SERVICIOS S.A.C.**

Tesis presentada por el Bachiller:
MANUEL OCTAVIO RIVERA URQUIZO
Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO

Arequipa – Perú
2015



Dedico este trabajo a mis padres Rolando y Gloria, a mi esposa Elizabeth e hijos Mélanie y Kevin por su apoyo de siempre.

Gracias.

INDICE

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCION	XI
CAPITULO I. GENERALIDADES	1
1.1. Descripción del problema	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Justificación	3
1.5. Alcances	3
2.5. Limitaciones	3
CAPITULO II. ANALISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA.....	5
2.1. Empresa	5
2.2. Situación general	5
2.2.1. Ubicación geográfica y distribución	6
2.2.2. Políticas de mantenimiento	7
2.3. Organización y producción de la empresa	8
2.4. Organigrama de la empresa	8
2.5. Visión y misión de la empresa	9
2.6. Objetivos de la empresa	9
2.7. Tamaño de la empresa	10
2.8. Jornada de trabajo de la empresa	11
2.9. Características físicas de la producción	12
2.10. Producción de la empresa	12

CAPITULO III. MARCO TEORICO MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD – RCM	16
3.1. Concepto	16
3.2. Historia y antecedentes del RCM.....	17
3.3. Evolución del mantenimiento	19
3.4. Definición del RCM	21
3.5. Desarrollo del RCM	23
3.5.1. Análisis de modos de fallas y efectos.....	23
3.5.2. Arbol lógico de decisión del RCM	35
3.5.3. Grupo de trabajo	40
 CAPITULO IV. METODOLOGIA DE IMPLEMENTACION DEL MANTENIMEINTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD- RCM	
4.1. Aplicación de RCM a equipos críticos de la planta.....	47
4.2. Fase 1: Listado y codificacion de equipos.....	49
4.3. Fase 2: Listado de funciones y sus especificaciones	51
4.4. Fase 3: Determinacion de fallas funcionales y fallos técnicos.....	52
4.4.1 Histórico de averías	53
4.4.2 Personal de mantenimiento	54
4.4.3 Personal de operaciones	54
4.4.4 Diagrama logico y diagramas funcionales.....	54
4.5. Fase 4: Determinacion de los modos de fallo	55
4.6. Fase 5: Estudio de las consecuencias de las fallas.	58
4.7. Fase 6: Determinacion de las medidas preventivas	60
4.7.1 Tareas de mantenimiento	61
4.7.2 La determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento	64
4.7.3 Mejoras y modificaciones en la instalación	66
4.7.4 Cambios en los procedimientos de operación.....	67
4.7.5 Cambios en los procedimientos de mantenimiento	67
4.7.6 Formacion.....	67
4.8. Fase 7: agrupacion de las medidas preventivas	68
4.9. Fase 8: puesta en marcha de las medidas preventivas.....	68
4.9.1 Puesta en marcha de plan de mantenimiento	69
4.9.2 Implementacion de nuevas técnicas	69

4.9.3 Puesta en marcha de acciones formativas.....	69
4.9.4 Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operaciones y mantenimiento.....	70

**CAPITULO V. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD-RCM..... 71**

5.1. Aspectos del sistema de mantenimiento.....	71
5.2. Implementación de la fase 1, 2: listado y criticidad de los equipos.....	71
5.2.1. Códificación de máquinas	73
5.2.2. Análisis de criticidad	78
5.2.3. Fichas técnicas de los equipos y codificación	83
5.3. Implementación de la fase 3, 4, 5: por medio del análisis de modos de fallos y sus efectos – AMFE.....	95
5.4. Implementación de la fase 6, 7,8: los programas de medidas preventivas, agrupación y puesta en marcha de estas medidas	144

CONCLUSIONES.....	154
RECOMENDACIONES.....	155
BIBLIOGRAFIA.....	156
HEMEROGRAFÍA	158
ANEXOS	159

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°1:	Clasificación de las Empresas según tamaño.....	10
Cuadro N°2:	Personal de la Empresa.....	11
Cuadro N° 3:	Porcentaje de producción mensual según proceso de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.	13
Cuadro N°4:	Tipos de tareas dependiendo de la criticidad del fallo	64
Cuadro N° 5:	Lista de máquinas de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.....	73
Cuadro N° 6:	Codificación existente de los equipos de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C	74
Cuadro N° 7:	Códigos a utilizarse para la identificación de los equipos.....	75
Cuadro N° 8:	Nueva codificación.....	76
Cuadro N° 9:	Nueva codificación de equipos.	77
Cuadro N° 10:	Criterios de criticidad y su cuantificación.....	79
Cuadro N° 11:	Matriz de criticidad a utilizar.....	80
Cuadro N° 12:	Análisis de criticidad de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.....	81
Cuadro N° 13:	Resumen de Análisis de Criticidad.....	82
Cuadro N° 14:	Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Bancada.....	96
Cuadro N° 15:	Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Transmisión	103
Cuadro N° 16:	Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Eléctrico	105
Cuadro N° 17:	Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Contrapunto	111
Cuadro N° 18:	Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Torno Mecánico Codigo 12TOM01	115
Cuadro N° 19:	Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Torno Mecánico Codigo 12TOM02	116

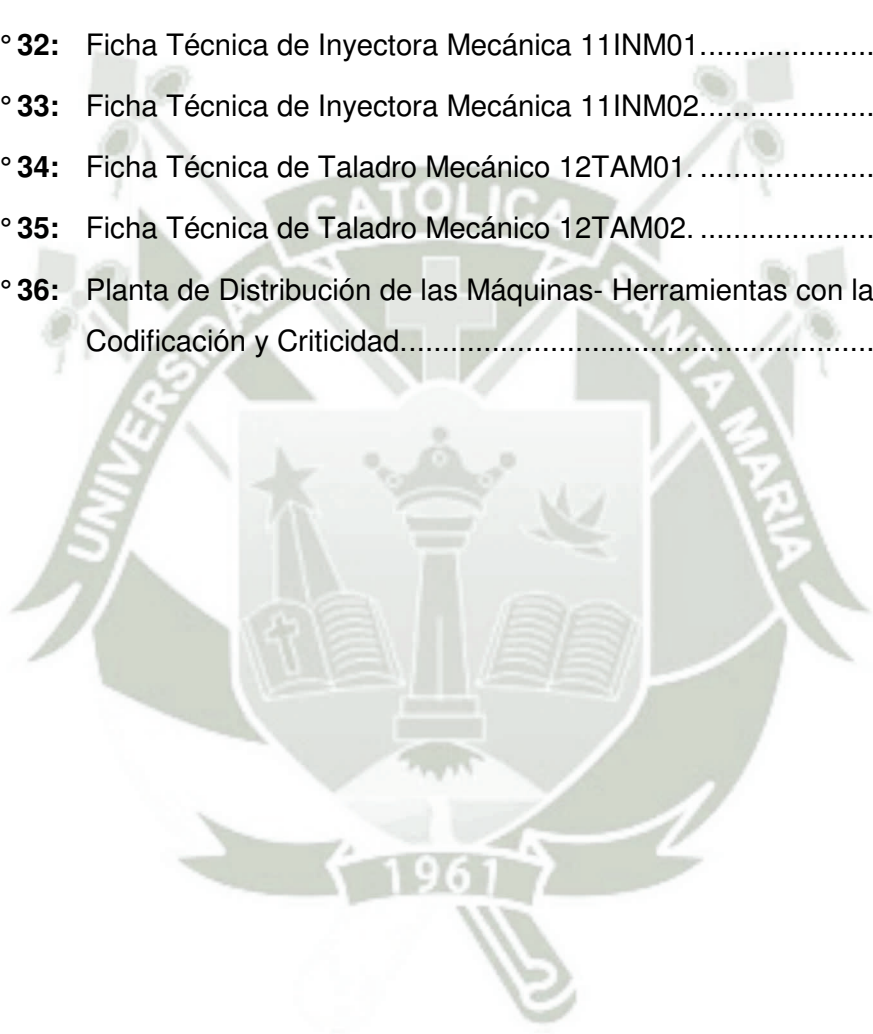
Cuadro N°20: Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Torno Mecánico Codigo 12TOM03	117
Cuadro N° 21: Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Torno CNC1 Codigo 12TOC01.	118
Cuadro N° 22: Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Fresadora Mecánica 1.Codigo 12FRM01.....	119
Cuadro N°23: Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Fresadora CNC1.Codigo 12FRC01	120
Cuadro N° 24: Programa de Mantenimiento Anual de la Maquina-Herramienta Fresadora CNC2.Codigo 12FRC02	121



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1:	Ubicación Geográfica de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.	6
Figura N° 2:	Distribución actual de las máquinas en el taller de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.	7
Figura N°3:	Organigrama funcional de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.	9
Figura N° 4:	Distribución de la Producción Mensual	15
Figura N° 5:	Diagrama de Flujo del Mecanizado.....	16
Figura N° 6:	Diagrama de flujo de la inyección.	17
Figura N°7:	Patrones de Fallas para Aviones en la Curva de la Bañera	21
Figura N°8:	Las Cuatro Tendencias en la Gestión de Ingeniería Mantenimiento.	20
Figura N°9:	Componentes de un Programa RCM.....	23
Figura N°10:	Desarrollo del Contexto Operacional	27
Figura N°11:	Diagrama para determinar consecuencias de modos de falla.....	34
Figura N°12:	Lógica de la selección de estrategias de Mantenimiento RCM	36
Figura N°13:	Curva de comportamiento de fallos potenciales.....	37
Figura N°14:	Ejemplo tareas preventivas.....	38
Figura N°15:	Integrantes del equipo natural de trabajo.....	41
Figura N°16:	Matriz general de criticidad	46
Figura N°17:	Proceso de implantación del RCM.....	48
Figura N°18:	Estructura de Niveles de la Planta	50
Figura N°19:	Definición de cada uno de los niveles de jerarquía en una planta	51
Figura N°20:	Análisis de criticidad de fallo. Fallo Crítico	59
Figura N°21:	Análisis de criticidad de fallo. Fallo Importante.....	60
Figura N° 22:	Niveles de estructura de una planta industrial.....	72
Figura N°23:	Estructura de códigos para equipos.....	75
Figura N° 24:	Figura de Criticidad de Equipos.	82

Figura N° 25:	Ficha Técnica de Fresadora CNC 12FRC01.....	84
Figura N° 26:	Ficha Técnica de Fresadora CNC 12FRC02.....	85
Figura N° 27:	Ficha Técnica de Torno CNC 12TOC01.	86
Figura N° 28:	Ficha Técnica de Mecánico 12TOM01.....	87
Figura N° 29:	Ficha Técnica de Torno Mecánico 12TOM02.....	88
Figura N° 30:	Ficha Técnica de Torno Mecánico 12TOM03.....	89
Figura N° 31:	Ficha Técnica de Fresadora Mecánica 12FRM01.....	90
Figura N° 32:	Ficha Técnica de Inyectora Mecánica 11INM01.....	91
Figura N° 33:	Ficha Técnica de Inyectora Mecánica 11INM02.....	92
Figura N° 34:	Ficha Técnica de Taladro Mecánico 12TAM01.....	93
Figura N° 35:	Ficha Técnica de Taladro Mecánico 12TAM02.	94
Figura N° 36:	Planta de Distribución de las Máquinas- Herramientas con la Codificación y Criticidad.....	152



RESUMEN

En una perspectiva económica global, el servicio que prestan los activos son un factor clave para que las empresas sean competitivas, por esta razón las exigencias de confiabilidad, disponibilidad y seguridad para la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C. en relación a sus activos, requieren de una nueva estrategia de mantenimiento que ayude a cumplir con el cometido planteado.

En la actualidad la Empresa viene aplicando un mantenimiento de corrección y esporádicamente de prevención, debido a que no existe un cronograma definido de los mantenimientos a realizarse, es más, en la mayoría de los casos se espera a que ocurra alguna acción fuera de lo normal para realizar un chequeo o un mantenimiento teniendo como consecuencia el respectivo daño o parada de la máquina.

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM a los activos de la empresa en mención permitirá una mejora continua de los indicadores claves de desempeño a través de estrategias de gestión de mantenimiento en planificación y programación que eviten los paros de emergencia y aumente las horas de producción de cada máquina o equipo.

La metodología base filosófica aplicada es la siguiente:

- Aplicación del Análisis de Criticidad a los activos de la Empresa: Por medio de la Norma ISO 14224: Industrias de petróleo y gas natural y además la recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de los activos
- Aplicación del Análisis Modos de Fallos y Efectos AMFE: Basándose en el procedimiento explicado en la Norma SAE JA 1012, para los activos críticos.
- Aplicación de un programa adecuado de mantenimiento a cada uno de los activos, sistemas o componentes de la Empresa, de acuerdo al análisis efectuado por medio del AMFE.

ABSTRACT

In a global economic perspective, the service provided by the assets of one are a key factor for enterprises to be competitive factor, therefore the requirements for reliability, availability and security for the Company and SAC Manufacturing General Maintenance Services in relation to its assets, they require a new maintenance strategy that helps meet the stated purpose.

At present the company has been applying a correction maintenance and prevention sporadically because there is no defined schedule of maintenance to be done, indeed, in most cases it is expected to occur some action out of the ordinary to perform a checkup or maintenance taking following the respective damage or stop the machine.

The implemetation of the Reliability Centered Maintenance - RCM thecompany's assets in question allow continuous improvement of the key indicadres of performance through management strategies maintenance planning and scheduling to avoid emergency stops and increase the hours of production of each machine or equipment.

The philosophical basis methodology is as follows:

- Criticality Analysis Application of the assets of the Company: Through ISO 14224: Industries of oil and natural gas and also the data collection and exchange of reliability and maintenance of assets
- Application Modes and Effects Analysis FMEA Failure: Based on the procedure outlined in SAE JA 1012 for critical assets.
- Application of proper maintenance program for each of the assets, systems or components of the company, according to the analysis made by the FMEA.

INTRODUCCION

La presente Tesis contempla estudio e implementación a través de una propuesta metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) aplicado a los activos de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

Esta Tesis está dividido en cinco capítulos:

- Introducción
- Análisis situacional de la empresa
- Marco teórico mantenimiento centrado en la confiabilidad-RCM
- Metodología de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad-RCM
- Implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad-RCM.

El Primer Capítulo está relacionado con los objetivos, antecedentes, sustentación y por ultimo las limitaciones en el desarrollo del tema.

El Segundo Capítulo realizamos una evaluación situacional de la empresa, donde queremos implementar el mantenimiento basado en la confiabilidad, desde su tipo de empresa, organización, organigrama, tipo de producción y servicios, área de mantenimiento, marketing y otros de interés para el desarrollo del proyecto.

En el Tercer Capítulo nos centramos en todos los conocimientos relacionados del mantenimiento centrado en la confiabilidad; historia, marco conceptual, estrategias de mantenimiento que aplica, indicadores de evaluación, normas de procedimiento y por último su evaluación y retroalimentación.

El Cuarto y Quinto Capítulo según el orden planteamos un metodología de procedimiento de implementación paso por paso, para luego realizar la implementación a la empresa, donde podemos resaltar algunos puntos de gran interés en el desarrollo como en la primera fase determinar el grupo de trabajo, codificación de los activos, definición de sus funciones, análisis de modos de fallas y sus efectos-

AMFE, con una culminación final una plan de mantenimiento con sus respectivas estrategias de evaluación y retroalimentación, para luego culminar con sus conclusiones recomendaciones .



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La idea del mantenimiento está cambiando, los cambios son debidos a un aumento de mecanización, mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de las responsabilidades del mismo. El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas. Estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan. Frente a esta avalancha de cambios, el personal que dirige el mantenimiento está buscando un nuevo camino. Quiere evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora. Trata de encontrar un marco de trabajo estratégico que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, de forma que puedan evaluarlos racionalmente y aplicar aquellos que sean de mayor valía para ellos y sus compañías. Este trabajo introduce una filosofía que provee justamente ese esquema de trabajo. Se llama Reliability Centred Maintenance, o RCM (Mantenimiento Centrado en la confiabilidad). Si se aplica correctamente, RCM transforma la relación entre el personal involucrado, la planta en sí misma, y el personal que tiene que hacerla funcionar y mantenerla. También permite poner en funcionamiento nueva maquinaria a gran velocidad, seguridad y precisión.

RCM es una técnica dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta de manufactura y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazan la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

1.2. ANTECEDENTES

En la actualidad, la Empresa viene aplicando un mantenimiento correctivo, y un mantenimiento preventivo no adecuado sin los pasos correspondientes que sustenten técnicamente la operatividad de sus activos de acuerdo a sus requerimientos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, debido a una falta de cultura de ingeniería de mantenimiento adecuada, esto es debido como la mayoría de empresas de la región y del nuestro país se espera a que ocurra alguna falla repentina que paralice al equipo, para tomar decisiones de corrección inmediata, trayendo como consecuencia la reprogramación del personal de mantenimiento ó los servicios de terceros con la consecuencia de mayores costos.

Tomando en cuenta esto en conversaciones con la gerencia, donde me permito exponerle el proyecto, explicando las ventajas, beneficios me ha permitido realizar una implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad denominado cambio por sus siglas RCM.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) en la Planta de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C., con la finalidad de reducir costos y garantizar la disponibilidad de los activos con una alta confiabilidad dentro de su entorno operacional actual.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diagnosticar las condiciones actuales de la empresa en función del contexto operacional.
2. Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.
3. Realizar un análisis de criticidad a los equipos que conforman de la Empresa.
4. Analizar los Modos y Efectos de Fallas de los equipos críticos de la Planta.
5. Determinar el plan adecuado que permita el mantenimiento óptimo y garantizar una alta disponibilidad de la planta.

1.4 JUSTIFICACION

En toda empresa moderna cada vez más, la baja productividad de los activos ocasiona un gran impacto económico en el negocio por la baja confiabilidad, disponibilidad y la gran cantidad de fallas.

Esto, debido a la complejidad de los nuevos equipos y la falta de conocimiento de la existencia de diversos patrones de falla ante el cual el personal de mantenimiento no está familiarizado ni preparado para gestionar y mantener mediante un adecuado diseño del plan de mantenimiento integral, que asegure la mayor disponibilidad en función de la Mantenibilidad, con fiabilidad y logística empresarial de los equipos, a esto se le suma las fuertes pérdidas de producción y los elevadísimos costos de mantenimiento como resultado del mantenimiento correctivo que prima la gestión del mantenimiento.

Ante esta situación surge la necesidad de buscar nuevas alternativas de diseño de planes de mantenimiento, encontradas en este caso en la investigación de la Ingeniería de Confiabilidad mediante una de sus técnicas más robustas: El Reliability Centred Maintenance (RCM) o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, con el objetivo de Diseñar un Plan de Mantenimiento mediante la aplicación de diversas herramientas y la investigación de causas y modos de fallos, para seleccionar las estrategias de mantenimiento, elevando así la productividad y reduciendo costos por pérdidas de producción con una adecuada y pertinente toma de decisiones soportada en un análisis de factibilidad técnico-económico.

1.3 ALCANCES

La realización del presente proyecto, tiene como alcance mejorar el sistema de mantenimiento de las máquinas-herramienta de la Empresa.

Con la aplicación de las filosofías RCM y AMFE en base a las Normas: ISO 14224, SAE JA 1012.

1.5. LIMITACIONES

En el presente proyecto debemos mencionar algunos puntos limitantes a considerar en el presente desarrollo, por motivos ajenos a nuestro alcance como son:

- Solamente se aplicara a las mquinas o equipos criticos de acuerdo a una evaluación de análisis de criticidad.
- Los activos de maquinas herramientas recientemente adquiridos, que están entrando en poceso de producción y por una falta de un historial, la evaluacion se hara de acuerdo a los recientes informaciones dadas por los operadores.
- La carencia de una área de mantenimieinto para el apoyo de documentación y asesoramiento de información no permitira realizar una evalauciona detalle como se esta planificado.



CAPITULO II

ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA

2.1. EMPRESA

Es una empresa dedicada a la fabricación de dispositivos, componentes y piezas de recambio, tomadas desde la materia prima como el acero, bronce, aluminio, caucho, polietileno y otros materiales; y además brinda servicios de proyectos y mantenimiento de maquinas y equipos a las diferentes empresas del Pais y extranjeras como Chile , Ecuador..

Esta empresa que fue creada en el año de 1983, donde se inicio en la fabricación con sus propios moldes por medio de los procesos de maquinado con fresadoras, tornos, taladros y equipos CNC para un óptimo desarrollo de la planta.

La empresa, actualmente está compuesta por maquinaria de operación manual y automatizada. Dentro de la maquinaria automatizada cuenta con un torno y dos fresas CNC recién adquiridas, las cuales mecanizan las piezas siguiendo programas de software donde permite aumentar la productividad.

La situación de cada empresa varía entre unas y otras a pesar de poder estar en el mismo rubro de trabajo. Es por ello que para entender mejor la situación en la que se encuentra la empresa, realizamos un estudio de su situación en tres niveles. En el primero se analiza su situación geográfica y distribución interna de estas así como cuál es su política de mantenimiento que sigue, en el segundo nivel se observa la organización de la empresa y forma de producción seguida y finalmente, en el último nivel, se analizan las máquinas motivo del estudio de mantenimiento.

2.2. SITUACIÓN GENERAL

En este nivel analizamos la empresa desde un punto de vista general priorizando su ubicación y distribución que presenta.

2.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DISTRIBUCIÓN

Para una empresa, la ubicación geográfica es muy importante, ya que esta debe permitir tener acceso a los servicios básicos como son el agua, el fluido eléctrico, comunicación telefónica e internet, los cuales permiten el normal desarrollo y crecimiento de la empresa. La importancia de la ubicación, también contempla el acceso rápido de clientes y proveedores así como la facilidad de movilidad de vehículos, mercadería y máquinas.

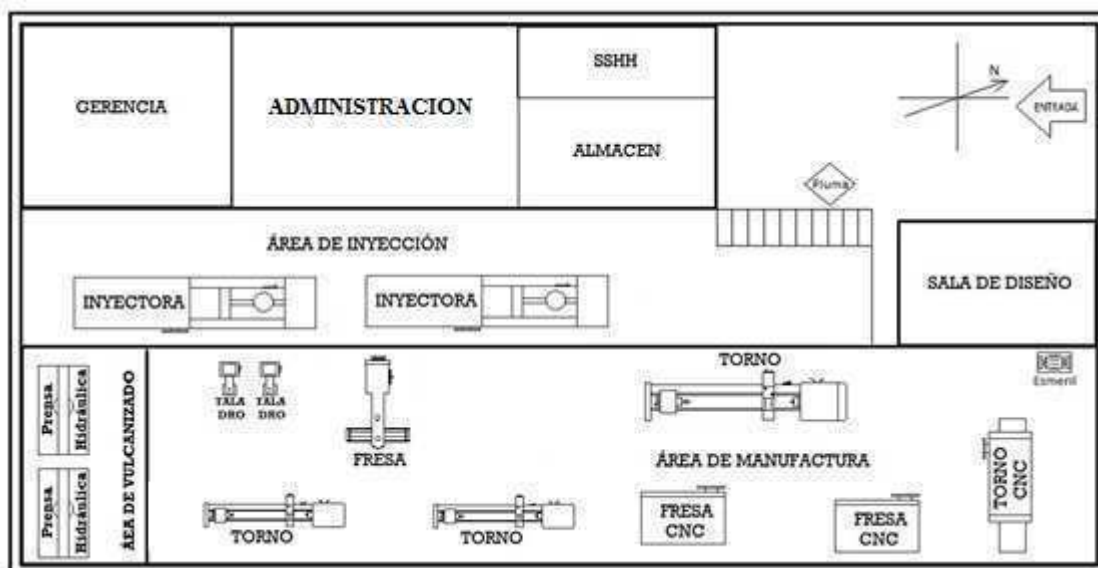
Actualmente la empresa está ubicada en Alto Libertad, distrito de Cerro Colorado de la ciudad de Arequipa. Esta localización resulta ser adecuada para la empresa ya que se encuentra aledaña a un nuevo polo de desarrollo ubicado en Pachacutec, lugar donde se encuentran localizadas a diversas empresas de servicios, empresas de venta de herramientas y repuestos así como de empresas comercializadoras de diversos materiales para la industria.

Otra ventaja de esta ubicación es el tener acceso cercano a dos vías importantes como son la variante de Uchumayo y la vía de Evitamiento las cuales permiten comunicación rápida con las salidas a Lima y Tacna, en el caso de la costa y Cuzco y Puno en el caso de la sierra.



Figura N°1: Ubicación Geográfica de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

El taller de la empresa se ubica en la planta inferior y cuenta con un área de producción de 170 m². Esta área ha sido distribuida en dos secciones, una de



manufactura, en la cual se encuentran ubicadas 14 máquinas herramientas incluidas las de inyección la cual cuenta con dos máquinas de inyección.

Figura N° 2: Distribución actual de las máquinas-herramientas en la planta de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

La Empresa no cuenta con adecuado plan estratégico de planificación y programación de gestión de mantenimiento. El mantenimiento realizado a sus máquinas herramientas es mayoritariamente de corrección, es decir que se espera a que se produzca la falla para recién intervenir la máquina-herramienta ocasionando retrasos en la producción con los respectivos problemas que ello acarrea. El mínimo mantenimiento preventivo que se aplica es realizado tentativamente sin un control o registro de este.

Finalmente no se da la debida importancia a la operatividad de las maquinas que se estuvo dando al mantenimiento nunca fue la adecuada, delegándolo generalmente a un segundo plano de importancia.

2.3. ORGANIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA

En este punto, analizamos la gestión que realiza Fagoma para alcanzar la producción de bienes y servicios que ofrece, prestando principal atención a sus procesos de manufactura.

El buen funcionamiento de una empresa depende de la organización que esta posea. Si esta organización es deficiente se presentarían continuamente problemas y conflictos innecesarios. Es por ello que resulta importante definir claramente las responsabilidades de los miembros de la empresa lo que permite un mejor control de los procesos.

Debemos tener presente que la estructura organizativa del trabajo influye directamente en la percepción que pueda tener un trabajador en su rendimiento profesional.

Una estructura organizativa muy vertical, con una larga cadena de mando y tramos de control corto no favorece el trabajo en equipo.

2.4. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

La expresión gráfica de la organización de una empresa son los organigramas. Estos sirven como fuente de consulta oficial ya que brinda información sobre división de funciones, niveles jerárquicos, líneas de autoridad y responsabilidad, relaciones de dependencia y de coordinación entre otros. Adicionalmente se emplean como instrumento de información para los miembros de la institución, ya que les permite ver la posición relativa que ocupan y la relación que tienen con el resto de la estructura.

La Figura N°3 muestra el organigrama funcional de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

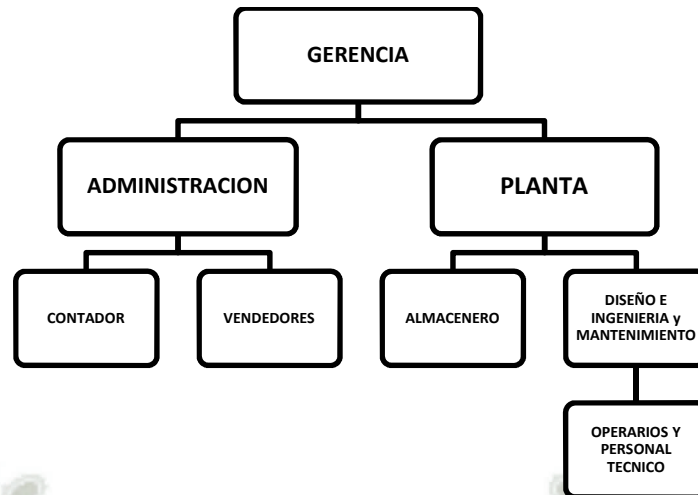


Figura N°3: Organigrama funcional de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.
Fuente: Elaboracion propia

2.5. VISIÓN, MISIÓN DE LA EMPRESA

Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C. tiene fijadas la misión, visión que sirven como guías fundamentales para el establecimiento de sus objetivos con el fin de elaborar planes estratégicos y tácticos para el logro de las metas trazadas.

VISIÓN:

Ser la empresa de producción líder en el sur del País, comprometida con el desarrollo de sus clientes, a la vanguardia en parámetros industriales y destacada por la excelencia de sus recursos humanos.

MISIÓN:

Creamos valor con nuestros clientes, mejorando la competitividad y productividad conjunta, a través de una base industrial y tecnológica de alta eficiencia y una red comercial global.

2.6. OBJETIVOS DE LA EMPRESA

- Garantizar el desarrollo sostenible de la empresa simultáneamente con la satisfacción del cliente.

- Suministrar productos de alta calidad, fortaleciendo la imagen existente en el mercado.
- Optimizar la disponibilidad de los recursos para los diferentes procesos.
- Mejorar continuamente nuestro sistema de gestión de calidad.

2.7. TAMAÑO DE LA EMPRESA

El tamaño de las empresas se hace en base al número de trabajadores, ingresos por ventas, el monto de la inversión el valor de los activos, etc.

Según la Ley de Promoción de la Competitividad, Formalización y Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa del Estado Peruano, el tamaño de las empresas está definido tal como lo muestra la Cuadro N°1.

Cuadro N°1: Clasificación de las Empresas según tamaño

TAMAÑO	CANTIDAD DE TRABAJADORES	VENTAS ANUALES UIT
Micro Empresa	1 a 10	Hasta 150
Pequeña Empresa	10 a 100	Hasta 1700
Mediana Empresa	100 a 200	Mayores a 1700
Gran Empresa	Más de 1701	

Fuente: LEY N°30056

El personal con el que cuenta la empresa en la actualidad se muestra en el Cuadro N°2.

Podemos observar que la empresa cuenta con 13 empleados fijos lo cual nos permite clasificarla como Pequeña Empresa ya que cae en el rango de 10 a 100 trabajadores según lo observado en la Cuadro N° 2.

Cuadro N°2: Personal de la Empresa.

FUNCIÓN	CANTIDAD
Gerencia	1
Administración	2
Logística	1
Operarios en gomas	2
Operarios de inyección	1
Operarios CNC	3
Ingeniería y diseño	2
Sistemas informáticos	1
TOTAL	13

Fuente: Elaboración propia

2.8. JORNADA DE TRABAJO DE LA EMPRESA

La Jornada de Trabajo es el tiempo al que se compromete un trabajador, a laborar al servicio de un empleador, dentro de una relación laboral.

La jornada de trabajo varía entre empresas, dependiendo esta de las necesidades de funcionamiento que presenta cada una de ellas. Las jornadas de trabajo pueden ser de un turno, de dos turnos y de tres turnos.

Es importante conocer la jornada de trabajo para conocer la disponibilidad que necesitamos de las máquinas. No es igual que se presente una falla en una máquina que se utiliza una jornada al día (8 horas) que si se utilizara 3 jornadas al día (24 horas), ya que en el primer caso la producción perdida puede ser recuperada alargando la jornada de trabajo en los días siguientes, minimizando las pérdidas, situación que no se puede aplicar en el segundo caso al no poder alargar la jornada laboral por lo cual la producción no se podrá recuperar tan fácilmente generándose un atraso en esta y por lo tanto un descontento del cliente

Es por ello que en este último caso, el mantenimiento aplicado debe ser más exhaustivo para asegurar la mayor disponibilidad de máquinas posible.

En el caso de empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C., la jornada de trabajo consiste en un solo turno de ocho horas diarias dividido en dos partes, el primero de 8:00 am a 1:00 pm y el segundo de 2:00 pm a 5:00 pm, durante seis días a la semana.

2.9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PRODUCCIÓN

La Empresa tiene una producción de piezas variadas las cuales son fabricadas con distintos materiales como metal, plásticos y cauchos según sean los requerimientos de los clientes.

De acuerdo a la cantidad de piezas solicitadas, se puede determinar el tiempo de maquinado para la fabricación de dicho lote.

Entre los principales materiales utilizados por la empresa para la fabricación de las piezas solicitadas en los diferentes rublos de proyectos, servicios de mantenimiento y y fabricacion de partes y otros tenemos:

Acero ASTM 36, Acero Inoxidable, Politileno, Nylon, Nitrilo, Caucho, Acetal, Bronce, Cobre, Aluminio y otros materiales complementarios.

2.10. PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA

La producción realizada en la Empresa es de una gran variedad de productos los cuales se producen por lotes. El tipo de pieza a producir y la magnitud del lote son determinados por la orden de trabajo otorgada por las empresas clientes.

Para la fabricación de los productos, la empresa cuenta con diversas máquinas como son principalmente los tornos, fresas, taladros, inyectoras y prensas hidráulicas siendo parte de ellas de control numérico computarizado y otras de manejo mecánico.

Esta producción puede definirse en tres procesos principales que serían:

- Maquinado
- Inyección
- Vulcanizado

El porcentaje mensual de producción de cada una de las áreas se puede apreciar en la Cuadro N° 3.

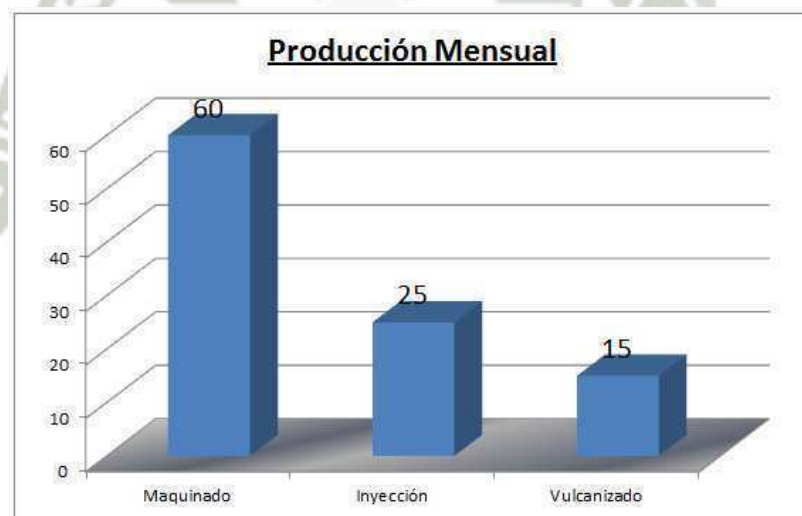
Cuadro N° 3: Porcentaje de producción mensual según proceso de la Empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

PROCESO UTILIZADO	PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN MENSUAL
Maquinado	60
Inyección	25
Vulcanizado	15

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°4, muestra estos resultados en forma gráfica.

Figura N° 4: Distribución de la Producción Mensual



Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la Figura N°4, los procesos que más producen son el maquinado y la inyección los cuales representan un 85% de la producción mensual de la empresa. Para lo que es el maquinado, la empresa cuenta con ocho máquinas herramientas y para la inyección se cuentan con dos máquinas inyectoras.

Las Figura N° 5, y 6, presentan los diagramas de flujo de los procesos de producción más importantes para la empresa, es decir el mecanizado y la inyección los cuales

representan el 60% y el 25% de la producción mensual respectivamente.

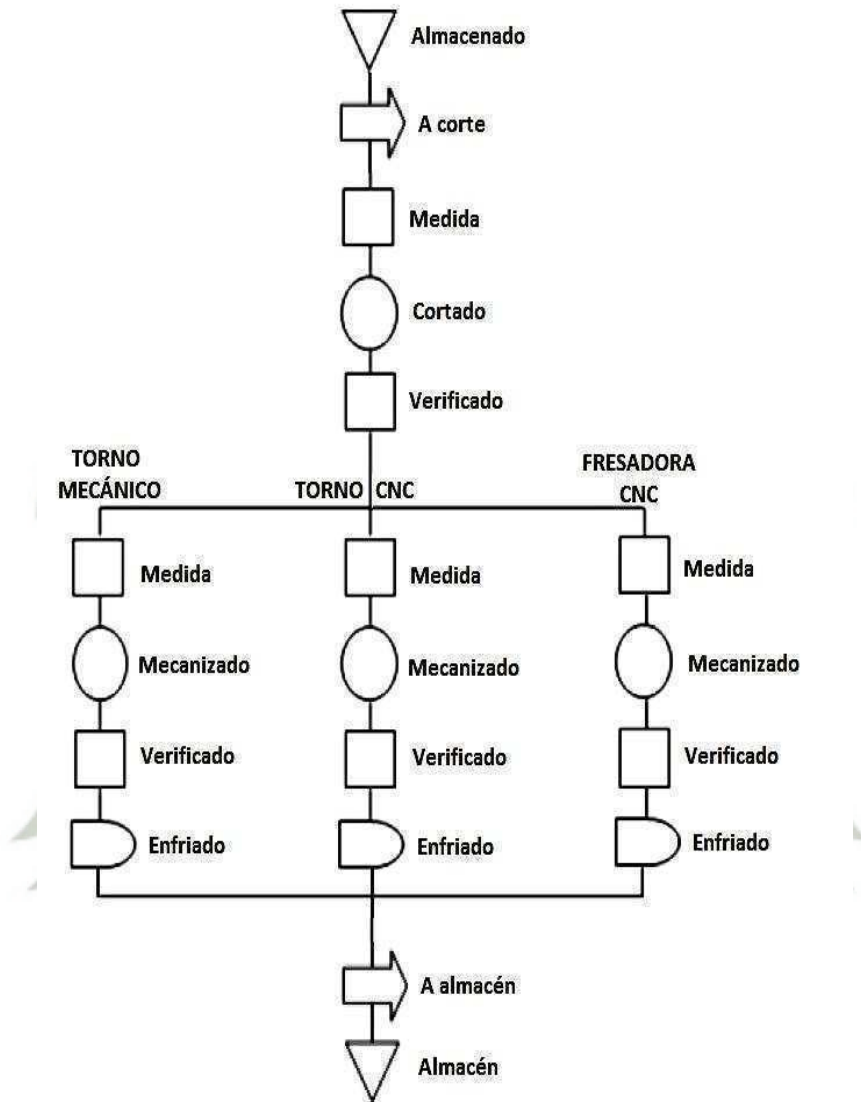


Figura N° 5: Diagrama de Flujo del Mecanizado.

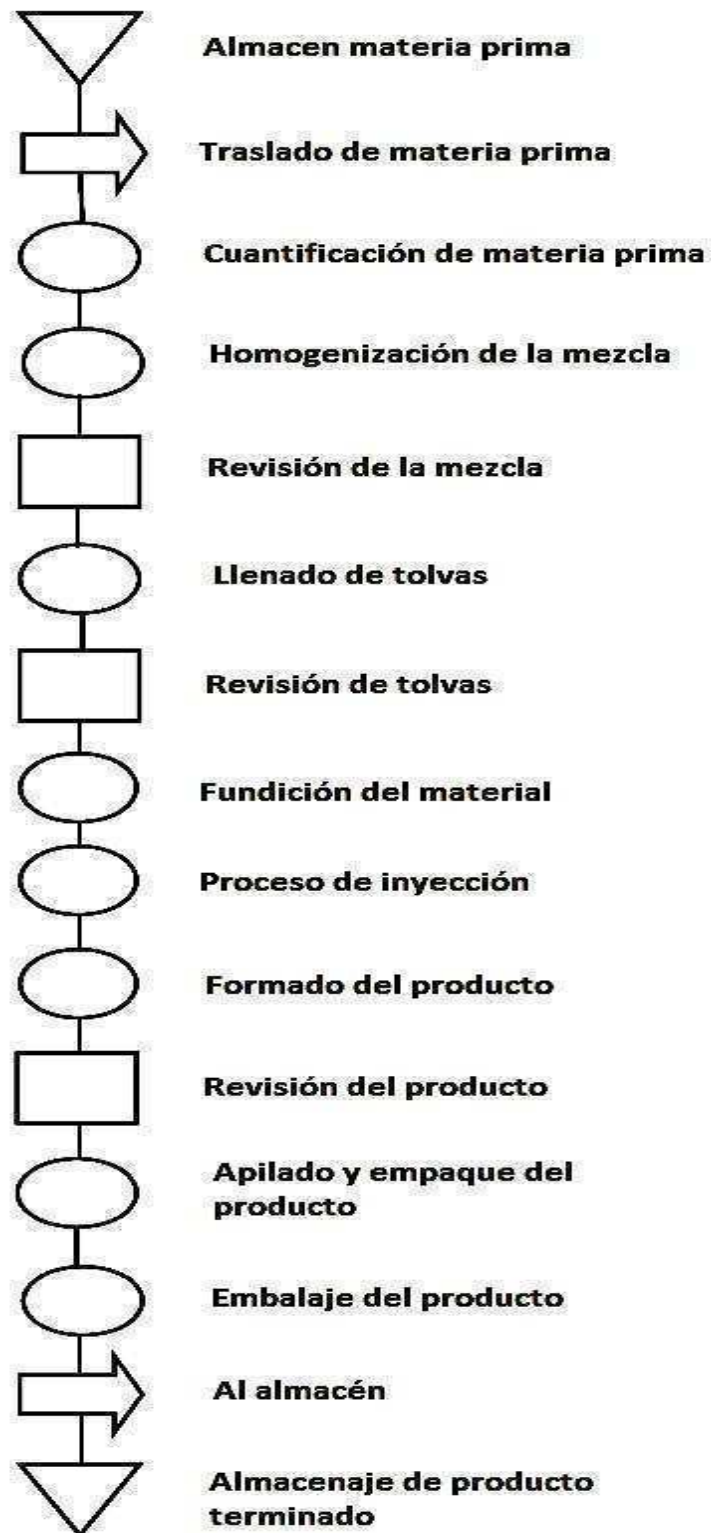


Figura N° 6: Diagrama de flujo de la inyección.

CAPITULO III

MARCO TEORICO MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD-RCM

3.1 CONCEPTO

La idea del mantenimiento está cambiando. Los cambios son debidos a un aumento de mecanización, mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de las responsabilidades del mismo. El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas. Estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan. Frente a esta avalancha de cambios, el personal que dirige el mantenimiento está buscando un nuevo camino. Quiere evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora. Trata de encontrar un marco de trabajo estratégico que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, de forma que puedan evaluarlos racionalmente y aplicar aquellos que sean de mayor valía para ellos y sus compañías. Este trabajo introduce una filosofía que provee justamente ese esquema de trabajo. Se llama Reliability Centred Maintenance, o RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad). Si se aplica correctamente, RCM transforma la relación entre el personal involucrado, la planta en sí misma, y el personal que tiene que hacerla funcionar y mantenerla. También permite poner en funcionamiento nueva maquinaria a gran velocidad, seguridad y precisión.

RCM es una técnica dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaba la rentabilidad de las compañías aéreas.

Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

3.2 HISTORIA Y ANTECEDENTES DEL RCM

Actualmente es ampliamente aceptado que la aviación comercial es la forma más segura para viajar. Al presente, las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues. Al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estarían oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, conectada con el auge de los viajes aéreos, significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. En esos días, “mantenimiento” significaba una cosa: reparaciones periódicas. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que gastaran y así prevenir fallas. Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones: después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban. La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es la historia del RCM. El RCM es uno de los procesos desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo. El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance” / “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dio nombre

al proceso. Este libro fue la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG-1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y el documento presentado en 1970 para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA).(Moubray,2009, p.10).

En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, Documento Para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial. Tal como se menciona anteriormente en 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de falla en los componentes de aviones cambiando todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.(Moubray, 2000, p.15)

A continuación se muestra cómo el punto de vista acerca de las fallas en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen tienen más posibilidades de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la “curva de la bañera”. Sin embargo se revela que en la práctica actual no sólo ocurre un modelo de falla sino seis diferentes.

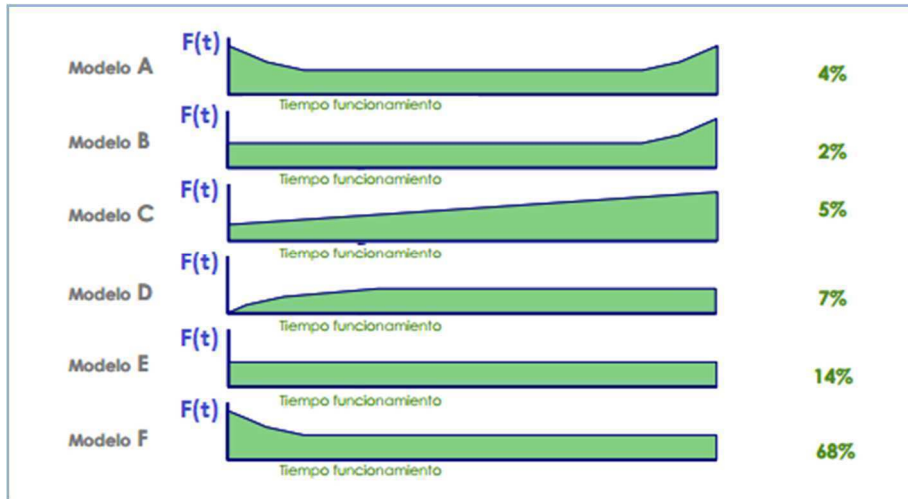


Figura N°7: Patrones de Fallas para Aviones en la Curva de la Bañera

Fuente: Santiago.2003

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complicados de lo que eran hace algunos años. Esto ha llevado a cambios sorprendentes en los modelos de las fallas de los equipos, como se muestra en la Figura N°7. Las consecuencias de las fallas y sus efectos en el resto del sistema, la planta y el entorno operativo en el cual ocurre. Las investigaciones sobre los modos de falla revelan que la mayoría de las fallas de los sistemas complejos formados por componentes mecánicos, eléctricos e hidráulicos fallarán en alguna forma fortuita y no son predecibles con algún grado de confianza.

Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad operacional. Fue esta creencia la que llevó a la idea de que cuanto más a menudo se revisaba una pieza, menor era la probabilidad de falla. Hoy en día, esto es raramente la verdad. A no ser que haya un modo de falla dominante, los límites de edad no hacen nada o muy poco para mejorar la confiabilidad de un equipo complejo. De hecho las revisiones programadas pueden aumentar las frecuencias de las fallas en general por medio de la introducción de la mortalidad infantil dentro de sistemas que de otra forma serían estables. (Santiago, 2003, p.105)

3.3. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos

de mantenimiento, y además de una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento responde a las expectativas de cambio, que incluyen una toma de conciencia para evaluar hasta que punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; relación entre mantenimiento y la calidad del producto y de poder alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener costos bajos.

Estos cambios están llevando a un cambio de aptitudes y habilidades en todas las ramas de la industria, ya que el personal de mantenimiento se ve obligado a pensar de una manera completamente nueva, pues deben actuar como ingenieros y como gerentes.

Frente a estos cambios los gerentes están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento, que eviten arranques fallidos y proyectos sin concluir; buscan un cambio en la estructura estratégica que resuma los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga a las necesidades de la compañía. (Moubray, 2009, p. 125).

Desde la década del año 30 se puede ver la evolución del cambio del mantenimiento a través de cuatro generaciones vistas en el Figura N°8.

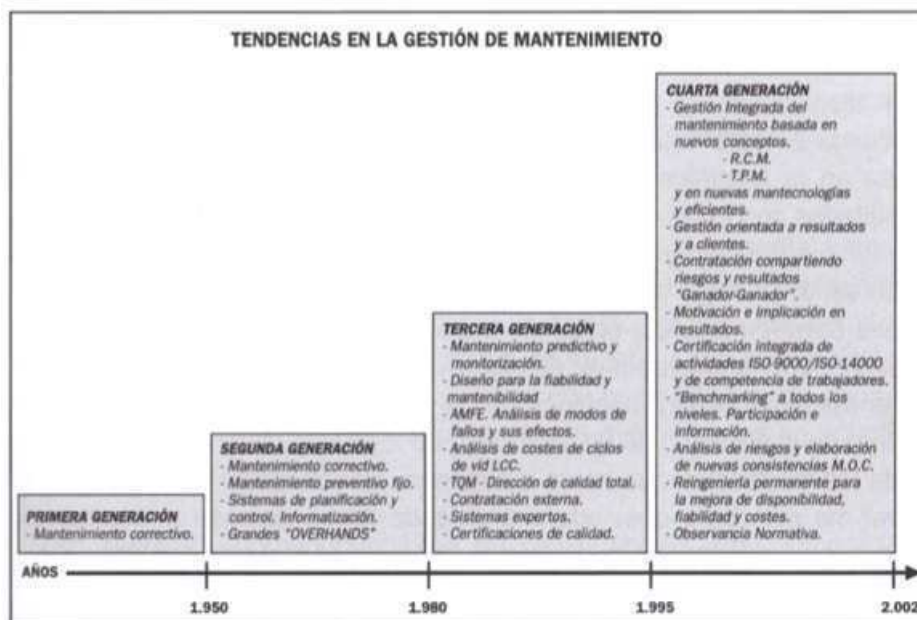


Figura N°8: Las Cuatro Tendencias en la Gestión de Ingeniería Mantenimiento
Fuente: Santiago.2008

El mantenimiento centrado en fiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves.

Durante ese análisis de fallos debemos contestar a siete preguntas básicas de RCM:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (**Funciones**).
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas necesidades? (**Fallas funcionales**)
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (**Modos de falla**)
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (**Efectos de falla**)
5. ¿En qué sentido es importante la falla? (**Consecuencias de falla**)
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla? (**Tareas proactivas**)
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (**Tarea de búsqueda de fallas, rediseño**). (Moubray, 2009,p35)

3.4. DEFINICIONES DEL RCM

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un aspecto clave de la metodología RCM es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño).

- La capacidad inherente (de diseño) y la confiabilidad inherente (de diseño) limita las funciones de cada activo.
- El mantenimiento, la confiabilidad operacional y la capacidad del activo no pueden aumentar más allá de su nivel inherente (de diseño).

- El mantenimiento sólo puede lograr mejorar el funcionamiento de un activo cuando el estándar de ejecución esperado de una determinada función del activo está dentro de los límites de la capacidad de diseño o de la confiabilidad de diseño del mismo.

Anthony Smith, define el RCM como:

“Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”.

Norma SAE JA-1011:

“MCC es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado”.

John Moubray, autor del libro RCM2 (1991):

“Es un método empleado para determinar las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto de operación. Entendiéndose por mantenimiento (UNE-EN13306:2002) la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida del elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollarse la función requerida”.

Alberto Parra (1996):

“Un proceso de gestión del mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarían los modos de falla de de estos activos, a la seguridad, el ambiente y a las operaciones”.

Los componentes del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad según la Figura N°9.



Figura N°9: Componentes de un Programa RCM

Fuente: Cordova.2003

3.5. DESARROLLO DEL RCM

Para un correcto entendimiento del mantenimiento RCM vamos primeramente a identificar unos conceptos básicos con los cuales se van a trabajar en el resto del trabajo.

3.5.1. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS

El análisis de modos de fallas y efectos es la herramienta principal del RCM para optimizar la gestión de mantenimiento en una organización determinada ya que ayuda a responder las primeras cinco preguntas básicas del RCM. AMFE es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. A partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM a los distintos activos en su contexto operacional, se obtiene la información necesaria para prevenir las consecuencias y los efectos de los posibles fallos a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento. Estas actividades se eligen de forma que actúen sobre cada modo de fallos y sus posibles consecuencias.

El objetivo básico de AMFE es encontrar todas las formas y modos en los que puede falla un activo dentro de un proceso, e identificar consecuencias de los fallos en función de tres criterios básicos en el RCM: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción. (Parra, 2012, p.145).

Para cumplir este objetivo, lo grupo de trabajo deben realizar el AMFE siguiendo la siguiente secuencia:

- Definir las funciones de los activos y sus respectivos estándares de operación/ejecución.
- Definir los fallos funcionales asociados a cada función del activo.
- Definir los modos de fallos asociados a cada fallo funcional.
- Establecer los efectos y consecuencias asociados a cada modo de fallo.

3.5.1.1. FUNCIONES

Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar que debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por eso el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto a los parámetros de funcionamiento deseado. Lo que los usuarios esperan que sean realizados por los activos puede ser dividido en dos categorías:

- **Funciones primarias:** Que resumen el porqué de la adquisición del activo en primera instancia. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de carga o almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.
- **Funciones secundarias:** Que indican que se espera de cada activo que haga más de allá de simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regularizaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo. Entre algunas funciones secundarias podemos encontrar:

- **Contención:** La mayoría de los cativos cuyas funciones primarias son la transferencia de material, especialmente si es un fluido tienen que a su vez contenerlo.
- **Soporte:** Algunos activos tienen una función secundaria estructural de soporte.
- **Apariencia:** La apariencia de algunos activos envuelve funciones específicas. Por ejemplo la función primaria de la pintura de los equipos industriales es proteger frente a la corrosión, por otro lado una pintura de color brillante puede ser usada para mejorar la visibilidad del mismo por razones de seguridad.
- **Higiene y salud:** Los activos deben ser capaces de operar de forma segura y limpia.
- **Funciones de Protección:** Existen equipos que tienen como misión proteger en primera instancia a las personas de los posibles efectos de los fallos y posteriormente proteger a los activos.
- **Funciones de Control:** El patrón de funcionamiento de los equipos de control consiste en tomar mediciones con dispositivos especiales, que se encargan de captar varias señales de temperatura, presión, flujo, etc., las cuales serán traducidas en valores específicos y comparadas con rangos normales de operación permitiendo de esta forma controlar y vigilar el buen funcionamiento de los distintos procesos.
- **Funciones Subsidiarias:** Son funciones realizadas en el proceso principal por equipos especiales adecuados a procesos específicos que no están relacionados directamente con el producto final del proceso principal. (Tovar, 2003, p. 175).

Para poder identificar claramente cuando un activo no está cumpliendo sus funciones de manera eficiente es necesario que el grupo de trabajo defina de forma precisa los estándares de ejecución asociados a cada función de los activos a analizar con respecto al contexto operacional. La metodología RCM define un estándar de ejecución como el parámetro que permite especificar, cuantificar y evaluar de forma clara la función de un activo. Cada activo puede tener más de un estándar de ejecución en su contexto operacional. Los estándares de ejecución están normalmente relacionados con las salidas de cada función del sistema, es decir, con el desempeño de la función esperada del sistema. Sin embargo existen otros estándares de ejecución tales como

la calidad del producto, seguridad, eficiencia energética, medio ambiente y otros.

Respecto al andar de calidad del producto, consiste en lograr de forma factorial productos que cumplan los estándares de calidad exigidos. Esto depende fundamentalmente de la capacidad de los activos con lo que se obtiene de estos productos.

Los estándares ambientales, con penalizaciones por incumplimiento cada vez más fuertes y estrictas, obligan a las personas responsables del desarrollo de planes de mantenimiento a conocer con precisión las consecuencias que puede ocasionar un fallo en el ambiente.

A continuación se presenta un ejemplo básico de definición de funciones principales, secundarias y sus respectivos estándares de ejecución:

ACTIVO: BOMBA CENTRIFUGA MODELO B101

- **Función principal:**

Transferir agua del tanque a la piscina a 800 litros por minuto (+/- 100 litros por minuto), a una presión de 45 psig (+/- 5 psig) y a una temperatura promedio de 28 grados centígrados (+/- 2 grados centígrados).

- **Funciones secundarias:**

- ✓ Controlar el caudal de agua entre el rango de 750 y 850 litros por minuto.
- ✓ Parar la bomba cuando el caudal cae por debajo de 650 litros por minuto.
- ✓ Parar la bomba cuando la temperatura llega a 32 grados centígrados.

Los usuarios de los activos generales están por lejos en la mejor posición para saber exactamente que contribuciones físicas y financieras el activo hace para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo.

Si es hecho correctamente, este paso solo toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis del RCM completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable (muchas veces acerca de cómo realmente

funciona el equipo).(Moubray,2009,p.187).

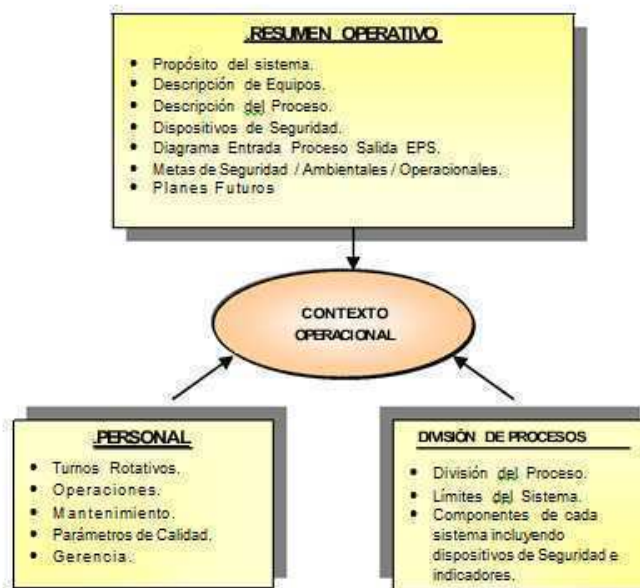


Figura N°10: Desarrollo del Contexto Operacional
Fuente: Cordova.2003

3.5.1.2. FALLAS FUNCIONALES

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñar conforme a los parámetros requeridos por su usuario es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al aplicar un abordaje apropiado en el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de una falla, necesitamos identificar que fallas pueden ocurrir.

El proceso RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identificas las circunstancias que llevan a la falla.
- Luego se preguntan que eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo de RCM, los estados de fallas son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, está definido abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Pero estas solo pueden claramente identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Una falla funcional se define como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña. El nivel de insatisfacción producido por causa de la falla funcional dependerá de las consecuencias que pueda generar la aparición de dicha falla dentro del contexto operacional. Las diferentes fallas funcionales pueden incidir sobre una función de forma parcial o total. La pérdida total de la función ocurre cuando un activo no puede alcanzar el estándar de ejecución esperado, es decir, cuando opera de forma ineficiente o fuera de los límites específicos tolerados.

La definición precisa de una falla funcional para un activo depende del contexto operacional del mismo, por lo que activos idéntico puede sufrir diferentes fallos funcionales si el contexto operacional es diferente. (Parra, 2012, p. 195).

A continuación se presenta un ejemplo básico de definición de fallos funcionales:

- **Función principal:**

- ✓ Transferir agua del tanque a la piscina a 800 litros por minuto (+/- 100 litros por minuto), a una presión de 45 psig (+/- 5 psig) y a una temperatura promedio de 28 grados centígrados (+/- 2 grados centígrados).

- **Fallas funcionales (totales o parciales):**

- ✓ No ser capaz de transferir nada de agua (falla funcional total).
- ✓ Transferir agua a menos de 700 litros por minuto (falla funcional parcial).
- ✓ Transferir agua a más de 800 litros por minuto (falla funcional parcial).
- ✓ Transferir agua a una presión menor de 40 psig (falla funcional parcial).

3.5.1.3. MODOS DE FALLA

Una vez que se ha identificado la falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de fallas. Los modos de fallas posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto. También incluyen fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aun no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de falla en los equipos puedan ser identificadas y resultan adecuadamente, esta lista debe incluir fallas causada por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentado tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado, es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiados en los detalles.

El nivel al cual se gestiona el mantenimiento de un activo se relación a con el nivel al cual se identifica el modo de fallo. Muchas veces el nivel al cual se identifica el modo de falla no corresponderá al nivel de detalle seleccionado para analizar el activo y su funciones, por lo cual, para poder desarrollar un sistema de gestión de mantenimiento de un determinado grupo de activos en un contexto operacional, es necesario identificar el nivel al cual se producirán los distintos modos de fallos asociados a las funciones de un activo en si actual contexto operacional.(Tovar,2003,p.210).

En el proceso de análisis de modos de fallos, el grupo de trabajo buscara información consultando:

- Listas genéricas de modos de fallas
- Personal de operación y/o mantenimiento que haya tenía una larga asociación con el activo.
- Registros e historiales técnicos existentes en el archivo.
- Otros usuarios del mismo activo.

Para entender el proceso de definición de modos de fallas, a continuación se presenta el siguiente ejemplo básico:

- **Función principal:**

- ✓ Transferir agua del tanque a la piscina a 800 litros por minuto (+/- 100 litros por minuto), a una presión de 45 psig (+/- 5 psig) y a una temperatura promedio de 28 dragos centígrados (+/- 2 grados centígrados).

- **Fallas funcionales (totales o parciales):**

- ✓ No ser capaz de transferir nada de agua (falla funcional total).
- ✓ Transferir agua a menos de 700 litros por minuto (falla funcional parcial).

- **Modos de falla(No ser capaz de transferir agua):**

- ✓ Motor electico quemado (nivel de detalle: equipo).
- ✓ Eje del motor fracturado (nivel de detalle: parte).
- ✓ Impulsor atrancado por entrada de objeto extraño (nivel de detalle: parte).
- ✓ Línea de succión totalmente bloqueada (nivel de detalle: parte).

- **Modos de falla(Transferir menos de 700 litros de agua):**

- ✓ Línea de succión con roturas parciales (nivel de detalle: parte).
- ✓ Sello desgastado (nivel de detalle: parte).
- ✓ Impulsor desgastado (nivel de detalle: parte).

3.5.1.4. EFECTOS DE FALLAS

En este paso en el proceso de RCM consiste en hacer un listado de los efectos de fallas, que describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria y sirve para apoyar la evaluación de las consecuencias de las fallas, tal como:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.

Una definición de efecto de falla debe describir si hay alguna evidencia de que el modo de falla en consideración ha ocurrido. Si es así, la misma debe describir que forma toma esta evidencia. Por ejemplo, debe mencionar si el comportamiento del equipo cambia notablemente como resultado del modo de falla (luces de alarma, cambio en los niveles de ruido y velocidad, etc.). También debe 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.

- De que modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si es que la representa).

Si hay una posibilidad 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. Una lista seleccionada de ejemplos incluye:

- a. Incremento del riesgo de fuego o explosión.
 - b. El escape de químicos peligrosos.
 - c. Electrocutación.
 - d. Accidentes vehiculares, descarrilamientos.
 - e. Ingreso de suciedad en productos alimenticios o farmacéuticos.
 - f. Exposición a bordes afilados o maquinaria en movimiento.
- De que manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).

Efecto en la producción o en las operaciones: Las descripciones de los efectos de falla deberían indicar como se afecta la producción o las operaciones (si son afectadas), y por cuanto tiempo. Se deben considerar los siguientes puntos:

- a. Tiempo fuera de servicio: cuanto tiempo el activo podría estar fuera de servicio debido a ese modo de falla, desde el momento que falla hasta el momento que entra de nuevo completamente en operación. Para asegurar que el programa de manejo de fallas es razonablemente conservador (pero no demasiado conservador), se debe asumir que el modo de falla ocurre en una situación del

“peor caso típico”, por ejemplo, tarde en la noche en una fábrica, o si un equipo móvil está en una localidad más remota de lo usual.

- b. Velocidad de operación: Si el equipo ha bajado su velocidad como resultado del modo de falla, y si es así, que tanto la ha bajado.
 - c. Calidad: Si el modo de falla afecta la calidad para la cual está configurada la función, tales como la guía de precisión o los sistemas de control, los parámetros de calidad del producto, e inclusive los asuntos de servicio al consumidor (operación a tiempo, etc.). La definición de efecto de falla debe indicar también si el modo de falla incrementa los desechos o los trozos de desperdicios, causa un aborto de la misión, o incurre en penalidades financieras contractuales significativas.
 - d. Otros sistemas: Si otro equipo o proceso se ha detenido, bajado su velocidad, o está afectado de cualquier otra manera por el modo de falla.
 - e. Costos de operación globales: Si el modo de falla causa cualquier otro incremento en los costos operacionales, tales como incremento del consumo de energía o desgaste excesivo de los materiales del proceso.
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.

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.

- Que debe hacerse para reparar la falla.

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.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modo de falla y efectos de falla trae asombrosos y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el desempeño y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio. (Santiago, 2008, p.222).

3.5.1.5. CONSECUENCIAS DE FALLAS

El impacto del modo de falla en la organización depende del contexto operacional donde trabaje el activo del estándar de ejecución deseado para la función del activo y de las consecuencias físicas generadas tras la aparición del modo de falla. La combinación de estos 3 factores hace que cada modo de falla tenga una forma característica de impactar en la seguridad, en el ambiente y en las operaciones. El RCM clasifica los modos de fallas en los siguientes:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. Por ejemplo los equipos de reserva, de control o de seguridad. La aparición de estos modos de falla no serán evidentes dentro del desarrollo normal de las operaciones de un determinado sistema, en el caso de que estas fallas ocurran por si solas. . Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede herir o matar alguna persona. Tienen consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional. RCM considera las repercusiones que cada modo de falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Esto, sin duda alguna, pone a las personas por encima de la problemática de la producción
- **Consecuencias operacionales:** Si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales) además del costo directo de la reparación. Estas surgen a partir de funciones evidentes de los activos cuyos fallos funcionales afectaran de forma importante la producción.
- **Consecuencias no operacionales:** Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, solo se relacionan con el costo directo de la reparación. Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de predecirlas o prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la

pena hacer cualquier tipo de mantenimiento predictivo o preventivo que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.(Moubray,2009,p.267).

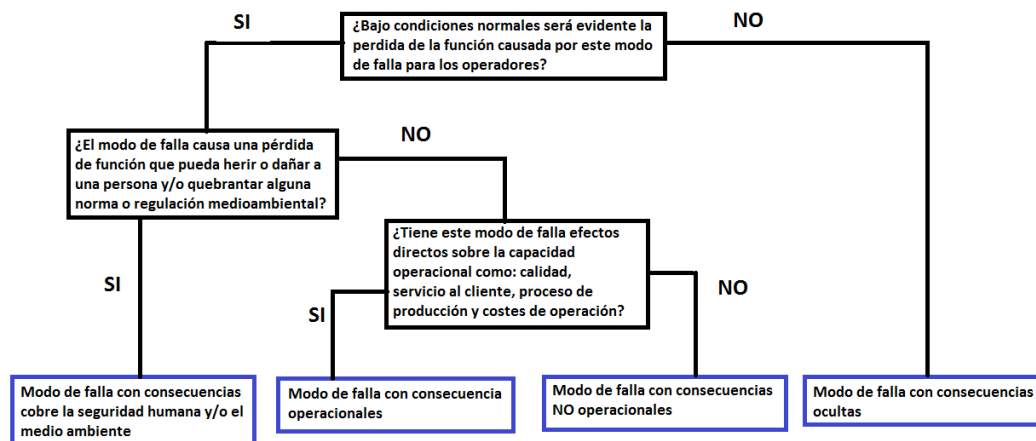


Figura N°11: Diagrama para determinar consecuencias de modos de falla

Fuente: Moubray.2009.

Son estas consecuencias las que fuertemente influyen en el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si tiene consecuencias leves o no las tiene, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básicas.

Luego veremos como el proceso de RCM hace uso de estas categorías como la base de su marco de trabajo estratégico para la toma de decisiones en el mantenimiento. Al establecer una revisión obligada de la consecuencia de cada modo de falla en relación a las categorías ya mencionadas, integras a los objetivos operacionales, ambientales y de seguridad de la función de mantenimiento. Esto contribuye a incorporar a la seguridad y al medio ambiente en la corriente principal de gestión del mantenimiento.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y – ser prevenida. De esta manera localiza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño sobre la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escasos

efectos también nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenirlas. Las técnicas de manejo de falla se dividen en dos categorías.

- Tareas proactivas: estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarca lo que se conoce tradicionalmente como el mantenimiento “predictivo” o “preventivo”, aunque veremos luego que RCM utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.
- Acciones a falta de: estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva afectiva. Las acciones “a falta de” incluyen búsqueda de falla, rediseñar y mantenimiento a rotura (correctivo).

3.5.2. ARBOL LOGICO DE DECISION DEL RCM

Una vez realizado el AMFE, el equipo natural de trabajo, deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión del RCM (herramienta diseñada por el RCM, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para evitar los posibles efectos de cada modo de falla). Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del RCM es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, el ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de falla. El equipo de trabajo debe de identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol lógico del RCM. Tras seleccionar el tipo de actividad adecuada, se procede a especificar la acción de mantenimiento concreta a ejecutar y la frecuencia de ejecución de la misma. Mubray.2000.(Moubray,2009,p.335).

El RCM clasifica las actividades de mantenimiento en dos grandes grupos: las actividades preventivas (proactivas) y las actividades correctivas, estas últimas, se ejecutaran solo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento tiene su respectivo tipo de tareas de mantenimiento, las cuales se detallan a continuación en la Figura N°12.

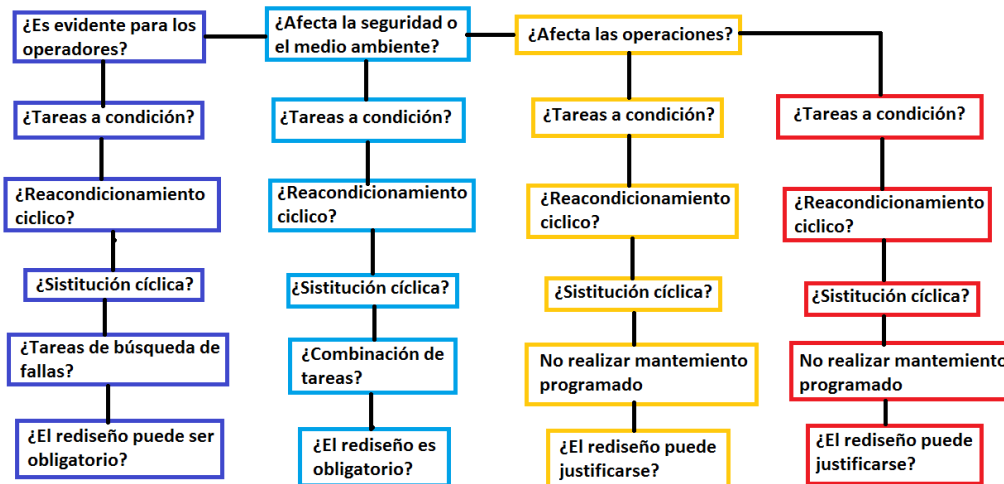


Figura N°12: Lógica de la selección de estrategias de Mantenimiento RCM

Fuente: Moubray.2009

3.5.2.1. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PROACTIVAS

Para la metodología RCM, las actividades de mantenimiento preventivas se dividen en 4 categorías:

- **Tareas programadas en base a condición:** Actividades programadas en base condición, se basa el hecho de que la mayoría de los modos de falla no ocurren instantáneamente, sino que desarrollan progresivamente en un período de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modo de fallo puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base la condición del activo, que ayuden a prevenir los modos de falla eliminar sus consecuencias. El momento en el proceso en el cual es posible detectar fallos está ocurriendo o está a punto de ocurrir es conocida como falla potencial y se define como una condición física identificable que indica que el fallo funcional a punto de ocurrir o ya está ocurriendo dentro del proceso donde se indica el la Figura N°13. Entre los ejemplos más comunes de fallas potenciales tenemos: lectura de vibración que indiquen inminentes fallos en los cojinetes, grietas existentes en metales fatigados, partículas en el aceite de una caja de engranajes indica inminentes fallos en los dientes de los engranajes, puntos calientes indican deterioro en el material refractario del hogar de una caldera. (Parra,2012,p.335).

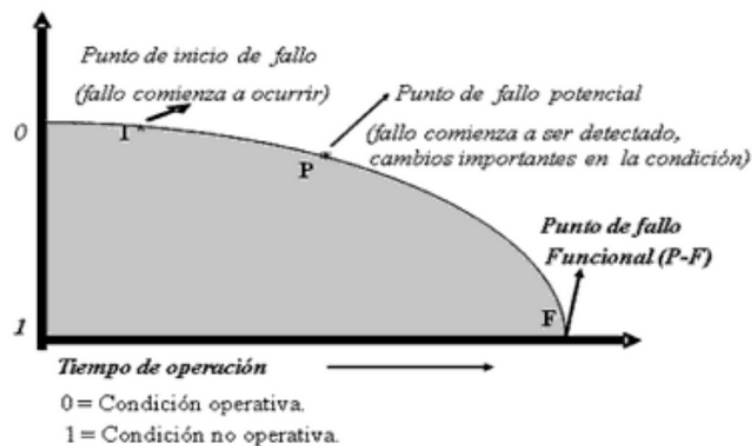


Figura N°13: Curva de comportamiento de fallos potenciales

Fuente: Moubray.2009

El comportamiento en tiempo de gran parte de los distintos tipos de modos de falla cuya evidencia por condición puede monitorearse, se presenta en la curva. En esta figura, se muestra como una falla comienza a ocurrir (punto de inicio "I", muchas veces este punto no puede ser detectado), incrementando su deterioro (condición a medir) hasta el punto cual en el fallo puede ser detectado (punto de falla potencial "P"). Si en este punto el fallo no puede ser corregido, continúa aumentando su deterioro (usualmente de forma acelerada) hasta que alcanza el punto donde se produce el fallo funcional (punto "F", el activo ha dejado de cumplir su función).

- **Tareas de Reacondicionamiento:** Actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo a su condición original, es decir, actividades de prevención realizadas a los activos en un intervalo de frecuencia menor al límite vida operativo del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo. En este tipo de actividades, el activo es puesto fuera de servicio, se realiza una inspección general y se reemplazan, en caso de ser necesario, las piezas defectuosas. Las tareas de restauración programadas son conocidas como overhauls y su aplicación más común en equipos mayores: compresores, turbinas, calderas, etc.
- **Tareas de Sustitución-Reemplazo Programado:** Este tipo de actividad está orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo a un intervalo temporal inferior al de su vida útil (antes de que se produzca la falla). Las actividades de reemplazo devolverán la condición original al componente de un equipo mayor, además de que un overhaul no implica una

sustitución de piezas viejas sino que puede limitarse a acciones de limpieza, reparación o inspección.(Parra, 2012,p.365).

- **Tareas de Búsqueda de Fallos Ocultos:** Los modos de fallos ocultos no son evidentes bajo condiciones normales de operación, por lo que este tipo de fallos no tienen consecuencias directas, pero estas consecuencias pueden propiciar la aparición de fallos múltiples dentro de un contexto operacional. Uno de los caminos que puede ayudar a minimizar los efectos de un fallo múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallos oculto, chequeando periódicamente si la función oculta está trabajando correctamente.

Tipos de tareas de mantenimiento	Modelos de mantenimiento a los que se puede aplicar ese tipo de tarea			
	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
1. Inspecciones visuales	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
2. Tareas de lubricación	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
3. Verificaciones <i>on-line</i>	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
4. Verificaciones <i>off-line</i> : — Verificaciones sencillas • Mediciones de temperatura • Mediciones de vibración (con vibrómetro) • Mediciones de consumo de corriente • Etc. — Verificaciones con instrumentos complejos • Análisis de vibraciones (con analizador) • Termografías • Detección de fugas por ultrasonidos • Análisis de la curva de arranque de motores • Comprobaciones de alineación por láser • Etc.		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
5. Limpiezas según condición		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
6. Ajustes condicionales		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
7. Limpiezas sistemáticas			Sistemático	Alta Dispon.
8. Ajustes sistemáticos			Sistemático	Alta Dispon.
9. Sustitución sistemática de piezas			Sistemático	Alta Dispon.
10. Grandes revisiones (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)				Alta Dispon.

Figura N°14: Ejemplo tareas preventivas.
Fuente: Santiago.2003

3.5.2.2. ACTIVIDADES REACTIVAS

Cuando las actividades de prevención para un determinado modo de falla, no son técnicamente factibles, o no son efectivas, el método RCM propone que se evalúen posibles acciones de mantenimiento reactivo. Para la metodología de RCM, las actividades de mantenimiento correctivas se dividen en 2 grupos:

- **Rediseño:** En el caso de no conseguir ningún tipo de actividad preventiva que ayude a reducir la posibilidad de ocurrencia de los modos de fallas que afecten a la seguridad o al ambiente a un nivel aceptable, es necesario desarrollar un rediseño o una modificación (de la estrategia de mantenimiento o del modo de falla), que permita minimizar o eliminar las consecuencias de esos modos de falla. Cuando las consecuencias de modo de falla son de carácter operacional o no operacional; y no se logra conseguir una actividad de mantenimiento preventivo que sea efectiva, la opción de seleccionar una estrategia de rediseño, se convierte en un proceso de justificación económica.
- **Actividades de Mantenimiento No Programado:** En el caso de no conseguir actividades de prevención económicamente más baratas que los posibles efectos derivados de los modos de falla con consecuencias operacionales o no operacionales, se podrá tomar la decisión de esperar que ocurra el fallo y actuar de forma reactiva (esperar que ocurra el fallo).

Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo merece la pena realizar una tarea preventiva si el coste total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el coste de las consecuencias operacionales y el coste de la reparación durante el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe justificarse en el terreno económico. Si no es justificable, la decisión "a falta de" será el "ningún mantenimiento preventivo programado" (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales no son aceptables todavía, entonces la decisión "a falta de" secundaria sería rediseñar de nuevo).

De forma similar, si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo merece la pena realizar la tarea preventiva si el coste de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período. Por lo tanto estas tareas deben ser justificables en el terreno económico. Si no son justificables, la decisión inicial "a falta de" sería de nuevo el "ningún mantenimiento preventivo", y si el coste de reparación es demasiado alto, la decisión "a falta de" secundaria sería volver a diseñar de nuevo. (Santiago, 2003, p. 289).

Este enfoque gradual de arriba abajo significa que las tareas predictivas o preventivas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que respecto a las tareas restantes, es

más probable que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo.

Compare esto con el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento de cada pieza se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar las consecuencias de la falla. Los programas resultantes se usaban para todas las máquinas similares, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones se aplican consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de programas que no sirven para nada, no porque sean "equivocados", sino porque no consiguen nada.

Note también que el proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada pieza antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener la maquinaria como está funcionando hoy, y no como debería estar o puede que esté en el futuro.

3.5.3. GRUPO DE TRABAJO

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar a todas las preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las contestaciones sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Lo cual se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requisitos del mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM La siguiente Figura N°15, muestra la representación de un grupo de revisión del RCM típico.

El uso de estos grupos no solo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus

soluciones.(Santiago,2003,p.345).



Figura N°15: Integrantes del equipo natural de trabajo.

Fuente: Moubray.2003,p271

En el grupo de trabajo, debe de incluirse a los siguientes participantes:

- **Personal de Operación:** Experto en el manejo de sistemas y equipos, las personas que viven el día a día de la operación de los equipos son una valiosa fuente de información.
- **Personal de Mantenimiento:** Expertos en la reparación y mantenimiento de sistemas y equipos, así como el conocimiento de los estados de cada una de las maquinas y equipos para poder ordenar el tipo de mantenimiento que se le va realizar a las diferentes maquinas.
- **Ingeniero de Procesos:** Aporta visión global de los procesos que conforman toda la planta, de manera que aportara conocimiento de la relación entre los procesos y así mismo como las consecuencias que puede pueden ser generados por los cambios en uno u otro proceso.
- **Programador:** Aporta visión sistemática de la actividad.
- **Especialista Externo:** Experto en un área específica. En ocasiones, también es interesante incluir al fabricante de los equipos.

- **Facilitador:** Asesor experto de la metodología del RCM.

Funciones del grupo de trabajo

Las funciones del grupo de trabajo están enmarcadas en realizar actividades de mejoramiento continuo en las operaciones de la empresa. Estas pueden ser agrupadas en dos frentes de trabajo.

- Actividades reactivas: Análisis Causa Raíz (ACR), solución de problemas.
- Actividades proactivas: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).
- Con el análisis funcional y análisis de criticidad de equipos.
- Actividades previas.

Estos análisis nos permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, de manera de garantizar un impacto significativo en los sistemas estudiados.

Actividades a realiza:

- Preparar el grupo de trabajo. Seleccionar personal de perfil acorde a la naturaleza del proyecto. Seleccionar reemplazos naturales para cada miembro del grupo, la mejor manera de lograr esto es tener redundancia, es decir dos operadores (por ejemplo), pudiendo estar en cada reunión uno o ambos, garantizando ente ellos mantenerse siempre informados del avance de las actividades. Tener reemplazos que trabajen sólo en caso de emergencia, tiene asociados diversos problemas de índole práctico.
- Preparar un inventario de sistemas a analizar u oportunidades de mejora.
- Realizar el análisis funcional y de criticidad o el análisis de oportunidades de mejora.
- Preparar un orden de implantación del RCM, estimando el impacto positivo para la empresa que pudiera representar una mejoría en los mismos.
- Seleccionar el sistema o problema de mayor impacto posible y de mayor probabilidad de éxito.

- Definir claramente las funciones de los sistemas o la naturaleza de los problemas.
- Establecer una misión precisa y clara en consenso, definir los objetivos del grupo de trabajo.
- Preparar los cronogramas de actividades, la naturaleza de dicho cronograma dependerá del grupo de trabajo, de sus necesidades y limitaciones, pudiendo ser desde una reunión semanal, a reuniones diarias, quinquenales o jornadas de trabajo continuas (por semanas o proyecto).
- El cronograma de trabajo deberá llegar hasta la implantación de actividades y su seguimiento.
- Realizar plan de contingencia, para evitar cualquier retardo debido a problemas previsibles, como permisos, vacaciones de algún integrante del grupo.
- Lograr consenso con la gerencia de la planta sobre los puntos anteriores.
- Comenzar el análisis, partiendo de una sencilla pero concisa documentación de los pasos anteriores.
- Completar el análisis.
- Sugerir soluciones.
- Evaluar la factibilidad económica de las soluciones, recordar que muchas posibles soluciones no son viables desde el punto de vista económico.
- Documentar todo el proceso anterior, realizando pequeños resúmenes a presentar a la gerencia.
- Presentar los resultados a la gerencia de planta, los resultados deberán estar con un completo juicio económico que soporte su implantación.
- Convertir en realidad las sugerencias propuestas y justificadas por el equipo de trabajo.
- Realizar un seguimiento a las actividades y sus resultados, tomar medidas de ser requerido, recordar que se trata de un mejoramiento continuo y no de una mejora por salto al más alto nivel de desempeño.

- Verificar si las actividades son aplicables en otras áreas de la organización e implantarlas de ser necesario. (Santiago, 2003, p. 445).

Del facilitador:

El facilitador es el líder del equipo de trabajo, deberá facilitar la implantación de las filosofías o técnicas a usar aprovechando las diferentes destrezas del personal que forma el equipo de trabajo, el facilitador deberá ser absolutamente competente en las siguientes áreas:

- Técnicas a implantar.
- Gerencia del análisis.
- Dirección de reuniones.
- Administración del tiempo.
- Administración, logística y gerencia ascendente.
- Las funciones típicas del facilitador incluyen:
 - Organizar y dirigir todas las actividades inherentes al proyecto.
 - Planificación, programación y dirección de reuniones. Garantizar la ejecución de reuniones en cualquier caso, por lo tanto debería manejar alternativas para solventar cualquier inconveniente con los miembros del equipo.
 - Seleccionar el nivel de análisis, definir fronteras y alcance, además de estimar el impacto, la duración y los recursos requeridos para el mismo.
 - Asegurar que cada plazo sea plenamente comprendido antes de su ejecución.
 - Asegurar el correcto orden de implantación, evitando dar saltos metodológicos que afecten la integridad del proceso.
 - Asegurar que el proyecto se cumpla dentro de lo planificado con un margen de error aceptable.

- Coordinar todo el material de apoyo para el trabajo del equipo (planos, diagramas, etc.), así como, mantener al día toda la documentación del proyecto (expedientes, avances, etc.) y compartirla en línea con el grupo.
- Ser el punto focal de comunicaciones del grupo centralizando la información relacionada al tema de trabajo. Mantener a la gerencia informada sobre todos los planes y el progreso de actividades, debe generar constantes informes de elevada calidad.
- Ser la voz técnica que aclare cualquier duda (metodológica) presentada por los miembros de los equipos durante cualquier etapa del proceso.
- En la mayoría de los casos deberá fungir como el transcriptor de la información generada.
- Investigar profundamente sobre temas tratados y no conformarse con información superficial, debiendo en muchos casos dedicarse a corroborar la información generada en las reuniones. Por lo tanto se debe tener el suficiente juicio para saber cuando la participación de un especialista es requerida.
- Debe velar por que las soluciones aportadas por el equipo de trabajo, superen el nivel de informe técnico, es decir sean implantadas realmente.
- Estar en capacidad de reconocer necesidades de adiestramiento (técnico o metodológico) de los integrantes del grupo y prestarlo cuando sea requerido y esté a su nivel.
- Asegurar el consenso de las decisiones tomadas.
- Motivar el grupo.
- Gerenciar los problemas: choques personales, interrupciones, etc.

El siguiente paso será identificar las prioridades en los sistemas o equipos, administrar los recursos escasos, crear valores para la decisión y determinar el impacto en el negocio. Se creará un tabla de criterios con las prioridades mencionadas, el cual solo fijará las necesidades del sistema estudiado, siendo en algunos casos adaptable a otros sistemas de una misma organización. Al crear la tabla de criticidad, los factores son evaluados en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas

involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, seguridad y ambiente). Una vez que se evaluaron en consenso cada uno de los factores, se obtiene el valor global de la criticidad. Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y se ubican en un matriz de criticidad, Figura N° 16, que permiten jerarquizar los sistemas en tres áreas: (Parra,2012,p.210).

- Área de sistemas No críticos **NC**.
- Área de sistemas de media criticidad **MC**.
- Área de sistemas críticos **C**.

F R E C U E N C I A	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIAS				

Figura N°16: Matriz general de criticidad

Fuente: Estandar Norsok Z-008

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD - RCM

4.1 APLICACIÓN DE RCM A EQUIPOS CRITICOS DE LA PLANTA

Debemos dirigir el Mantenimiento Centrado en Fiabilidad a un conjunto reducido de equipos o a toda la planta. La respuesta, después de todo lo comentado, es obvia: debemos dirigirlo a toda la planta. Debemos identificar los posibles fallos en toda la planta, clasificar estos fallos según su criticidad, y adoptar medidas preventivas que los eviten o minimicen sus efectos, y cuyo coste sea proporcional a su importancia y al coste de su resolución (coste global, no sólo coste de reparación).

La mayor parte de las industrias que aplican RCM, no lo aplican a toda la instalación.

En general, seleccionan una serie de equipos, denominados equipos críticos, y tratan de asegurar que esos equipos no fallen.

El estudio de fallos de cada uno de estos equipos se hace con un grado de profundidad tan elevado que por cada equipo se identifican miles modos de fallo potenciales, y para el estudio de cada equipo crítico se emplean meses, incluso años.

El mantenimiento del resto de los equipos se elabora atendiendo a las recomendaciones de los fabricantes y a la experiencia de los técnicos y responsables de mantenimiento. En el mejor de los casos, sólo se estudian sus fallos y sus formas de prevenirlos después de que éstos se produzcan, cuando se analizan las averías sufridas en la instalación, y se hace poca cosa por adelantarse a ellas.

Con la implantación de RCM se observan los logros obtenidos y la cantidad de dinero y recursos empleados para conseguirlos, el resultado suele ser desalentador: un avance muy pequeño, los problemas reales de la planta no se han identificado, RCM contribuye a aumentar la fiabilidad o la disponibilidad de la planta, y los costes de

mantenimiento, teniendo en cuenta la cantidad de dinero invertida en estudio de fallos, han aumentado.

Es posible que esa forma de plantear el trabajo, dirigir el RCM a los equipos críticos, pudiera ser correcta en determinadas circunstancias, pero es dudosamente viable cuando se busca mejorar la disponibilidad y los costes de mantenimiento en una planta industrial. La instalación puede pararse, incluso por periodos prolongados de tiempo, por equipos o elementos que no suelen pertenecer a esa categoría de equipos críticos. Es el caso de una tubería, o de una válvula sencilla, o un instrumento.

Estamos acostumbrados a pensar en equipos críticos como equipos grandes, significativos, y a veces olvidamos que un simple tornillo puede parar una planta, con la consiguiente pérdida de producción y los costes de arranque asociados.

Porque no son los equipos los que son críticos, sino los fallos. Un equipo no es crítico en sí mismo, sino que su posible criticidad está en función de los fallos que pueda tener. Considerar un equipo crítico no aporta, además, ninguna información que condicione un planteamiento acerca de su mantenimiento. Si por ser crítico debemos realizar un mantenimiento muy exhaustivo, puede resultar que estemos malgastando esfuerzo y dinero en prevenir fallos de un presunto equipo crítico que sean perfectamente asumibles. Repetimos, pues, que es la clasificación de los fallos en críticos o no-críticos lo que nos aporta información útil para tomar decisiones, y no la clasificación de los equipos en sí mismos.

De esta forma, antes de comenzar el trabajo, es necesario planificarlo de forma que se asegure que el estudio de fallos va a abarcar la totalidad de la instalación.

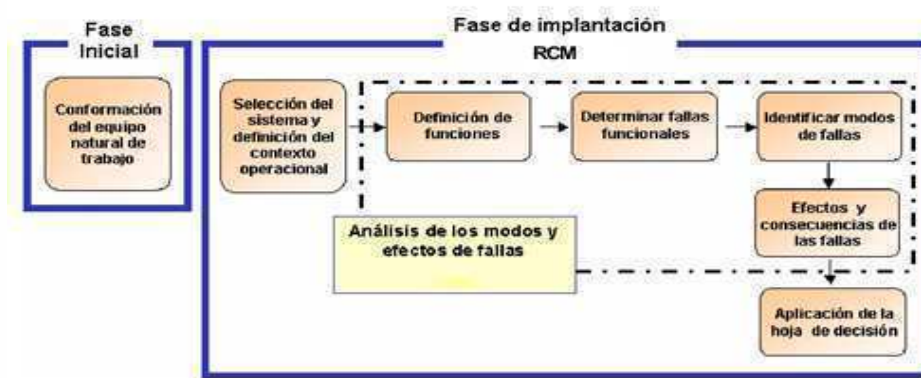


Figura N°17: Proceso de implantación del RCM

Fuente: Cordova.2003

Una buena idea es dividir la planta en los sistemas principales que la componen, y estudiar cada uno de ellos con el nivel de profundidad adecuado. Estudiar cada sistema con una profundidad excesiva acabará sobrecargando de trabajo a los responsables del estudio, por lo que los resultados visibles se retrasarán, y se corre el riesgo nuevamente de hacerlo inviable. Y estudiarlo con un nivel de profundidad mínimo será sencillo y simplificará el proceso, pero no conseguirá ningún resultado realmente útil.(Andreani,2009,p.225).

4.2. FASE N°1: LISTADO Y CODIFICACION DE EQUIPOS¹

Existe un problema al determinar como clasificar las redes de distribución de determinados fluidos, como el agua de refrigeración, el aire comprimido, el agua contra-incendios, la red de vacío, etc. Una posible alternativa es considerar toda la red como un equipo, y cada una de las válvulas y tuberías como elementos de ese equipo, esta es una solución discutible, pero muy práctica.

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología del RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc. de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es una información (hay una diferencia importante entre datos e información). Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:

¹ Salcedo,A.(2015).*Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

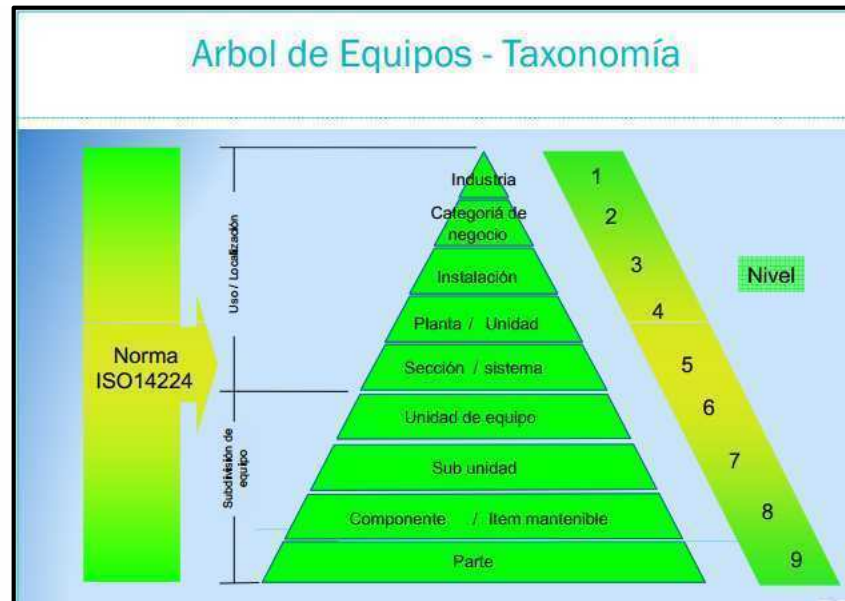


Figura N°18: Estructura de Niveles de la Planta

Fuente: ISO 14224

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión dentro de él. Los sistemas a su vez se descomponen en elementos (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación. (Acuña, 2003, p. 174).

Definamos en primer lugar qué entendemos por cada uno de los niveles con el ejemplo dado en la Figura N °19.

Definiciones jerárquicas

	Nivel	Descripción	Definición	Ejemplos
Datos de uso / localización	1	Industria	Tipo principal de industria	Petróleo, petroquímico, alimentos, minería,
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o proceso	Extracción, producción, refinación, petroquímica
	3	Categoría Instalación	Tipo de facilidad	Producción, transporte, perforación,
	4	Planta / Unidad	Tipo de planta o unidad	Plataforma, estación de compresión, planta de metanol
	5	Sección / Sistema	Sección principal / sistemas de la planta	Compresión, licuefacción, regeneración, oxidación
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo / unidad	Clase de equipos similares. Cada clase contiene unidades de equipos comparables	Intercambiador de calor, compresor, tubería, bomba, caldera
	7	Sub sistema	Subsistema necesario para que el equipo funcione	Lubricación, enfriamiento, control, calentamiento
	8	Componente / Item mantenible	Grupo de partes del equipo que son mantenidos (reparados / restaurados) como un todo	Enfriador, reductor, bomba de aceite, loop de instrumentos, válvula
	9	Parte (Opcional)	Una pieza o repuesto de un equipo	Sello, tubo, carcaza, impeller

Figura N°19: Definición de cada uno de los niveles de jerarquía en una planta

Fuente: ISO 14224

4.3. FASE N°2: LISTADO DE FUNCIONES Y SUS ESPECIFICACIONES²

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).

Por ejemplo, si analizamos una caldera, su función es producir vapor en unas condiciones de presión, temperatura y composición determinadas, y con un caudal dentro de un rango concreto. Si no se alcanzan los valores correctos, entenderemos que el sistema no está cumpliendo su función, no está funcionando correctamente, y diremos que tiene un 'fallo'

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas.

² Salcedo, A. (2015). *Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos equipos y elementos, por muy pequeño que fuera, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que deberíamos asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. Por ello, nos conformaremos con detallar las funciones de unos pocos equipos, que denominaremos 'equipos significativos'. (Acuña, 2003, p. 236).

Tendremos, pues, tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen
- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema

4.4. FASE N°3: DETERMINACIÓN DE FALLAS FUNCIONALES Y FALLOS TÉCNICOS³

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello decíamos en el apartado anterior que si realizamos correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar los fallos: tendremos un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla.

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos. Definiremos como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes. Veamos un ejemplo.

Un sistema de refrigeración, para cumplir su función, necesita cumplir una serie de especificaciones. Las más importantes son: caudal de agua de refrigeración, temperatura, presión y composición química.

Un fallo funcional del sistema de refrigeración puede ser: Caudal insuficiente de agua de refrigeración

³ Salcedo, A. (2015). *Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

Será un fallo funcional porque con caudal insuficiente es imposible que el sistema de refrigeración pueda cumplir su función, que es refrigerar. La planta probablemente parará o verá disminuida su capacidad por este motivo.

Los fallos técnicos afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos (y los modos de fallo que veremos en el apartado siguiente) son muy diversas. Entre las principales podemos citar las siguientes: consulta al histórico de averías, consultas al personal de mantenimiento y de producción y estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.(Mora,2003,p.198)

4.4.1 HISTÓRICO DE AVERÍAS

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero con algo de imaginación, siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de los partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando los partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que han afectado a la máquina en un periodo determinado
- Facturas de repuesto. Es laborioso, pero en caso de necesitarse, puede recurrirse al departamento de contabilidad para que facilite las facturas del material

consumido en mantenimiento en un periodo determinado (preferiblemente largo, 5 años por ejemplo). De esta información es posible deducir las incidencias que han podido afectar al equipo que se estudia

- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza en ocasiones diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente. Del estudio de estos diarios también es posible obtener información sobre averías e incidentes en los equipos.

En otras plantas, la experiencia acumulada todavía es pequeña. Hay que recordar que las plantas industrial suponen el empleo de una tecnología relativamente nueva, y es posible que la planta objeto de estudio lleve poco tiempo en servicio.(Mora,2003,p.215).

4.4.2 PERSONAL DE MANTENIMIENTO

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM. Como veremos en el apartado correspondiente, la falta de implicación del personal de mantenimiento será una dificultad para su puesta en marcha del plan de mantenimiento resultante.

4.4.3 PERSONAL DE PRODUCCIÓN

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de producción nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta, ya que el personal de producción es el que está con los equipos el día a día y son los que no pueden dar de mejor manera el estado de funcionamiento de las máquinas.

4.4.4 DIAGRAMAS LÓGICOS Y DIAGRAMAS FUNCIONALES

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas

condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación.

4.5 FASE N°4: DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLO⁴

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir 'modo de fallo' como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar, como vemos, múltiples modos de fallo. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina causas raíces.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances, se bloquea.

Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el estudio sea abordable, sea técnicamente factible.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, perderemos una parte de la información valiosa, pero a cambio, lograremos realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. Un ejemplo sencillo: Modos de fallo en el nivel de un tanque de agua

Como ejemplo, pensemos en una caldera que produce vapor para ser consumido en una turbina de vapor con la que generar energía eléctrica. Supongamos el sistema 'Circuito agua-vapor' y el subsistema 'Agua de alimentación'. Uno de los fallos que puede presentar es el siguiente: El nivel del tanque de agua de alimentación es bajo

Los modos de fallo, o causas que pueden hacer que ese nivel sea bajo pueden ser las siguientes:

- Las bombas de condensado no impulsan agua desde el condensador

⁴ Salcedo,A.(2015).*Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

- La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado está obstruida
- La tubería que conduce el agua desde las bombas de condensado tiene una rotura
- Válvula de recirculación de las bombas de condensador está totalmente abierta
- Fuga importante en la caldera, en alguno de los circuitos (alta, media o baja presión)
- Fuga o rotura en el cuerpo del tanque de agua de alimentación
- Fuga o rotura en la tubería de salida del tanque hacia las bombas de alta, media o baja presión
- Válvula de Drenaje abierta o en mal estado
- Sistema de control de nivel no funciona correctamente. (Mora, 2003, p.289).

4.5.1 EJEMPLO DE FALLAS Y MODOS DE FALLO EN EL MOTOR ELÉCTRICO DE UNA BOMBA

En el estudio del motor de una bomba centrífuga de gran tamaño utilizada para la impulsión de un circuito de agua de refrigeración, se identificaron 6 fallos. A continuación se muestran esos fallos con todos los modos de fallo identificado.

- **Fallo A: El motor no gira**

Modos de fallo:

- ✓ Bobinado roto o quemado
- ✓ Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso
- ✓ Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica)
- ✓ Eje bloqueado por rodamientos dañados

- **Fallo B: Altas vibraciones**

Modos de fallo:

- ✓ Eje doblado
- ✓ Rodamientos en mal estado
- ✓ Desalineación con el elemento que mueve
- ✓ Desequilibrio en rotor de la bomba o del motor
- ✓ Acoplamiento dañado

- ✓ Resonancias magnéticas debidas a excentricidades
- ✓ Uno de los apoyos del motor no asienta correctamente

- **Fallo C: La protección por exceso de consumo (el "térmico") salta**

Modos de fallo:

- ✓ Térmico mal calibrado
- ✓ Bobinado roto o quemado
- ✓ Rodamientos en mal estado
- ✓ Desequilibrios entre las fases
- ✓ El motor se calienta porque el ventilador se ha roto

- **Fallo D: La protección por cortocircuito salta**

Modos de fallo:

- ✓ Bobinado roto o quemado
- ✓ Terminal defectuoso
- ✓ Elemento de protección en mal estado

- **Fallo E: La protección por derivación salta**

Modos de fallo:

- ✓ Fallo en el aislamiento (fase en contacto con la carcasa)
- ✓ La puesta a tierra está en mal estado
- ✓ Una de las fases está en contacto con tierra

- **Fallo F: Ruido excesivo**

Modos de fallo:

- ✓ Eje doblado
- ✓ Rodamientos en mal estado
- ✓ Rozamientos entre rotor y estator
- ✓ Rozamientos en el ventilador
- ✓ Mala lubricación de rodamientos (rodamientos "secos")

- **Fallo G: Alta temperatura de la carcasa externa**

Modos de fallo:

- ✓ Rodamientos en mal estado
- ✓ Suciedad excesiva en la carcasa
- ✓ Ventilador roto
- ✓ Lubricación defectuosa en rodamientos

Con la lista de los posibles modos de fallo de cada una de los identificados anteriormente, estaremos en disposición de abordar el siguiente punto: el estudio de la criticidad de cada fallo. (Moubray, 2009, p. 415).

4.6 FASE N°5: ESTUDIO DE LA CONSECUENCIA DE LAS FALLAS⁵

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento. Consideraremos tres posibles casos: que el fallo sea crítico, que el fallo sea importante o que sea tolerable.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, consideraremos que el fallo es crítico si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionaría un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medio ambiente. Consideraremos que es importante si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medio ambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, consideraremos que el fallo es tolerable si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, podemos decir que un fallo es crítico si el fallo supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento,

⁵ Salcedo, A. (2015). *Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

el fallo debe ser considerado como importante. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable.

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el coste de la reparación (de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar ese) supera una cantidad determinada (por ejemplo, 10.000 Euros), el fallo será crítico. Será importante si está en un rango inferior (por ejemplo, entre 1000 y 10.000 Euros) y será tolerable por debajo de cierta cantidad (por ejemplo, 1000 Euros). Las cantidades indicadas son meras referencias, aunque pueden considerarse aplicables en muchos casos.

En resumen, para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad.

CRÍTICO

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS		
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO
Accidente grave probable	Supone parada o afecta a potencia o rendimiento	Alto coste de reparación (>10.000 Eur)
Accidente grave, pero muy poco probable	Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable	Coste medio de reparación (1.000-10.000 Eur)
Poca influencia en seguridad y medioambiente	No afecta a la producción	Bajo coste de reparación (<1.000 Eur)

Figura N°20: Análisis de criticidad de fallo. Fallo Crítico

Fuente: Santiago.2003

Para que un fallo sea importante:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico

- Debe cumplir alguna de estas condiciones:
- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja
- Que el coste de reparación sea medio

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS		
SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO
Accidente grave probable	Supone parada o afecta a potencia o rendimiento	Alto coste de reparación (>10.000 Eur)
Accidente grave, pero muy poco probable	Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable	Coste medio de reparación (1.000-10.000 Eur)
Poca influencia en seguridad y medioambiente	No afecta a la producción	Bajo coste de reparación (<1.000 Eur)

IMPORTANTE

Figura N°21: Análisis de criticidad de fallo. Fallo Importante

Fuente: Santiago.2008

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afecte a la producción de la planta y tenga un coste de reparación bajo.(Mora,2003,p.455).

4.7. FASE N°6: DETERMINACION DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS⁶

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la

⁶ Salcedo,A.(2015).Plan Rcm. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

enorme potencia del análisis de fallos: no sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación.

4.7.1 TAREAS DE MANTENIMIENTO⁷

Son los trabajos que podemos realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

- **Tipo 1:** Inspecciones visuales. Veámos que las inspecciones visuales siempre son rentables. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un coste muy bajo, por lo que parece interesante echar un vistazo a todos los equipos de la planta en alguna ocasión.
- **Tipo 2:** Lubricación. Igual que en el caso anterior, las tareas de lubricación, por su bajo coste, siempre son rentables.
- **Tipo 3:** Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo (verificaciones on-line). Este tipo de tareas consiste en la toma de datos de una serie de parámetros de funcionamiento utilizando los propios medios de los que dispone el equipo. Son, por ejemplo, la verificación de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones, etc. Si en esta verificación se detecta alguna anomalía, se debe proceder en consecuencia. Por ello es necesario, en primer lugar, fijar con exactitud los rangos que entenderemos como normales para cada una de las puntos que se trata de verificar, fuera de los cuales se precisará una intervención en el equipo. También será necesario detallar como se debe actuar en caso de que la medida en cuestión esté fuera del rango normal.
- **Tipo 4:** Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo. Se pretende, con este tipo de tareas, determinar si el equipo cumple con unas especificaciones prefijadas, pero para cuya determinación es necesario desplazar determinados instrumentos o herramientas especiales, que

⁷ Salcedo,A.(2015).*Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

pueden ser usadas por varios equipos simultáneamente, y que por tanto, no están permanentemente conectadas a un equipo, como en el caso anterior. Podemos dividir estas verificaciones en dos categorías:

- ✓ Las realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, tacómetros, vibrómetros, etc.
 - ✓ Las realizadas con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, termografías, análisis de la curva de arranque de motores, etc.
- **Tipo 5:** Tareas condicionales. Se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo. No es necesario realizarlas si el equipo no da síntomas de encontrarse en mal estado. Estas tareas pueden ser:
 - ✓ Limpiezas condicionales, si el equipo da muestras de encontrarse sucio.
 - ✓ Ajustes condicionales, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros.
 - ✓ Cambio de piezas, si tras una inspección o verificación se observa que es necesario realizar la sustitución de algún elemento.(Mora,2003,p.155).
 - **Tipo 6:** Tareas sistemáticas, realizadas cada ciertas horas de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo. Estas tareas pueden ser:
 - ✓ Limpiezas
 - ✓ Ajustes
 - ✓ Sustitución de piezas.
 - **Tipo 7:** Grandes revisiones, también llamados Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time, que tienen como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

Una vez determinado los modos de fallo posibles en un ítem, es necesario determinar qué tareas de mantenimiento podrían evitar o minimizar los efectos de un fallo. Pero lógicamente, no es posible realizar cualquier tarea que se nos ocurra que pueda evitar un fallo. Cuanto mayor sea la gravedad de un fallo, mayores recursos podremos destinar a su mantenimiento, y por ello, más complejas y

costosas podrán ser las tareas de mantenimiento que tratan de evitarlo.

Por ello, el punto anterior se explicaba la necesidad de clasificar los fallos según sus consecuencias. Si el fallo ha resultado ser crítico, casi cualquier tarea que se nos ocurra podría ser de aplicación. Si el fallo es importante, tendremos algunas limitaciones, y si por último, el fallo es tolerable, solo serán posibles acciones sencillas que prácticamente no supongan ningún coste.(Mora,2003,p.488).

En este último caso, el caso de fallos tolerables, las únicas tareas sin apenas coste son las de tipo 1, 2 y 3. Es decir, para fallos tolerables podemos pensar en inspecciones visuales, lubricación y lectura de instrumentos propios del equipo. Apenas tienen coste, y se justifica tan poca actividad por que el daño que puede producir el fallo es perfectamente asumible.

En caso de fallos importantes, a los dos tipos anteriores podemos añadirle ciertas verificaciones con instrumentos externos al equipo y tareas de tipo condicional; estas tareas sólo se llevan a cabo si el equipo en cuestión da signos de tener algún problema. Es el caso de las limpiezas, los ajustes y la sustitución de determinados elementos. Todas ellas son tareas de los tipos 4 y 5. En el caso anterior, se puede permitir el fallo, y solucionarlo si se produce. En el caso de fallos importantes, tratamos de buscar síntomas de fallo antes de actuar. (Mora,2003,p.489).

Si un fallo resulta crítico, y por tanto tiene graves consecuencias, se justifica casi cualquier actividad para evitarlo. Tratamos de evitarlo o de minimizar sus efectos limpiando, ajustando, sustituyendo piezas o haciéndole una gran revisión sin esperar a que dé ningún síntoma de fallo.

La siguiente Cuadro N°4 trata de aclarar qué tipos de tareas de mantenimiento podemos aplicar dependiendo de la criticidad del fallo determinado en el punto anterior.

Cuadro N°4: Tipos de tareas dependiendo de la criticidad del fallo
Fuente: Moubray.2003

TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	TIPO DE FALLA A LOS QUE PUEDE APLICARSE
1. Inspecciones Visuales	Todas las fallas
2. Tareas de lubricación	Todas las fallas
3. Verificaciones ON-LINE	Todas las fallas
4. Verificaciones OFF-LINE <ul style="list-style-type: none"> • Verificaciones sencillas Mediciones de temperatura Mediciones de vibración Mediciones de consumo de corriente. • Verificaciones con instrumentos complejos Análisis de vibraciones (con analizador) Termografías Detección de fugas por ultrasonido Análisis de la curva de arranque de los motores Comprobaciones de alineación por laser 	Fallas importantes y criticas
5. Tareas condicionales (Según los resultados de las verificaciones anteriores): <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza sistemáticas • Ajustes sistemáticos • Sustitución sistemática de piezas de desgaste 	Fallas importantes y criticas
6. Tareas sistemáticas (Haya o no haya sistemas de falla): <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza sistemáticas • Ajustes sistemáticos • Sustitución sistemática de piezas de desgaste 	Solo fallas críticas
7. Mantenimiento Cero Horas (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)	Solo fallas críticas

4.7.2 LA DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Una vez determinadas las tareas, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Existen tres posibilidades para determinar esta frecuencia:

- Si tenemos datos históricos que nos permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, podemos utilizar cualquier técnica estadística (las técnicas

estadísticas aplicables son diversas, pero exceden los objetivos de este texto) que nos permita determinar cada cuanto tiempo se produce el fallo si no actuamos sobre el equipo. Debemos contar con un número mínimo de valores (recomendable más de 10, aunque cuanto mayor sea la población más exactos serán los resultados). La frecuencia estará en función del coste del fallo y del coste de la tarea de mantenimiento (mano de obra + materiales + pérdida de producción durante la intervención).

- Si disponemos de una función matemática que permitan predecir la vida útil de una pieza, podemos estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función. Suele ser aplicable para estimar la vida de determinados elementos, como los álabes de una turbina de gas, los cojinetes o rodamientos de un equipo rotativo o la vida de una herramienta de corte. (Santiago, 2008, p. 210).
- Si no disponemos de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas debe hacerse en base a la opinión de expertos. Es la más subjetiva, la menos precisa de las formas de determinar la frecuencia de intervención, y sin embargo, la más utilizada. No siempre es posible disponer de información histórica o de modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de una pieza.

Si no se dispone de datos históricos ni de fórmulas matemáticas, podemos seguir estos consejos:

- Es conveniente fijar una frecuencia diaria para tareas de muy bajo coste, como las inspecciones visuales o las lecturas de parámetros
- La frecuencia mensual es aconsejable para tareas que supongan montajes o desmontajes complejos, y no esté justificado hacer a diario
- La frecuencia anual se reserva para tareas que necesitan que la planta esté parada, y que no se justifica realizarlas con frecuencia mensual

Estas frecuencias indicativas no son sino meras guías de referencia. Para cada caso, es conveniente comprobar si la frecuencia propuesta es la más indicada.

Por último, y con el fin de facilitar la elaboración del plan de mantenimiento, es conveniente especificar la especialidad de la tarea (mecánica, eléctrica, predictiva, de operación, de lubricación, etc.). (Andreani, 2009, p. 458).

4.7.3 MEJORAS Y MODIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN

Determinados fallos pueden prevenirse más fácilmente modificando la instalación, o introduciendo mejoras. Las mejoras pueden ser, entre otras, de los siguientes tipos:

- Cambios en los materiales. Manteniendo el diseño de las piezas, el único cambio que se realiza es en la calidad de los materiales que se emplean. Algunos ejemplos: cambios en la composición química del acero con el que está fabricada la pieza, en el tratamiento superficial que recibe esta para mejorar las características de la capa más externa, en el tipo de aceite con el que lubricamos dos piezas metálicas que mantienen entre sí contacto en movimiento, etc.
- Cambios en el diseño de una pieza. La geometría de algunas piezas hace que en determinados puntos acumulen tensiones que facilitan su falla. Un simple cambio en el diseño de estas piezas puede hacer que cumplan su función perfectamente y que su probabilidad de rotura disminuya sensiblemente.
- Instalación de sistemas de detección, bien de aviso o bien para evitar que el equipo funcione en condiciones que puedan ser perjudiciales
- Cambios en el diseño de una instalación. En ocasiones no es una pieza, sino todo un conjunto el que debe ser rediseñado, para evitar determinados modos de fallo. Es el caso, por ejemplo, de fallas producidas por golpes de ariete: no suele ser una pieza la que es necesario cambiar, sino todo un conjunto, añadiendo elementos (como tuberías flexibles o acumuladores de presión) y modificando trazados.
- Cambios en las condiciones de trabajo del ítem. Por último, en ocasiones la forma de evitar la falla de una pieza o un equipo no es actuar sobre éstos, sino sobre el medio que los rodea. Imaginemos el caso de un fallo en un intercambiador de calor producido por incrustaciones en el haz tubular que conduce el líquido de refrigeración. Este fallo puede evitarse tratando químicamente este líquido con un producto anti-incrustante: no estaríamos actuando sobre el intercambiador, sino sobre un componente externo (las características físico-químicas del líquido refrigerante)

4.7.4 CAMBIOS EN LOS PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN

El personal que opera suele tener una alta incidencia en los problemas que presenta un equipo. Podemos decir, sin lugar a dudas, que esta es la medida más barata y más eficaz en la lucha contra las averías. En general, las tareas de mantenimiento tienen un coste, tanto en mano de obra como en materiales. Las mejoras tienen un coste añadido, relacionado con el diseño y con las pruebas. Pero un cambio en un procedimiento de operación tiene en general un coste muy bajo, y un beneficio potencial altísimo. Como inconveniente, todos los cambios suelen tener una inercia alta para llevarlos a cabo, por lo que es necesario prestar la debida atención al proceso de implantación de cualquier cambio en un procedimiento.

En ocasiones, para minimizar los efectos de un fallo es necesario adoptar una serie de medidas provisionales si este llegara a ocurrir. Dentro de los cambios en procedimientos de operación, un caso particular es este: instrucciones de operación para el caso de que llegue a ocurrir un fallo en concreto.

4.7.5 CAMBIOS EN LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

Algunas averías se producen porque determinadas intervenciones del personal de mantenimiento no se hacen correctamente. La redacción de procedimientos en los que se indique claramente como deben realizarse determinadas tareas, y en los que figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.) es de gran utilidad.

4.7.6 FORMACIÓN

Bien para evitar que determinados fallos ocurran, o bien para resolverlos rápidamente en caso de que sucedan, en ocasiones es necesario prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimiento, la formación en un riesgo en particular o el repaso de un diagrama unifilar, o el estudio de una avería sucedida en una instalación similar son ejemplos de este tipo de acción.

4.8 FASE N°7: AGRUPACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS⁸

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitará su implementación. El resultado de esta agrupación será:

- **Plan de Mantenimiento:** Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos. Puede verse que aunque era el objetivo inicial de este análisis, no es el único resultado útil.
- **Lista de mejoras técnicas a implementar:** Tras el estudio, tendremos una lista de mejoras y modificaciones que es conveniente realizar en la instalación. Es conveniente depurar estas mejoras, pues habrá que justificar económicamente ante la Dirección de la planta y los gestores económicos la necesidad de estos cambios
- **Actividades de formación:** Las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que éstos estén involucrados.
- **Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar:** Habremos generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Como ya se ha comentado, habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de fallo. (Andreani, 2009, p. 419).

4.9 FASE 8: PUESTA EN MARCHA DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS⁹

Ya hemos visto que tras el estudio de RCM se obtienen una serie de medidas preventivas, entre las que destaca el Plan de Mantenimiento a desarrollar en la instalación. Pero una vez obtenidas todas estas medidas y agrupadas de forma operativa, es necesario implementarlas.

⁸ Salcedo, A. (2015). *Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

⁹ Salcedo, A. (2015). *Plan Rcm*. Recuperado de http://alirafasalcedo.blogspot.pe/2015/05/plan-rcm_31.html

4.9.1 PUESTA EN MARCHA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Determinado el nuevo plan de mantenimiento, hay que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Es conveniente repasarlo una vez más, por si se hubieran olvidado tareas. Sobre todo, es necesario comprobar que las tareas recomendadas por los fabricantes han sido tenidas en cuenta, para asegurar que no se olvida en el nuevo plan ninguna tarea importante. Pero una vez revisado, hay que tratar de que la implementación sea lo más rápida posible.

Para alguna de las tareas que se detallan en el nuevo plan es posible que no se disponga en planta de los medios necesarios. Por ello, es necesario que los responsables del mantenimiento se aseguren de que se dispone de los medios técnicos o de los materiales necesarios.

También es imprescindible formar al personal de mantenimiento en el nuevo plan, explicando en qué consiste, cuales son las diferencias con el anterior, y que fallos se pretenden evitar con estos cambios.

4.9.2 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS TÉCNICAS

La lista de mejoras obtenida y depurada hay que presentarla a la Dirección de la planta para su realización. Habrá que calcular el coste que supone, solicitar algunos presupuestos y preseleccionar posibles contratistas (en el caso de que no puedan implementarse con personal de la planta). También habrá que exponer y calcular los beneficios que se obtienen que la implementación de cada una de ellas.

4.9.3 PUESTA EN MARCHA DE LAS ACCIONES FORMATIVAS

Para implementar las acciones formativas determinadas en el análisis, no hay más que incluirlas en el Plan de Formación de la planta. La gran diferencia entre las acciones formativas propuestas por el RCM y la mayoría de las que suelen formar parte de los planes de formación suele ser que los propuestos por el RCM tienen como objetivo la solución a problemas tangibles, y por tanto, se traducen rápidamente en una mejora de los resultados.

4.9.4 PUESTA EN MARCHA DE CAMBIOS EN PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la implementación de estos cambios en procedimientos de operación y mantenimiento es necesario asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios. Para ellos es necesario organizar sesiones formativas en los que se explique a todo el personal que tiene que llevarlos a cabo cada uno de los puntos detallados en los nuevos procedimientos, verificando que se han entendido perfectamente. Este aspecto formativo es el más importante para asegurar la implementación efectiva de los cambios en procedimientos.



CAPITULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD-RCM

5.1. ASPECTOS DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO

Hoy en día no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un tipo de mantenimiento (por ejemplo, correctivo, o preventivo, etc.). Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Para optimizar las funciones de la empresa, ya no es suficiente pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo. Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el costo de una parada de producción, el costo de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo.

Por lo tanto, el trabajo previo a realizarse en una planta debe ejecutarse con mucho cuidado ya que este resulta ser de suma importancia para definir el plan de mantenimiento adecuado para la empresa, para lo cual debemos estudiar cada uno de los equipos que constituyen la planta con cierto nivel de detalle.

5.2. IMPLEMENTACION DE LA FASE 1, 2: LISTADO Y CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

Habiéndose efectuado el análisis de la empresa, como paso seguido se debe realizar el listado de cada uno de los equipos que se han de analizar. Este listado debe cumplir con los niveles de detalle recomendados para que pueda ser utilizado como información y no sea una simple lista de máquinas.

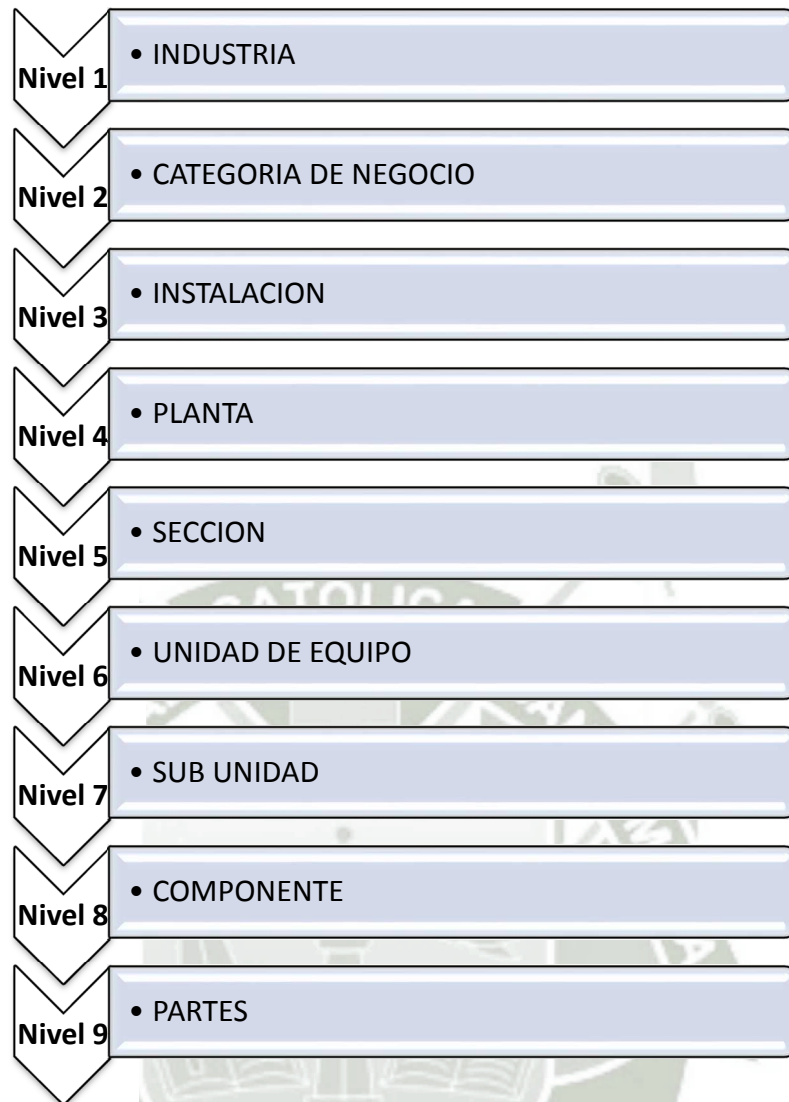


Figura N° 22: Niveles de estructura de una planta industrial

Fuente: ISO 14224

Como primer paso, se elabora una lista que considera nivel 4,5,6. Más adelante, consideraremos la integridad de toda la norma ISO 14224, donde resaltaremos los sistemas de mayor importancia desde el punto de vista del mantenimiento. Este último nivel resultará el más adecuado debido al nivel de mantenimiento que posee la empresa en la actualidad. El Cuadro N° 5 muestra la lista de máquinas considerando hasta el nivel 3.

Cuadro N° 5: Lista de máquinas de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

Planta: Arequipa

PLANTA Nivel 1	SECCION Nivel 2	EQUIPO Nivel 3
Planta N° 1: Arequipa – Cerro Colorado	Área N° 1: Inyección	Inyectora Mecánica 1
		Inyectora Mecánica 2
	Área N° 2: Manufactura	Fresadora CNC 1
		Fresadora CNC 2
		Fresadora Mecánica 1
		Torno CNC 1
		Torno Mecánico 1
		Torno Mecánico 2
		Torno Mecánico 3
		Taladro Mecánico 1
		Taladro Mecánico 2
		Esmeril 1
	Área N° 3: Vulcanizado	Prensa hidráulica 1
		Prensa hidráulica 2

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. CODIFICACIÓN DE MÁQUINAS

Terminada la elaboración de la lista de equipos debemos seguir con la identificación de cada uno de ellos con un código único. Este código facilitará la ubicación del equipo, la aplicación de ordenes de trabajo, la elaboración de un registro histórico de fallas y mantenimientos, etc.

Los equipos de la empresa presentan una codificación la cual la detallamos en la Cuadro N° 6.

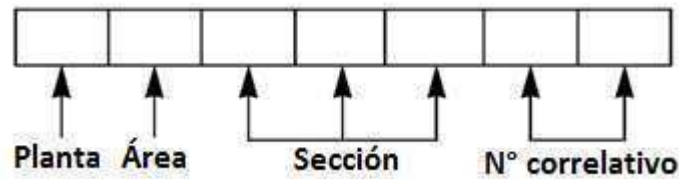
Cuadro N° 6: Codificación existente de los equipos de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C

CODIGO						DESCRIPCION
FA	I	N	Y	0	1	Inyectora Mecánica 1
FA	I	N	Y	0	2	Inyectora Mecánica 2
FA	F	R	E	0	1	Fresadora CNC 1
FA	F	R	E	0	2	Fresadora CNC 2
FA	F	R	E	0	3	Fresadora Mecánica
FA	T	O	C	0	1	Torno CNC 1
FA	T	O	R	0	2	Torno Mecánico 2
FA	T	O	R	0	3	Torno Mecánico 3
FA	T	O	R	0	4	Torno Mecánico 4
FA	T	A	L	0	1	Taladro Mecánico 1
FA	T	A	L	0	2	Taladro Mecánico 2
						Esmeril 1
						Prensa hidráulica 1
						Prensa hidráulica 2

Fuente: Elaboración propia.

La codificación encontrada fue hecha empíricamente siguiendo la experiencia de algunos trabajadores de la empresa. Es por ello que vemos necesario realizar una nueva codificación de los equipos siguiendo la metodología planteada por Santiago Garrido la cual se esquematiza en la Figura N°23.

Figura N°23: Estructura de códigos para equipos



Con el afán de no variar demasiado la codificación y evitar confusiones dentro del personal trataremos de utilizar en lo posible la numeración y letras del código anterior. Los códigos que se utilizarán para los equipos se presentan en la Figura N°23.

Cuadro N° 7: Códigos a utilizarse para la identificación de los equipos.

Código	Tipo de Equipo
FRC	Fresadora CNC
FRM	Fresadora Mecánica
TOC	Torno CNC 1
TOM	Torno Mecánica
TAM	Taladro Mecánico
INM	Inyectora Mecánica
PRH	Prensa Hidráulica
ESM	Esmeril

Fuente: Elaboración propia.

Luego, haciendo uso de la Cuadro N° 7 y teniendo en cuenta la planta y área a la que pertenecen los equipos, la nueva codificación que se propone queda reflejada en la Cuadro N°8..

Cuadro N°8: Nueva codificación.

CÓDIGO				DESCRIPCIÓN
Planta	Sección	Equipo	N° Correlativo	
1	1	INM	01	Inyectora Mecánica
1	1	INM	02	Inyectora Mecánica
1	2	FRC	01	Fresadora CNC
1	2	FRC	02	Fresadora CNC
1	2	FRM	01	Fresadora Mecánica
1	2	TOC	01	Torno CNC
1	2	TOM	01	Torno Mecánico
1	2	TOM	02	Torno Mecánico
1	2	TOM	03	Torno Mecánico
1	2	TAM	01	Taladro Mecánico
1	2	TAM	02	Taladro Mecánico
1	2	ESM	01	Esmeril
1	3	PRH	01	Prensa Hidráulica
1	3	PRH	02	Prensa Hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la codificación queda tal como se muestra en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9: Nueva codificación de equipos.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
11INM01	Inyectora Mecánica
11INM02	Inyectora Mecánica
12FRC01	Fresadora CNC
12FRC02	Fresadora CNC
12FRM01	Fresadora Mecánica
12TOC01	Torno CNC
12TOM01	Torno Mecánico
12TOM02	Torno Mecánico
12TOM03	Torno Mecánico
12TAM01	Taladro Mecánico
12TAM02	Taladro Mecánico
12ESM01	Esmeril
13PRH01	Prensa Hidráulica
13PRH02	Prensa Hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de la criticidad de los equipos de una empresa nos sirve para poder jerarquizar, por importancia, las máquinas y equipos sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). Además ayuda a identificar eventos potenciales indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional.

Para el análisis de criticidad de la empresa Fagoma se han cuantificado los criterios de producción, operaciones, reparación, seguridad y medio ambiente siendo estos los más comúnmente utilizados por las empresas.

Finalmente, para el cálculo de la criticidad hacemos uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Criticidad} = (\text{Probabilidad})(\text{Impacto})$$

siendo el impacto calculado de la siguiente forma:

$$I = [LP][(\mathbf{axA}) + (\mathbf{bxB}) + (\mathbf{cxC}) + (\mathbf{dxD})]$$

Donde:

I = Impacto.

LP = Línea de producción.

a, b, c, d = Pesos ponderados.

A = Impacto operacional.

B = Costos de reparación.

C = Impacto en la seguridad.

D = Impacto ambiental.

La cuantificación de los criterios, que se han definido para el análisis de criticidad, se presenta en la Figura N° 16.

Cuadro N° 10: Criterios de criticidad y su cuantificación.

Criticidad = (Probabilidad) (Impacto)		
F = Frecuencia o Probabilidad de falla (Tasa de reparación por falla del equipo)		
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	Categoría	Puntaje
Semanal	Muy Alto	5
Mensual	Alto	4
Trimestral	Medio	3
Semestral	Bajo	2
Anual	Muy Bajo	1
I = Impacto (Impacto de la indisponibilidad del equipo en el negocio) I = LP x [axA + bxB + cxC + dxD]		
a, b, c, d, e, = Pesos Ponderados (Deben sumar uno)	Categoría	Puntaje
a		0.5
b		0.3
c		0.1
d		0.1
LP = Línea de producción		
Categoría	Puntaje	
Equipos directos en línea de producción	Alto	5
Equipos Auxiliares de apoyo a línea de producción	Medio	3
Equipos Auxiliares que no están en línea de producción	Bajo	1
A = Impacto Operacional		
Categorí a	Puntaj e	
Parada inmediata de toda la empresa	Muy Alto	5
Parada de toda la planta (recuperable en otra plantas)	Alto	4
Impacto a niveles de producción o calidad	Medio	3
Repercute a costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	Bajo	2
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	Muy Bajo	1
B = Costos de Reparación		
Categoría	Puntaje	
Gastos Altos, > S/. 10000	Muy Alto	5
Gasto Importante, S/. 5000 - S/. 10000	Alto	4
Gasto Razonable, S/. 1000 - S/. 5000	Medio	3
Gasto Bajo, S/. 100 - S/. 1000	Bajo	2
Gasto Irrelevante, < S/. 100	Muy Bajo	1
C = Impacto en la Seguridad		
Categoría	Puntaje	
Riesgo de muerte inminente o falla catastrófica en el equipo.	Muy Alto	5
Daños muy graves que dejan secuela después de un tratamiento o reparación	Alto	4
Daños graves, que desaparecen con tratamiento o reparación.	Medio	3
Daños leves, que desaparecen con tratamiento o reparación	Bajo	2
No existe riesgo para las personas ni equipos.	Muy Bajo	1
D = Impacto Ambiental		
Categorí a	Puntaj e	
Daños medioambientales irreversibles fuera de la empresa	Muy Alto	5
Daños medioambientales irreversibles dentro de la empresa	Alto	4
Daños medioambientales cuyos efectos no violan las normativas	Medio	3
Daños medio ambientales reversibles	Bajo	2
No provoca ningún daño.	Muy Bajo	1

Fuente: Elaboración propia.

La cuantificación de criterios es comparada con la matriz de criticidad a utilizar, según Norma Norzok Z-008 y API 580, la cual se muestra en la Figura N°16.

Cuadro N° 11: Matriz de criticidad a utilizar.

Probabilidad						
Muy Alto	5	2	2	3	3	3
Alto	4	1	2	2	3	3
Medio	3	0	1	2	3	3
Bajo	2	0	0	1	2	3
Muy Bajo	1	0	0	1	2	2

0 a 5	5.1 a 10	10.1 a 15	15.1 a 20	20.1 a 25	Impacto
Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	

Alta Criticidad	3
Mediana Criticidad	2
Baja Criticidad	1
No Critico	0

Finalmente valorizamos cada uno de los criterios para cada una de las máquinas de las diferentes áreas de la empresa lo cual podemos apreciar en el Cuadro N° 10.

De los resultados obtenidos, podemos ver la diferencia de criticidad que presenta cada una de las máquinas de las diferentes áreas de la empresa. Se puede observar que las dos fresadoras CNC junto con el torno CNC son las máquinas que presentan una alta críticas. Entre las máquinas que presentan una mediana criticidad tenemos a las dos inyectoras, la máquina fresadora mecánica y los tres tornos mecánicos. A su vez, podemos apreciar que las máquinas que presentan una baja criticidad son los taladros mecánicos y finalmente apreciamos las máquinas no críticas las cuales están compuestas por los dos esmeriles y las dos prensas hidráulicas.

Cuadro N° 12: Análisis de criticidad de la empresa Fabricaciones Generales Mantenimiento y Servicios S.A.C.

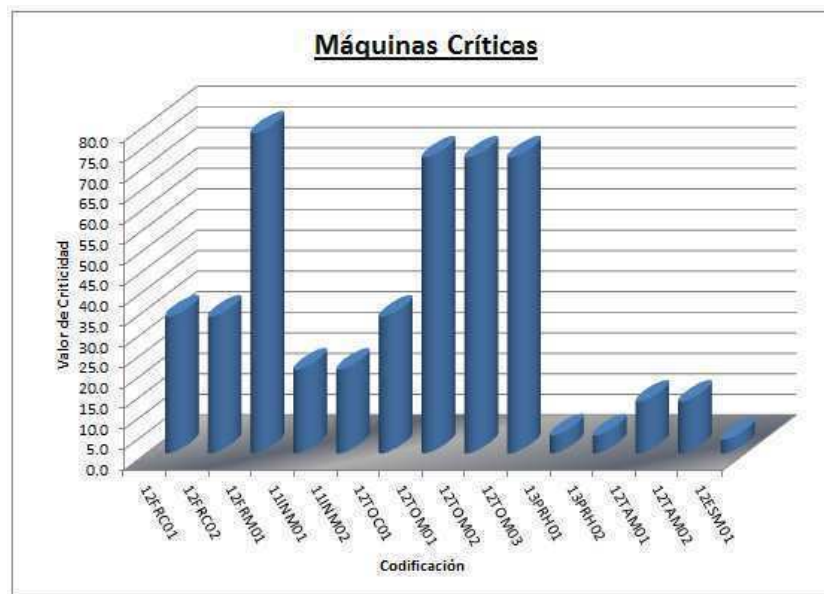
CRITICIDAD DE LA EMPRESA FABRICACIONES GENERALES, MANTENIMIENTO Y SERVICIOS S.A.C.

Ítem	Área	Equipo	Código	Frecuencia de Falla (FF)	Línea de Producc. (LP)	Imp. Operaciones			Impac. Seguridad		Impac. Ambiental		Impacto	Criticidad	Matriz
						0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1				
1	Manufactura	Fresadora CNC	12FRC01	3	3	4	4	3	3	2	2	11.1	33.3	2	
2	Manufactura	Fresadora CNC	12FRC02	3	3	4	4	3	3	2	2	11.1	33.3	2	
3	Manufactura	Fresadora Mecánica	12FRM01	4	5	5	3	3	3	2	2	19.5	78.0	3	
4	Inyección	Injectora Mecánica	11NIM01	2	3	4	3	2	2	3	3	10.2	20.4	1	
5	Inyección	Injectora Mecánica	11NIM02	2	3	4	3	2	2	3	3	10.2	20.4	1	
6	Manufactura	Torno CNC	12TOC01	3	3	4	4	3	3	2	2	11.1	33.3	2	
7	Manufactura	Torno Mecánico	12TOM01	4	5	5	2	3	3	2	2	18	72.0	3	
8	Manufactura	Torno Mecánico	12TOM02	4	5	5	2	3	3	2	2	18	72.0	3	
9	Manufactura	Torno Mecánico	12TOM03	4	5	5	2	3	3	2	2	18	72.0	3	
10	Vulcanizado	Presna Hidráulica	13PRH01	1	2	3	1	1	1	3	3	4.4	4.4	0	
11	Vulcanizado	Presna Hidráulica	13PRH02	1	2	3	1	1	1	3	3	4.4	4.4	0	
12	Manufactura	Taladro Mecánico	12TAM01	3	2	2	2	3	3	2	2	4.2	12.6	0	
13	Manufactura	Taladro Mecánico	12TAM02	3	2	2	2	3	3	2	2	4.2	12.6	0	
14	Manufactura	Esmeril	12ESM01	1	2	2	1	3	3	1	1	3.4	3.4	0	

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados los podemos apreciar en la Cuadros N°12, 13 y Figura N°24.

Figura N° 24: Figura de Criticidad de Equipos.



Los resultados de la criticidad los vemos resumidos en la Figura N°24.

Cuadro N°13: Resumen de Análisis de Criticidad.

FABRICACIONES GENERALES MANTENIMIENTO Y SERVICIOS S.A.C.				
PLANTA DE CERRO COLORADO ALTO LIBERTAD 2014				
ITEM	EQUIPO	CÓDIGO	CRITICIDAD	NIVEL
1	Fresadora CNC	11INM01	33.3	Criticidad Media
2	Fresadora CNC	11INM02	33.3	Criticidad Media
3	Fresadora Mecánica	12FRC01	78.0	Criticidad Alta
4	Inyectora Mecánica	12FRC02	20.4	Criticidad Baja
5	Inyectora Mecánica	12FRM01	20.4	Criticidad Baja
6	Torno CNC	12TOC01	33.3	Criticidad Media
7	Torno Mecánico	12TOM01	72.0	Criticidad Alta
8	Torno Mecánico	12TOM02	72.0	Criticidad Alta
9	Torno Mecánico	12TOM03	72.0	Criticidad Alta
10	Prensa Hidráulica	12TAM01	4.4	Criticidad Nula
11	Prensa Hidráulica	12TAM02	4.4	Criticidad Nula
12	Taladro Mecánico	12ESM01	4.2	Criticidad Nula
13	Taladro Mecánico	12ESM02	4.2	Criticidad Nula
14	Esmeril	13PRH02	3.4	Criticidad Nula

Fuente: Elaboración propia.

En la Cuadro N°13, se muestra la distribución de cada una de las máquinas del taller. Cada una de ellas se encuentra con su codificación y el color que le corresponde de acuerdo al análisis de criticidad que se ha realizado. Esta última figura permite tener una mejor idea de donde está ubicada cada una de las máquinas, con el fin de que cualquier persona pueda ubicarse de una manera fácil.

5.2.3. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y CODIFICACION

Una vez elaborada la lista de máquinas, la codificación y haber definido el tipo de mantenimiento adecuado para cada una de ellas, el paso siguiente es elaborar una ficha para cada uno de los ítems, con algún nivel de criticidad, que componen dicha lista. La ficha técnica debe contener los datos más sobresalientes que afecten al mantenimiento de cada uno de las máquinas analizadas.

Al elaborar estas fichas se debe comenzar por las máquinas más críticas y luego continuar hasta terminar con las de menor criticidad.

De la Figura N° 25 a la Figura N° 35 se muestran las fichas técnicas de las máquinas que presentan algún nivel de criticidad

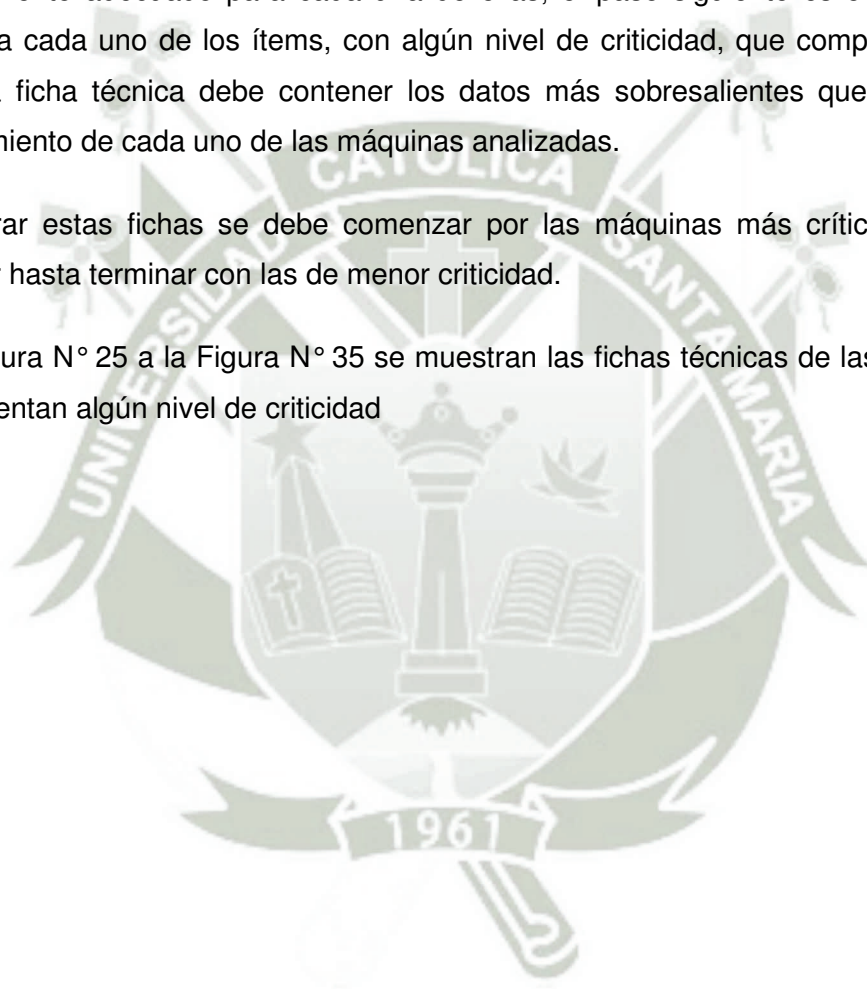


Figura N° 25: Ficha Técnica de Fresadora CNC 12FRC01.



FRESADORA CNC KIRA MIYANO	
FGMS	CÓDIGO: 12FRC01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	KIRA MIYANO
AÑO DE FABRICACIÓN	
DESCRIPCIÓN	FRESADORA CNC 18 HERRAMIENTAS
DIMENSIONES	L x W x H 1500x1600x2000
PROCEDENCIA	JAPON
MANUAL	NO
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	BLANCO
CRITICIDAD	ALTA
MANTENIMIENTO	PREDICTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	15 KV
VOLTAJE	380 V
AMPERAJE	
POTENCIA	5 HP / 7.5 HP
CONTROLADOR	GSK, Syntec
MAQUINA	
PESO	2800 kg
CAPACIDAD	2.0 KW servo motor
x	500 mm
y	360 mm
z	360 mm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 26: Ficha Técnica de Fresadora CNC 12FRC02.



FRESADORA CNC BRIDGEPORT TC-2	
FGMS	CÓDIGO 12FRC01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	BRIDGEPORT
AÑO DE FABRICACIÓN	1991
DESCRIPCIÓN	FRESADORA CNC 22 HERRAMIENTAS
DIMENSIONES	L x W x H 2000x1800x2100mm
PROCEDENCIA	EEUU
MANUAL	SI
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Azul
CRITICIDAD	ALTA
MANTENIMIENTO	PREDICTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	8.0 KVA
VOLTAJE	460 V / 480 V
AMPERAJE	
POTENCIA	5.5 HP
CONTROLADOR	
MAQUINA	
PESO	2955 kgs
CAPACIDAD	5.0 Kw servo motor
Longitud mesa de trabajo: x	560 mm
Ancho mesa de trabajo: y	406 mm
Altura de maquina: z	508 mm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 27: Ficha Técnica de Torno CNC 12TOC01.



TORNO CNC PINACHO - MUSTANG	
FGMS	CÓDIGO 12TOC01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	ROMI
AÑO DE FABRICACIÓN	2001
DESCRIPCIÓN	TORNO CNC CONTROLADOR FANUC
DIMENSIONES	L x W x H 850x550x420 mm
PROCEDENCIA	BRASIL
MANUAL	NO
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Azul
CRITICIDAD	ALTA
MANTENIMIENTO	PREDICTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	Smart Turn 200
VOLTAJE	380 V
AMPERAJE	12 A
CONTROLADOR	
MAQUINA	
PESO	1600 Kg
CAPACIDAD	0 – 3.000 omw
POTENCIA	2.5 kW
VELOCIDAD	100 – 3000 rpm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 28: Ficha Técnica de Torno Mecánico 12TOM01.



TORNO CNC PINACHO - MUSTANG	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 12TOM01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	PINACHO
AÑO DE FABRICACIÓN	1992
DESCRIPCIÓN	TORNO MECANICO
DIMENSIONES	L x W x H: 2250×1000 ×1320mm
PROCEDENCIA	ESPAÑOL
MANUAL	SI
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Gris / Celeste
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	
VOLTAJE	380 V
AMPERAJE	12 A
PESO	
MAQUINA	
PESO	1355 kg
CAPACIDAD	Recorrido longitudinal: 200 mm Diámetro: 800 mm
POTENCIA	2.2 KW
VELOCIDAD	40 -1400 rpm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 29: Ficha Técnica de Torno Mecánico 12TOM02.



TORNO MECANICO C0632C	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 12TOM02
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	WINSTON
AÑO DE FABRICACIÓN	1991
DESCRIPCIÓN	TORNO MECANICO
DIMENCIONES	L x W x H 1940 x 860 x 1520mm
PROCEDENCIA	POLONIA
POSEE MANUAL	NO
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Celeste
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	
VOLTAJE	230 V
AMPERAJE	12 A
PESO	
MAQUINA	
PESO	1300 kg
CAPACIDAD	Recorrido longitudinal: 200 mm Diámetro: 800 mm
POTENCIA	2.4 KW
VELOCIDAD	70-2000 rpm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°30: Ficha Técnica de Torno Mecánico 12TOM03.



TORNO MECANICO CW6280C	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 1-3TR-03
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	PULUTE
AÑO DE FABRICACION	1992
DESCRIPCION	TORNO MECANICO
DIMENCIONES	3500*1000*1600 mm
PROCEDENCIA	EEUU
MANUAL	No
FECHA DE INSTALACION	
COLOR	VERDE
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	Pulute
VOLTAJE	380V
AMPERAJE	12A
MAQUINA	
CAPACIDAD	1 set
POTENCIA	6.0 KW
VELOCIDAD	40 -1200 rpm
PESO	1500 kg

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 31: Ficha Técnica de Fresadora Mecánica 12FRM01.



FRESADORA	
FGMS	CÓDIGO 12FRM01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	LAGUN
AÑO DE FABRICACIÓN	1980
DESCRIPCIÓN	FRESADORA
DIMENSIONES	L x W x H 2556x2159x1830
PROCEDENCIA	EEUU
MANUAL	NO
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Gris
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	7 H.P.
VOLTAJE	3 KW
AMPERAJE	60 A
MAQUINA	
PESO	3850 kw
CAPACIDAD	1 Pieza
Longitud mesa de trabajo: x	1450 mm
Ancho mesa de trabajo: y	300 mm
Altura de maquina: z	300 mm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 32: Ficha Técnica de Inyectora Mecánica 11INM01.



INYECTORA DE PLASTICO BATTENFELD SY – 1800 III	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 11INM01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	BATTENFELD
AÑO DE FABRICACIÓN	1994
DESCRIPCIÓN	INYECTORA DE PLASTICO
DIMENCIONES	L x W x H 5200x1500x1750
PROCEDENCIA	EE.UU.
MANUAL	NO
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Naranja
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	KBD - 1380
VOLTAJE	220 v
AMPERAJE	12 A
MAQUINA	
PESO	5.5 T
CAPACIDAD	180 L
PRESION MAX.	1874 bar
VELOCIDAD	197 - 249 g/s
PESO	5.5 T

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 33: Ficha técnica de Inyectora Mecánica 11INM02.



INYECTORA ISF 190 SII Toshiba	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 11INM02
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	TOSHIBA
AÑO DE FABRICACIÓN	1992
DESCRIPCIÓN	INYECTORA DE POLIURETANO
DIMENCIONES	L x W x H 18.5' x3.8' x6.9'
PROCEDENCIA	USA
MANUAL	SI
FECHA DE INSTALACIÓN	
COLOR	Blanco / Amarillo
CRITICIDAD	MEDIA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	Baja inercia T std.
VOLTAJE	220 v
AMPERAJE	12 A
MAQUINA	
PESO	2000 kg
CAPACIDAD	190 L
PRESION MAX.	3500 psi
VELOCIDAD	1500 - 2000 g /s

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 34: Ficha técnica de Taladro Mecánico 12TAM01.



TALADRO Z5032/1	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 12TAM01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	L & T
AÑO DE FABRICACIÓN	1990
DESCRIPCIÓN	MAQUINA TALADRO
DIMENSIONES	L x W x H: 1850x750x1000
PROCEDENCIA	CHINA
MANUAL	SI
MÁXIMO DIAMETRO DE PERFORACION	35 mm
COLOR	Blanco / Gris
CRITICIDAD	BAJA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	0.75 KW (1HP)
VELOCIDAD	1400 rpm
VOLTAJE	220
PESO	437 kg
MAQUINA	
CAPACIDAD	1 Pieza
Longitud mesa de trabajo: x	515 mm
Ancho mesa de trabajo: y	645 mm
Altura de maquina: z	320 mm

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 35: Ficha Técnica de Taladro Mecánico 12TAM02.



TALADRO SYDERIC	
<i>FGMS</i>	CÓDIGO 12TAM01
DATOS DEL EQUIPO	
MARCA	SYDERIC
AÑO DE FABRICACIÓN	
DESCRIPCIÓN	MAQUINA TALADRO
DIMENSIONES	L x W x H: 1770x540x1020
PROCEDENCIA	FRANCIA
MANUAL	NO
MÁXIMO DIÁMETRO DE PERFORACION	36 mm
COLOR	AZUL / GRIS
CRITICIDAD	BAJA
MANTENIMIENTO	PREVENTIVO
MOTOR DE LA BOMBA	
MOTOR	0.75 CV
VELOCIDAD	1410 rpm
VOLTAJE	220 V
PESO	250 kg
MAQUINA	
CAPACIDAD	1 Pieza
Longitud mesa de trabajo: x	330 mm
Ancho mesa de trabajo: y	360 mm
Altura de maquina: z	320 mm

Fuente: Elaboración propia.

5.3. IMPLEMENTACION DE LA FASE 3, 4, 5: POR MEDIO DEL ANALISIS DE MODOS DE FALLOS Y SUS EFECTOS- AMFE

En un AMFE, se otorga una prioridad a los fallos dependiendo de cuan serias sean sus consecuencias, la frecuencia con la que ocurren y con qué dificultad pueden ser localizadas.

Un AMFE también documenta el conocimiento existente y las acciones sobre riesgos o fallos que deben ser utilizadas para lograr una mejora continua. El AMFE se utiliza durante la fase de diseño para evitar fallos futuros. Posteriormente es utilizado en las fases de control de procesos, antes y durante estos procesos. Idealmente, un AMFE empieza durante los primeros niveles conceptuales del proyecto y continúa a lo largo de la vida del producto o servicio.

La finalidad de un AMFE es eliminar o reducir los fallos, comenzando por aquellos con una prioridad más alta. Puede ser también utilizado para evaluar las prioridades de la gestión del riesgo. El AMFE ayuda a seleccionar soluciones que reducen los impactos acumulativos de las consecuencias del ciclo de vida (riesgos) del fallo de un sistema (fallo).

En los siguientes cuadros se implementa el AMFE de las fases 3, 4, 5; para un torno mecanico de Empresa, donde nos permite realizar los puntos correspondientes de la metodología de RCM según los indicado.



CUADRO N°14: Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Bancada

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)		MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO
1	Permitir el desplazamiento de 1.8 mts.de los componentes mecánicos para mecanizar las piezas	A	No permite el desplazamiento de los componentes mecánicos	1	Rotura de bancada	Correctivo	Mecanico	Cambio de componente
				2	Rotura de bancada por operación brusca	Correctivo	Mecánico	Cambio de componente
				3	Golpes en la bancada	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				4	Fractura de bancada por corrosión	Preventivo	Mecánico	Corrección de la fractura de la de la bancada
				5	Rotura de polea por soltura de perno	Correctivo	Mecánico	Cambio de pernos de polea
				6	Rotura de polea por soltura de chaveta	Correctivo	Mecánico	Cambio de pernos de polea
				7	Rotura de polea por soltura de tuerca	Correctivo	Mecánico	Cambio de pernos de polea
				8	Rotura de polea por fatiga	Correctivo	Mecánico	Cambio de pernos de polea
				9	Rotura de la cremallera por corrosión	Preventivo	Mecánico	Inspección y lubricación de la cremallera
				10	Rotura de la cremallera eje por fatiga	Preventivo	Mecánico	Inspección de la cremallera
				11	Rotura de la cremallera eje por desgaste	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
				12	Rotura de la cremallera eje por fractura	Proactivo	Mecánico	Capacitación y entrenamiento del personal
				13	Fractura del soporte del motor por corrosión	Preventivo	Mecánico	Inspección mantenimiento de la cubierta
				14	Rotura del soporte del motor por fractura	Correctivo	Mecánico	Cambiar soporte fracturado
				15	Rotura del soporte del motor por desgaste	Preventivo	Mecánico	Inspección de la caja principal
				16	Rotura del montaje del soporte del motor	Correctivo	Mecánico	Cambio de soporte de motor
				17	Rotura de los pernos de los soporte del motor	Correctivo	Mecánico	Cambiar pernos del soporte del motor
				18	Rotura del eje por corrosión	Predictivo	Mecánico	Realizar inspección ferrográfica
				19	Rotura del eje por fatiga	Predictivo	Mecánico	Inspecciones antes de uso

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
			20	Rotura del eje por desgaste	Preventivo	Mecánico	Inspección y lubricación de eje antes de su uso
			21	Rotura del eje por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			22	Rotura de los pernos de la caja eléctrica	Preventivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
			23	Rotura de la caja eléctrica por corrosión	Predictivo	Mecánico	Inspección de la caja eléctrica
			24	Rotura de la caja eléctrica por desgaste	Predictivo	Mecánico	Inspección de la caja eléctrica
			25	Golpes en la caja eléctrica	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			26	Rotura del freno de palanca por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección
			27	Rotura del freno de palanca por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección
			28	Rotura del freno de palanca por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
			29	Rotura del freno de palanca por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			30	Rotura del pedal de freno por corrosión	Predictivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
			31	Rotura del pedal de freno por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
			32	Rotura del pedal de freno por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			33	Rotura del eje conector por corrosión	Predictivo	Mecánico	Programa de inspección ferrografica
			34	Rotura del eje conector por fatiga	Predictivo	Mecánico	Programa semestral de inspección
			35	Rotura del eje conector por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
			36	Rotura del eje conector por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			37	Rotura del eje de transmisión por corrosión	Predictivo	Mecánico	Programa de inspección ferrografica
			38	Rotura del eje de transmisión por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección
			39	Rotura del eje de transmisión conector por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
			40	Rotura del eje de transmisión por fractura	Corrctivo	Mecánico	Cambio de eje de transmision
	B	Permite el desplazamiento menor de 1.8 mts de los componentes mecánicos	1	Falla extremo de la bancada	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
			2	Rajadura de la bancada por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			3	Golpes en la bancada	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
			4	Rotura de chaveta	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
		5	Rajadura de la polea del cabezal por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		6	Golpes en la polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		7	Rodamientos en mal estado	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		8	Falta de inspección y lubricación de la cremallera	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		9	aplicar altas velocidades de trabajo sobre la cremallera	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		10	Rotura parte del soporte	Predictivo	Mecánico	Programa semestral de inspección	
		11	Rajadura del soporte del motor por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		12	Golpes en el soporte del motor	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		13	Falta de inspección y lubricación del eje	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		14	aplicar altas velocidades de trabajo en el eje de engranajes	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		15	Los pernos de sujeción están sueltos	Preventivo	Mecánico	Programa de inspección	
		16	Golpes en la caja eléctrica	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		17	Falta de inspección y lubricación del freno de palanca	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		18	aplicar altas velocidades de trabajo	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		19	Rajadura del freno de palanca por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		20	Rajadura del pedal del freno por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		21	Golpes en el pedal del freno	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		22	Mala operación	Proactivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		23	Falta de inspección y lubricación del eje conector	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		24	Aplicación de altas velocidades de trabajo	Predictivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		25	Falta de inspección y lubricación del eje de transmisión	Preventivo	Mecánico	Capacitación del personal de mantenimiento	
		26	aplicar altas velocidades de trabajo	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		27	Fracturas donde están soportados los componentes del torno mecánico	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la)		MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO
2	Ser capaz de soportar los componentes que se deslizan en el torno mecánico	A	No soporta los componentes que se deslizan en el torno mecánico	1	Sobrecarga de trabajo en los pernos de polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				2	Sobrecarga de tensión en los pernos de la polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				3	Se aplica un torque superior a lo recomendado	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				4	Fractura de la chaveta por corrosión	Predictivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				5	Fractura de la chaveta por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				6	Fractura de la chaveta por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				7	Fractura de la chaveta por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				8	Sobrecarga de trabajo en las tuercas de los pernos de polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				9	Sobrecarga de trabajo en las tuercas de la polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				10	Se aplica un torque superior a lo recomendado	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				11	La resistencia de la tuerca es inferior a la estimada	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
				12	Se hace ensambles y desensambles frecuentemente	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				13	Fractura de la cremallera por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				14	Fractura de la cremallera por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				15	Fractura de la cremallera por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				16	Fractura de la cremallera por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				17	Fractura de los pernos que sujetan a la cremallera	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
				18	Fractura del soporte del motor por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				19	Fractura del soporte del motor por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				20	Fractura del soporte del motor por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
				21	Error del montaje del soporte del motor	Proactivo	Mecánico	Asignar a una empresa de servicios

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
		22	Fractura de los pernos que al soportan del motor	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	
		23	Fractura de la cremallera por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		24	Fractura de la cremallera por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		25	Fractura de la cremallera a por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		26	Fractura de los pernos de la caja eléctrica	Preventivo	Mecánico	Asignar a una empresa de servicios	
		27	Rotura de la caja eléctrica por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		28	Rotura de la caja eléctrica por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		29	Error del montaje de la caja del motor	Proactivo	Mecánico	Asignar a una empresa de servicios	
		30	Fractura del freno de palanca por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		31	Fractura del freno de palanca por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		32	Fractura del freno de palanca por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		33	Fractura del freno de palanca por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	
		34	Fractura de los pernos que sujetan al freno de palanca	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería	
		35	Fractura de los pines de sujeción del freno de palanca	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería	
		36	Fractura del pedal de freno por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		37	Fractura del pedal de freno por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		38	Fractura del pedal de freno por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	
		39	Fractura de los pernos que sujetan al pedal de freno	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería	
		40	Fractura de los pines de sujeción del pedal de freno	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería	
		41	Rotura del eje conector por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		42	Rotura del eje conector por fatiga	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		43	Rotura del eje conector por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección	
		44	Rotura del eje conector por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	
		45	Fractura de los pines de sujeción del eje conector	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería	

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
			46	Rotura del eje de transmisión por corrosión	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			47	Rotura del eje de transmisión por fatiga	Predictivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			48	Rotura del eje de transmisión conector por desgaste	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			49	Rotura del eje de transmisión por fractura	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			50	Fractura de los pines de sujeción del eje de transmisión	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
	B	Soporta parcialmente los componentes que se deslizan en el torno	1	Fracturas parciales debajo de los soportes de los componentes	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
			2	Rajadura de la polea del cabezal por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			3	Golpes en la polea	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			4	Fractura de polea por soltura de perno	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			5	Fractura de polea por soltura de chaveta	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			6	Fractura de polea por soltura de tuerca	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			7	Desgaste parcial de la cremallera	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			8	Rotura parte del soporte	Predictivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			9	Rajadura del soporte del motor por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			10	Golpes en el soporte del motor	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			11	Error del montaje del soporte del motor	Proactivo	Mecánico	Asignar a una empresa de servicios
			12	Desgaste parcial del eje	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			13	La caja eléctrica no está correctamente empotrada	Preventivo	Mecánico	Programa de actividad semestral de inspección
			14	Fractura de la caja eléctrica	Preventivo	Mecánico	Correccion de fractura
			15	Desgaste parcial del freno de palanca	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			16	Rajadura del freno de palanca por mala operación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			17	Rajadura del pedal del freno por mala operación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			18	Golpes en el pedal del freno	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM II: APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: BANCADA						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
		19	El pedal del freno se traba o atasca	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	
		20	Desgaste parcial del eje conector	Preventivo	Mecánico	Relleno de material con soldadura	
		21	Desgaste parcial del eje de transmisión	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal	



CUADRO N°15: Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Transmisión

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: CAJA DE ENGRANAJES						Parte: 1		
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Perdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO		
1	Transmitir las revoluciones desde el motor eléctrico por medio de ejes y engranajes hacia el cabezal de sujeción de piezas, para cilindrar y roscar.	A	Totalmente incapaz de transmitir las revoluciones al cabezal	1	Error de diseño	Proactivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento
				2	Error de procuración	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento Consultar al proveedor de la maquina
				3	Error de ensamblaje	Proactivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
				4	Concentración de esfuerzos en escalonamiento del eje	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento
				5	Fatiga bajo la superficie en la pista exterior	Preventivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
				6	Bolillas desgastadas	Proactivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				7	Fallan los sellos de cojinete	Preventivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
				8	Falla la grasa	Proactivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				9	Lubricante que no corresponde	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
				10	Dañado antes de la instalación	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección
				11	Dañado durante la instalación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				12	Cojinete desaliñado	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación
				13	Instalación de un cojinete incorrecto	Preventivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
				14	Polea toma juego	Proactivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				15	Acero de la chaveta incorrectamente especificado	Preventivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina
				16	Acero de la chaveta incorrectamente suministrado	Proactivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				17	Chaveta demasiado corta	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				18	Corte por fatiga de la torsión	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios
				19	Desgaste normal	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: CAJA DE ENGRANAJES						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
		20	Falla de lubricación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento	
		21	Cojinete mal instalado	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación	
		22	Acero del engranaje incorrectamente especificado	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina	
		23	Falla por mala sincronización	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		24	Falla de apriete	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación	
		25	Acero de la chaveta incorrectamente especificado	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento	
		26	Acero de la chaveta incorrectamente suministrado	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		27	Chaveta demasiado corta	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		28	Corte por fatiga de la torsión	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		29	Desgaste normal	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal de mantenimiento	
		30	Falla de lubricación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		31	Cojinete mal instalado	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		32	Acero del engranaje incorrectamente	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		33	Falla por mala sincronización	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina	
		34	Acero de la chaveta incorrectamente especificado	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina	
		35	Acero de la chaveta incorrectamente suministrado	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		36	Chaveta demasiado corta	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	
		37	Corte por fatiga de la torsión	Proactivo	Mecánico	Consultar al proveedor de la maquina	
		38	Desgaste normal	Preventivo	Mecánico	Programa semestral de inspección y lubricación	
		39	Falla de lubricación	Preventivo	Mecánico	Capacitación previa de operarios	

CUADRO N°16: Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Eléctrico

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO						Parte: 1		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Perdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
1	Brindar la energía eléctrica necesaria para el equipo, tomada de la red de distribución, con la finalidad de transformarla en energía de potencia mecánica.	A	No brinda la energía eléctrica necesaria para el equipo, tomada de la red de distribución, con la finalidad de transformarla en energía de potencia mecánica.	1	Falla el aislamiento	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Cable roto	Predictivo	Electricidad	Monitoreo regular mediante instrumentos
				3	Falla de conexión	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección
				4	Fallan contactos ni / no	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla de bobina	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla en borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				7	Falla de transformador	Proactivo	Electricidad	Asignar al departamento suministrador
				8	Falla relé sobrecarga	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				9	Falla pulsador arranque	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				10	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				11	Falla de fusible	Correctivo	Electricidad	Cambio de fusible
				12	Falla pulsador parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				13	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				14	Falla del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				15	Bloqueo del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				16	Falla en el estator	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				17	Falla ventilador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				18	Falla tapa posterior	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				19	Falla cojinetes	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				20	Falla caja bornera	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				21	Falla del aislamiento	Predictivo	Electricidad	Monitoreo regular mediante instrumentos

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO						Parte: 1		
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIE	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO		
		B	Brinda inadecuada energía eléctrica para el equipo, tomada de la red de distribución, con la finalidad de transformarla en energía de potencia mecánica	1	Falla el aislamiento	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Cable dañado	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Falla de conexión	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección
				4	Fallan contactos ni / no	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla de bobina	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla en borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				7	Falla de transformador	Proactivo	Electricidad	Asignar al departamento suministrador
				8	Falla relé sobrecarga	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				9	Falla pulsador arranque	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				10	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				11	Falla de fusible	Correctivo	Electricidad	Reemplazo de fusible
				12	Falla pulsador parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				13	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				14	Falla del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				15	Bloqueo del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				16	Falla en el estator	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				17	Falla ventilador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				18	Falla cojinetes	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				19	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				20	Falla del aislamiento	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección
2	No consumir más energía de la necesitada	A	En todo el proceso se consume más energía de la necesitada	1	Falla de transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Falla estator	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
				3	Falla del aislamiento	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
3	Prevenir daños por descargas eléctricas a los alumnos y personal que opera el equipo	A	Se producen descargas eléctricas a los operadores del equipo	1	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO							Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIE	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO		
4	Ser capaz de poner en marcha o detener el motor	B	2	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			3	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			4	Falla de puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			5	Falla tablero	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			6	Falla caja bornera	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			1	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		C	1	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			2	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			3	Falla caja bornera	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
			A	1	Pulsador de arranque	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Pulsador de parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
B	1	Pulsador de arranque no arranca	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
	2	Pulsador de parada no detiene	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
	3	El indicador no indica la condición actual del equipo	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
	4	Pulsador de arranque eventualmente no arranca	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
	5	Pulsador de parade eventualmente no detiene	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
	6	Indicador eventualmente no indica la condición actual del equipo	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal			
5	Usar normas estandarizadas para la conexión de terminales	A	No se utiliza un estándar de conexión de terminales	1	Falla contacto	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				4	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO							Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIE	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO		
6	Contar con un sistema de parada de emergencia en el equipo	B	Algunas conexiones no cumplen la norma utilizada	7	Falla caja de borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				1	Falla contacto	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				4	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
6	Contar con un sistema de parada de emergencia en el equipo	A	No se cuenta con un sistema de parada de emergencia	1	No existe pulsador de parada de emergencia	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				B	No responde adecuadamente el sistema de parada de emergencia	1	Pulsador de parada de emergencia no responde	Preventivo
7	Brindar la energía eléctrica necesaria para el equipo, tomada de la red de distribución, con la finalidad de transformarla en energía de potencia mecánica	A	No brinda la energía eléctrica necesaria para el equipo, tomada de la red de distribución, con la finalidad de transformarla en energía de potencia mecánica.	1	Falla el aislamiento	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Cable roto	Predictivo	Electricidad	Monitoreo regular mediante instrumentos
				3	Falla de conexión	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección
				4	Fallan contactos ni / no	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla de bobina	Predictivo	Electricidad	Monitoreo regular mediante instrumentos
				6	Falla en borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				7	Falla de transformador	Proactivo	Electricidad	Asignar al departamento suministrador
				8	Falla relé sobrecarga	Correctivo	Electricidad	Reemplazo de relé de sobrecarga
				9	Falla pulsador arranque	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				10	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				11	Falla de fusible	Correctivo	Electricidad	Cambio de fusible
				12	Falla pulsador parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				13	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO						Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIE	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	
		14	Falla del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		15	Bloqueo del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		16	Falla en el estator	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		17	Falla ventilador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		18	Falla cojinetes	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		19	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		20	Falla del aislamiento	Predictivo	Electricidad	Monitoreo regular mediante instrumentos	
	B	1	Falla el aislamiento	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		2	Cable dañado	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		3	Falla de conexión	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección	
		4	Fallan contactos ni / no	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		5	Falla de bobina	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		6	Falla en borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		7	Falla de transformador	Proactivo	Electricidad	Asignar al departamento suministrador	
		8	Falla relé sobrecarga	Correctivo	Mecánico	Reemplazo de relé	
		9	Falla pulsador arranque	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		10	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		11	Falla de fusible	Correctivo	Electricidad	Reemplazo de fusible	
		12	Falla pulsador parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		13	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		14	Falla del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		15	Bloqueo del rotor	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		16	Falla en el estator	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		17	Falla ventilador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		18	Falla cojinetes	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		19	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal	
		20	Falla del aislamiento	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección	

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA ELECTRICO							Parte: 1	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIE	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO		
8	Ser capaz de poner en marcha o detener el motor	A	No se puede controlar la puesta en marcha / detención del motor	1	Pulsador de arranque no arranca	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Pulsador de parada no detiene	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Indicador no indica la condición	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
		B	Control inadecuado de la puesta en marcha / detención del motor	1	Pulsador de arranque eventualmente no arranca	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Pulsador de parada no de tiene	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Indicador no indica la condición	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
9	Usar normas estandarizadas para la conexión de terminales	A	No se utiliza un estándar de conexión de terminales	1	Falla contacto	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				4	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				7	Falla caja de borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
		B	Algunas conexiones no cumplen la norma utilizada	1	Falla contacto	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				2	Falla pulsador arranque / parada	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				3	Falla indicador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				4	Falla transformador	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				5	Falla borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				6	Falla puesta a tierra	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
				7	Falla caja de borneras	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
10	Contar con un sistema de parada de emergencia en el equipo	A	No se cuenta con un sistema de parada de emergencia	1	No existe pulsador de parada de emergencia	Preventivo	Electricidad	Capacitación de personal
		B	No responde adecuadamente el sistema de parada de emergencia	1	Pulsador de parada de emergencia no responde	Preventivo	Electricidad	Programa de actividad semestral de inspección

CUADRO N°17: Modos de Fallo de una Maquina-Herramienta Torno Mecanico: Sistema Contrapunto

RESPONSABLE:							
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO							
NOMBRE DEL SISTEMA: CONTRAPUNTO						Parte: 1	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO
1	Sujetar piezas y herramientas con un correcto posicionamiento	A No sujeta las piezas y herramientas ni se posiciona correctamente	1	Falla por rotura del cuerpo del contrapunto	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			2	Falla por rotura del manguito	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			3	Falla por rotura del eje	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			4	Falla por rotura de la manivela	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			5	Falla por rotura del mango	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			6	Corte por fatiga	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			7	Corte por fatiga	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			8	Dimensiones de la chaveta inadecuadas	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			9	Rotura del cojinete por Desgaste	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			10	Esfuerzos excesivos sobre el cojinete	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			11	Atascamiento por falta de lubricación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			12	Falla por rotura de la base	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			13	Falla por rotura de la placa de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
		B La sujeción de piezas, herramientas y el posicionamiento son deficientes	1	Falla por desgaste del cuerpo del contrapunto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			2	Falla por juego excesivo del manguito	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
			3	Desgaste del eje	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
			4	Falla por desgaste de la manivela	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
			5	Falla por rajadura del mango	Proactivo	Mecánico	Asignar al departamento de diseño
			6	Falla por desgaste del tornillo	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
			7	Falla por deformación de la cuña	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos
8	Falla por desgaste de cojinete	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos			
9	Falla por cojinete desalineado	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal			
10	Desgaste de la base	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal			

RESPONSABLE:										
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO										
NOMBRE DEL SISTEMA: CONTRAPUNTO							Parte: 1			
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la	MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
2	Proteger al operador del contrapunto	A	No protege al operador del contrapunto	11	Desgaste de la placa de fijación	Predictivo	Mecánico	Monitoreo regular mediante instrumentos		
				1	Falla por lesiones al operador producidas por el cuerpo del contrapunto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
				2	Falla por lesiones al operador producidas por el manguito	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
				B	La protección del operador es inadecuada	1	Fallas por lesiones al operador producidas por el contra punto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
						2	Fallas por lesiones al operador producidas por el manguito	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
		3	Controlar la fijación en cualquier posición de la bancada	A	No controla la fijación en cualquier posición de la bancada	3	Fallas por lesiones al operador producidas por el manguito	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
						4	Fallas por lesiones al operador producidas por la manivela	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
						5	Fallas por lesiones al operador producidas por el mango	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
						1	Rotura del cuerpo del contrapunto por mala operación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
						2	Golpes en el cuerpo del contrapunto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
		4	Eficiencia en tolerancia y acabados de	A	No existe eficiencia en tolerancia y	3	Rotura del cuerpo del contrapunto por fatiga	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
4	Golpes en la base					Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
5	Vida útil de la base					Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería		
6	Falla del material de la base					Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería		
7	Golpes en la placa de fijación					Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
B	Control inadecuado de la fijación en cualquier posición de la bancada			8	Fin de la vida útil de la placa de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería		
				9	Falla del material de la placa de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería		
				10	Golpes en la palanca de fijación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
				11	Falla del material de la palanca de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería		
				1	Falla del cuerpo del contrapunto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
				2	Falla de la base	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal		
A	No existe eficiencia en tolerancia y	3	Falla en la placa de fijación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal				
		4	Falla en la palanca de fijación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal				
1	Rotura del cuerpo del contrapunto	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería						

RESPONSABLE:								
PROYECTO RCM : APLICACIÓN DEL RCM A LA MAQUINA-HERRAMIENTA TORNO MECANICO								
NOMBRE DEL SISTEMA: CONTRAPUNTO						Parte: 1		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la)		MODOS DE FALLA (Cusa de la Falla)		TIPO DE MANTENIMIENTO	DISCIPLINA	DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO
	piezas maquinadas		acabados de las piezas maquinadas					
		B	Ineficiente tolerancia y acabado de las piezas maquinadas	2	Rotura de la base	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
				3	Rotura de la placa de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
				4	Rotura de la palanca de fijación	Correctivo	Mecánico	Reparar después de la avería
				1	Falla del cuerpo del contrapunto	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				2	Falla de la base	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				3	Falla en la placa de fijación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal
				4	Falla en la palanca de fijación	Preventivo	Mecánico	Capacitación de personal



5.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA FASE 6, 7,8: LOS PROGRAMAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS, AGRUPACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE ESTAS MEDIDAS

En esta etapa de implementación respecto a las Fases 6,7,8; donde corresponde determinación, agrupación y puesta en marcha de un programa de mantenimiento preventivo efectuado después de un análisis riguroso por medio de AMFE y planificado de acuerdo a la base teórica y experiencia profesional sobre la especialidad de la ingeniería de mantenimiento, se ha implementado programas de mantenimiento representados en los Cuadros N° 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20; donde permitirán generar órdenes de trabajo automatizadas de mantenimientos programados a los diferentes sistemas de las máquinas herramientas seleccionadas como críticas y después seguir implementando a toda la planta para luego realizar una retroalimentación y poder mejorar la implementación del RCM a la Empresa denominada como nuestro proyecto.

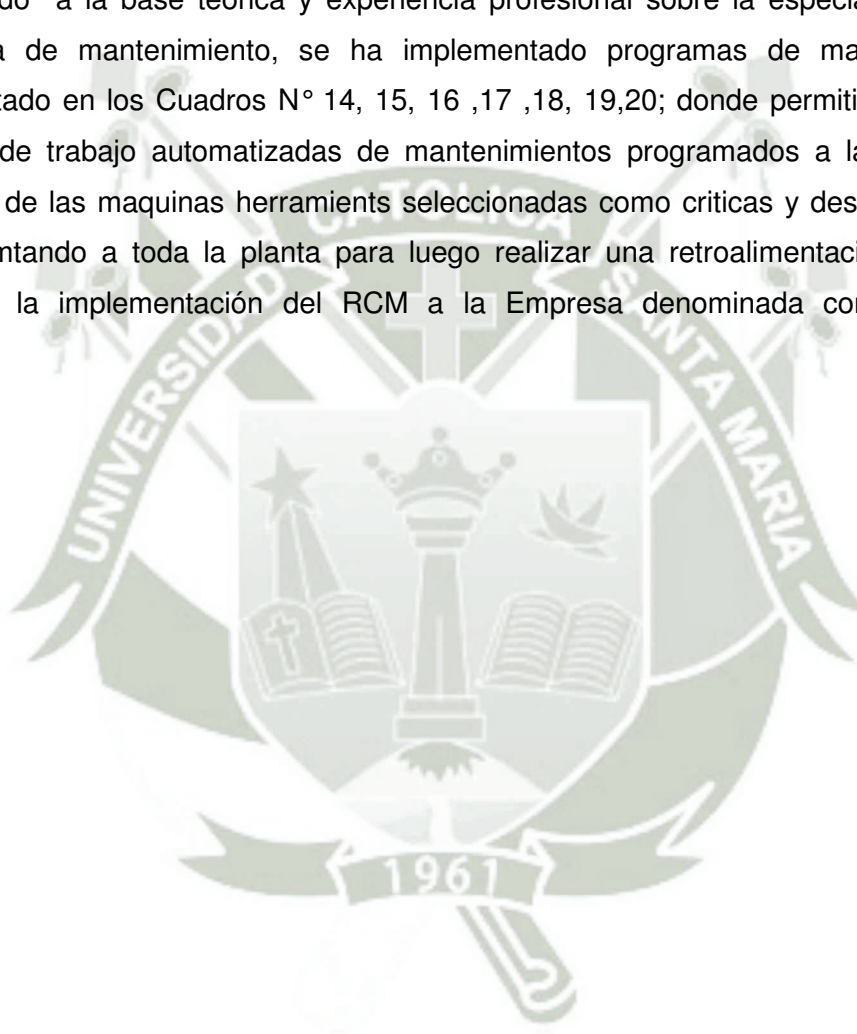
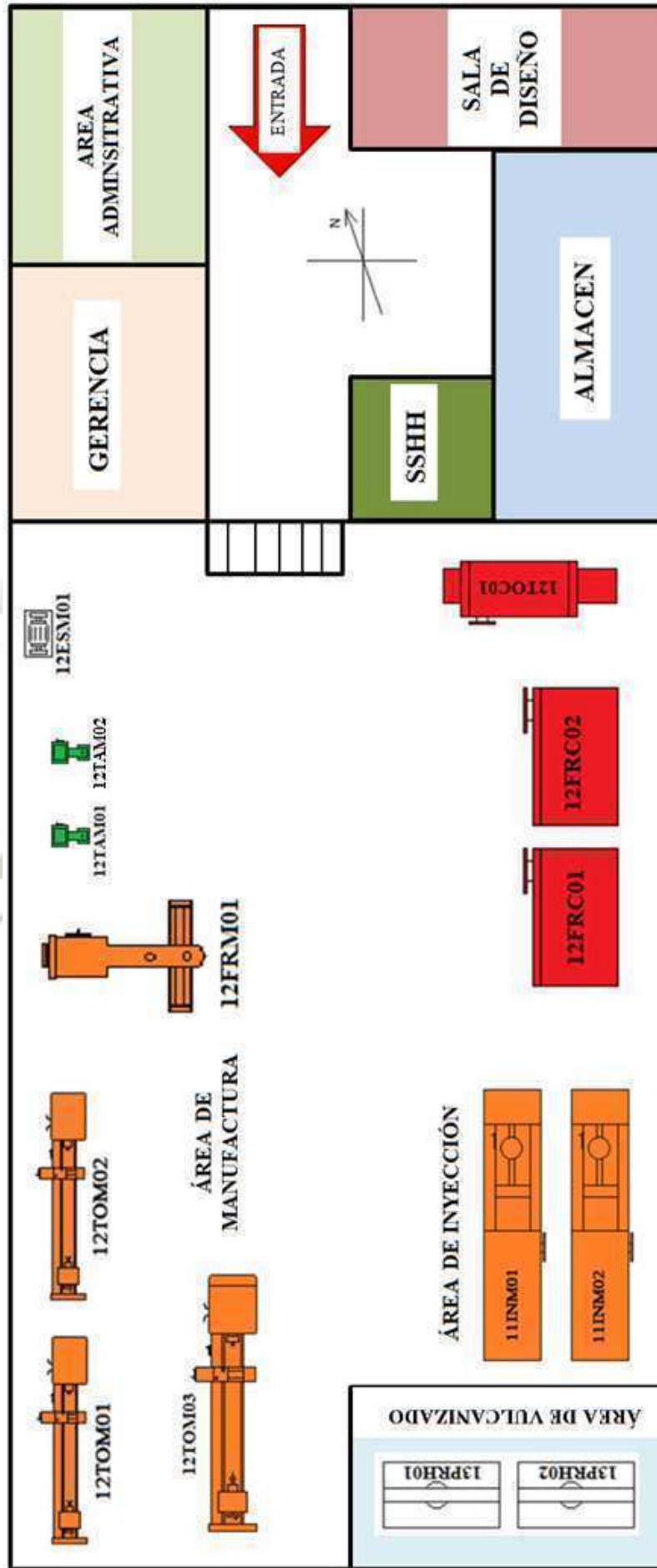


Figura N° 36: Planta de Distribución de las Máquinas- Herramientas Propuesto con la Codificación y Criticidad.



Finalmente, luego del análisis situacional de la empresa y apoyados con el análisis de criticidad efectuado, es que podemos concluir que es conveniente aplicar un mantenimiento correctivo a las máquinas no críticas, un mantenimiento preventivo a las máquinas de mediana y alta criticidad y un análisis predictivo a las máquinas de alta criticidad lo cual queda reflejado en la Figura N° 19.

Cuadro N° 25: Plan de mantenimiento a ser aplicada a cada máquina.

FABRICACIONES GENERALES MANTENIMIENTO Y SERVICIOS S.A.C.			
PLANTA DE CERRO COLORADO ALTO LIBERTAD 2015			
ITEM	EQUIPO	CÓDIGO	MANTENIMIENTO
1	Inyectora	11INM01	Preventivo
2	Inyectora	11INM02	Preventivo
3	Fresadora CNC	12FRC01	Proactivo
4	Fresadora CNC	12FRC02	Proactivo
5	Fresadora Mecánica	12FRM01	Proactivo
6	Torno CNC	12TOC01	Predictivo
7	Torno Mecánico	12TOM01	Proactivo
8	Torno Mecánico	12TOM02	Proactivo
9	Torno Mecánico	12TOM03	Proactivo
10	Taladro	12TAM01	Preventivo
11	Taladro	12TAM02	Preventivo
12	Esmeril	12ESM01	Correctivo
13	Prensa Hidráulica	13PRH01	Correctivo
14	Prensa Hidráulica	13PRH02	Correctivo

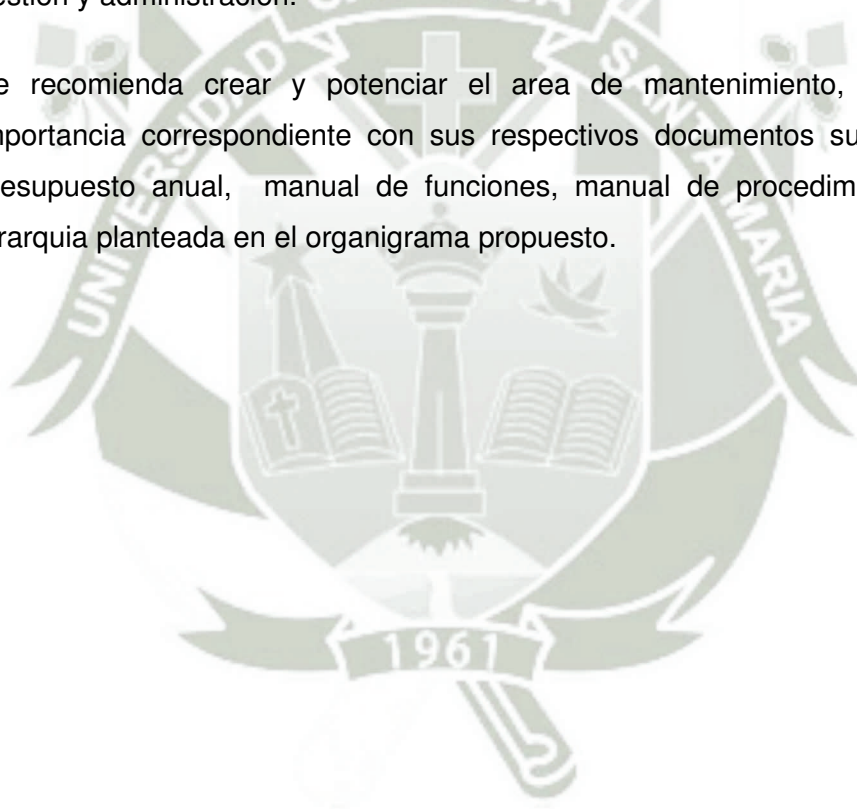
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. En la implemetacion del RCM a la empresa propuesta, una de las primeras actividades fue analizar y despues definir y poner en documento el contexto operacional de cada uno de los activos respecto a sus funciones primarias y secundarias.
2. Con el contexto operacional, y las funciones primarias y secundarias definido en cada activo de la empresa y puesto en documento ha llevado al cumplimiento de la comprensión y funcionamiento de las maquinas y equipos de todo el personal de la empresa.
3. Se ha realizado la metodologia de análisis de criticidad para cada uno de los activos de la empresa, nos permite definir los activos de baja criticidad, activos de media criticidad y activos de alta criticidad y realziar sus programas de mantenimiento desarrollado en el presente proyecto.
4. Se ha realizado el análisis de fallos y sus efectos a los activos de criticidad alta a la Maquina-Herramienta Torno Mecanico y Fresadora como esta desarrrrollado en el proyecto, cabemos indicar que los niveles de causalidad se hecho lo mas riguroso posible.
5. Concluimos con los programas de mantenimiento proactivo, nos permitirá mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las maquinas y por consiguiente con la retroalimentación y seguimeinto del proyecto nos llevara a una mejor efectividad de los indicadores.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar periódicamente un retroalimentación para corregir los errores o inconvenientes que se presentan en los objetivos y metas planteadas, de tal modo que la implementación sea un éxito y no solo un proyecto que se plantee como una alternativa de solución., porque las consecuencias son de gran envergadura como es el costo, tiempo, etc.
2. Se recomienda una capacitación periódica del personal de empresa no solo en las estrategias de gestión de mantenimiento en RCM, si no en otras estrategias que permitan que el personal este motivado en las nuevas estrategias de gestión y administración.
3. Se recomienda crear y potenciar el área de mantenimiento, dándole la importancia correspondiente con sus respectivos documentos sustentatorios, presupuesto anual, manual de funciones, manual de procedimientos y su jerarquía planteada en el organigrama propuesto.



BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. ANDREANI, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.
3. BERMÚDEZ, L. T., Rodríguez, F. L. (2013). Investigación en la Gestión Empresarial. Colombia: Editorial Eco Ediciones.
4. FERNÁNDEZ, S. (2007). Los Proyectos de Inversión. Evaluación Financiera. Costa Rica: Editorial. Tecnología de Costa Rica
5. HERNÁNDEZ, R., Fernández, C. & Baptista L. P.(2003). Metodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill.
6. MORA, G, A. (2003). Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. México: Editorial Alfa omega.
7. MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición.
8. ÑAUPAS, P. H., Mejía, E., Novoa, E. & Villagómez, A. (2013). Metodología de Investigación Científica y Elaboración de Tesis. Perú: Editorial Printed in Perú.
9. PARRA, C. A., Márquez, A., Crespo, M. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Argentina: Editorial INGEMAN Primera Edición.

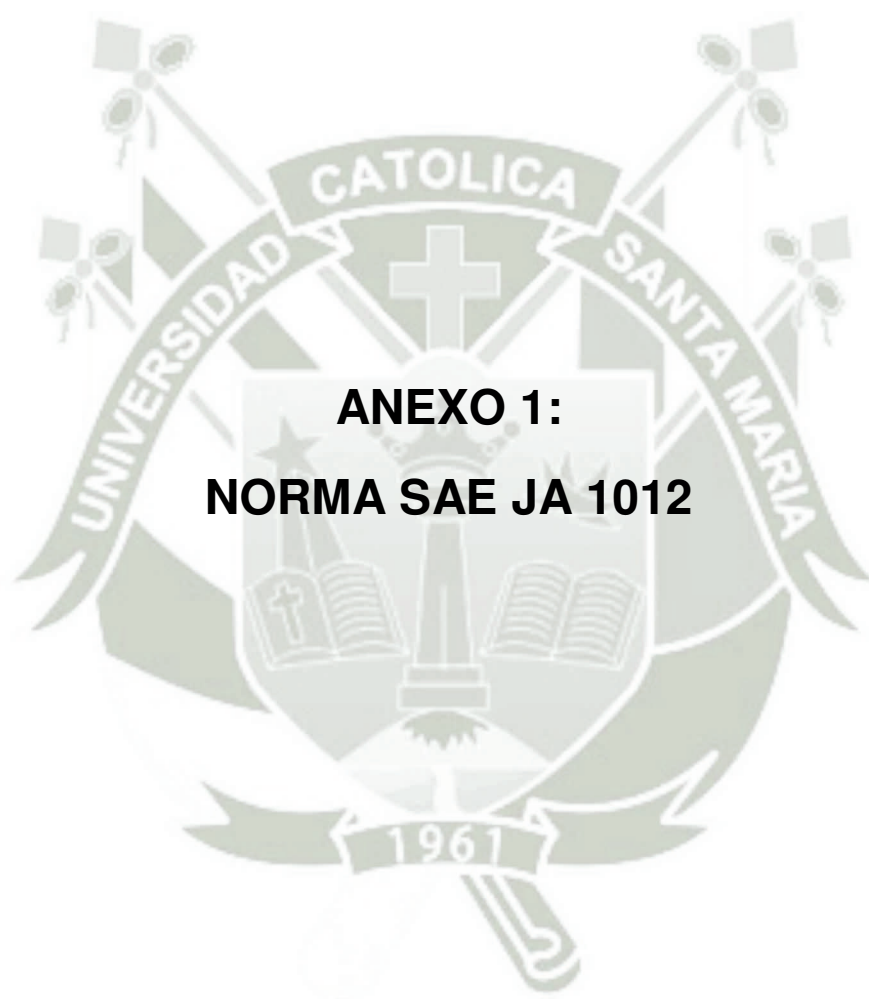
10. PATRICK, D. T., O'Connor, J. W. (1991). Ingeniería de Confiabilidad Práctica. España: Cuarta edición.
11. SANTIAGO, D.F. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. España. Editorial Diaz salinas S.A.
12. SANTIAGO, D.F. (2008). Cogeneracion: Diseño, Operación y mnatenimiento de Planatas. España. Editorial Diaz salinas S.A.
13. TOVAR, G. (2005).Fundamentos del Análisis de Falla. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Primera Edición.



HEMEROGRAFÍA

1. CORDOVA, C.A. (2003). *Implantacion del mantenimeinto centrado en la Confiabilidad en los Hornos Convertidores Peirce Shmith de la Fundicion de Cobre Southern peru Copper Corporation*. Tesis Ingeneiro Mecanico. Fcultad de Ingeneira Mecanica. Universidad Nacional de Ingenieria.
2. ORTEGA, L. (2012). *Propuesta Metodológica para estimar la Vida Útil de los Sistemas Constructivos de Fachadas y Cubiertas utilizados actualmente con más frecuencia en la Edificación Española a partir del Método Propuesto por la Norma ISO-15686*. Tesis Doctoral. Escuela Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Valencia.
3. PINTO, M. R. (2010). *Metodologías de Previsao da Vida Útil de Materias, Sistemas ou Componentes da Construcao. Revisao Bibliografica*. Porto Facultad de Engenharia Mestre em Engenharia Civil.
4. ZAPATA, E.C.(2010). *Analiside falla de Cojinetes de Biela de Camión de 2300 H.P. para Minería*. Facultad de Ciencia e Ingenieria. Pontificia Universidad Catolica del Peru.







400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001

PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA VEHICULOS AEROSPACIALES Y DE SUPERFICIE

SAE JA1012

EMITIDA
ENE2002

Emitida 2002-01

Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Prólogo— El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. El mismo describió los procesos innovadores y actuales, para ese entonces, usados para desarrollar programas de mantenimiento para aviones comerciales. Desde entonces, el proceso MCC ha sido ampliamente utilizado por otras industrias, y desarrollado y mejorado ampliamente. Estas mejoras se han incorporado en numerosos documentos de aplicación, publicados por una variedad de organizaciones alrededor del mundo. Muchos de estos documentos permanecen fieles a los principios básicos del MCC expuestos por Nowlan y Heap.

Sin embargo, en el desarrollo de algunos de estos documentos, se han omitido o malinterpretado elementos claves del proceso MCC. Debido a la creciente popularidad de MCC, han surgido otros procesos a los cuales sus defensores les han dado el nombre de "MCC", pero que no están basados en absoluto en Nowlan y Heap. Mientras que la mayoría de estos procesos pueden alcanzar algunas de las metas de MCC, otros pocos son activamente contraproducentes, y algunos son, incluso, dañinos.

Como resultado, a habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado "MCC". SAE JA1011 contempla esa necesidad. Sin embargo, SAE JA1011 presupone un alto grado de familiaridad con los conceptos y la terminología de MCC. Esta guía amplifica, y donde es necesario clarifica, estos conceptos claves y términos, especialmente aquellos que son únicos para MCC.

Nótese que esta guía no esta concebida para ser un manual o una guía de procedimiento para desarrollar MCC. Es para aquellos quienes deseen aplicar MCC, que estén sumamente animados a estudiar el asunto en gran detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de practicantes MCC experimentados.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

TABLA DE CONTENIDO

1.	Alcance.....	4
1.1.	Organización de la guía	4
2.	Referencias	4
2.1	Publicaciones Aplicables.....	4
2.2	Publicaciones Relacionadas	4
2.3	Otras Publicaciones	5
3.	Definiciones.....	5
4.	Siglas.....	7
5.	Definición de activo.....	8
6.	Funciones	8
6.1	Contexto Operacional.....	8
6.2	Lista de Funciones	9
6.3	Describiendo las Funciones	11
6.4	Estándares de Desempeño.....	12
7.	Fallas Funcionales	14
7.1	Falla Total o Parcial.....	14
7.2	Límites Superiores e Inferiores	14
8.	Modos de Falla.....	15
8.1	Identificando los Modos de Falla.....	15
8.2	EstableciendoCuál es el Significado de “Probable”	16
8.3	Niveles de Causalidad.....	17
8.4	Fuentes de Información de los Modos de Falla	19
8.5	Tipos de Modos de Falla	19
9.	Efectos de Falla.....	20
9.1	Suposiciones Básicas	20
9.2	Información Necesaria	21
10.	Categorías de Consecuencia de Fallas	22
10.1	Categorías de Consecuencia	22
10.2	Evaluando las Consecuencias de Falla	26
11.	Selección de las Políticas de Manejo de Fallas.....	27
11.1	La Relación entre Longevidad y Falla.....	27
11.2	Técnicamente Factible y Vale la Pena Hacerlo	28
11.3	Efectividad de Costo	28
11.4	Selección de las Políticas de Manejo de Fallas	28
12.	Manejo de las Consecuencias de Falla	28
12.1	Modo de Falla Evidente con Consecuencias en la Seguridad y en el Ambiente.....	28
12.2	Modo de Falla Oculta con Consecuencias en la Seguridad y en el Ambiente	31
12.3	Modo de Falla Evidente con Consecuencias Económicas	32
12.4	Modo de Falla Oculta con Consecuencias Económicas.....	33
13.	Políticas de Manejo de Fallas- Tareas Programadas	33

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

13.1	Tareas Basadas en Condición	33
13.2	Tareas de Restauración Programada y de Desincorporación Programada	39
13.3	Tareas de Detección de Fallas.....	40
13.4	Combinación de Tareas	45
14.	Políticas de Manejo de Falla- Cambio de Especificaciones y Operar hasta Fallar	45
14.1	Cambio de Especificaciones	45
14.2	Operar hasta Fallar	48
15.	Selección de las Políticas de Manejo de Fallas	48
15.1	Dos Aproximaciones	48
15.2	Aproximación Rigurosa	48
15.3	Aproximación del Diagrama de Decisión	49
16.	Un Programa de Vida.....	55
17.	Formulación Matemática y Estadística	55
17.1	Lógicamente Robusta	56
17.2	Disponible para el Dueño o Usuario	56
18.	Consideraciones Adicionales Importantes	56
18.1	Priorizar los Activos y Establecer Objetivos.....	56
18.2	Planificación	57
18.3	Nivel de Análisis y Límites del Activo.....	57
18.4	Documentación Técnica.....	58
18.5	Organización	58
18.6	Entrenamiento	59
18.7	Rol del Software Computacional.....	59
18.8	Recolección de los Datos.....	59
18.9	Implementación	60
19.	Notas	60
19.1	Palabras Claves	60
Figura 1	Función de una Bomba	12
Figura 2	Permitiendo el Deterioro.....	13
Figura 3	Modos de Falla de una Bomba	16
Figura 4	Modos de Falla a Diferentes Niveles de Detalle	18
Figura 5	Falla Evidente de una Función Protectora	24
Figura 6	Falla Oculta de una Función Protectora.....	25
Figura 7	Seis Patrones de Falla	27
Figura 8	La Curva P-F	34
Figura 9	El Intervalo P-F.....	34
Figura 10	Intervalo P-F Neto	35
Figura 11	Fallas Aleatorias e Intervalo P-F	36
Figura 12	Una Curva Lineal P-F.....	37
Figura 13	Intervalos P-F Inconsistentes.....	38
Figura 14	Límites de Vida Segura	40
Figura 15	Intervalo de Detección de Falla, Disponibilidad, y Confiabilidad	43
Figura 16	Primer Ejemplo de Diagrama de Decisión	53
Figura 17	Segundo Ejemplo de Diagrama de Decisión	54

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

1. **Alcance**— SAE JA1012 (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard”) amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Processes”), y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar MCC exitosamente.
 - 1.1 **Organización de la Guía**— Las Secciones de la 5 a la 14, 16 y 17 de esta guía reflejan las secciones de SAE JA1011 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.
2. **Referencias**
 - 2.1 **Publicaciones Aplicables**— Las siguientes publicaciones forman parte de este documento con una magnitud especificada en el mismo. A menos que sea indicado, aplicará la emisión más reciente de las publicaciones SAE. La emisión aplicable surtirá efecto a partir de la fecha de la orden de compra. En caso de existir algún conflicto entre el texto de este documento y las referencias citadas en el mismo, prevalece el texto de este documento. Nada en este documento; sin embargo, reemplaza leyes y regulaciones aplicables a menos que se haya obtenido una exención específica.
 - 2.1.1 Publicaciones SAE— Disponible en SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.
SAE JA1011—Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes
 - 2.2 **Publicaciones Relacionadas**
 - 2.2.1 PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE U.S.— Disponible en NTIS, Port Royal Road, Springfield, VA 22161
Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, “Reliability-Centered Maintenance,” Departamento de Defensa, Washington, D.C. 1978. Número de Reporte AD-A066579.
 - 2.2.2 PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE U.S.— Disponible en DODSSP, Subscription Services Desk, Building 4/Section D, 700 Robbins Avenue, Philadelphia, PA 19111-5098
MIL-STD 2173(AS)— “Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment” (U.S. Naval Air Systems Command)
NAVAIR 00-25-403— “Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process” (U.S. Naval Air System Command)
MIL-P-24534— “Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation” (U.S. Naval Sea Systems Command)
S9081-AB-GIB-010/MAINT— “Reliability-Centered Maintenance Handbook” (U.S. Naval Sea Systems Command)
 - 2.2.3 PUBLICACIONES DE LA PRENSA INDUSTRIAL— Disponible en Industrial Press, Inc., 200 Madison Avenue, New York City, New York, 10016 (también disponible en Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, Great Britain OX2 8DP).
Moubray, John, “Reliability-Centered Maintenance,” 1997
 - 2.2.4 PUBLICACIÓN DEL MINISTERIO DE DEFENSA DE U.K.— Disponible en Reliability-centred Maintenance Implementation Team, Ships Support Agency, Ministry of Defence (Navy), Room 22, Block K, Foxhill, Bath, BA1 5AB United Kingdom.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

NES 45— Naval Engineering Standard 45, “Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels”(Restricted-Commercial)

2.3 Otras Publicaciones— Las siguientes publicaciones fueron consultadas durante el desarrollo de esta SAE y no son una parte requerida de este documento.

Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, “Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods,” Elsevier Applied Science, London and New York, 1990

Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., “Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management,” John Wiley and Sons, New York, 1995

Cox, S.J. and Tait, N.R.S., “Reliability, Safety and Risk Management,” Butterworth Heinemann, Oxford, 1991

“Dependability Management— Part 3-11: Application Guide— Reliability Centred Maintenance,” International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.

Jones, Richard B., “Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach,” Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995

MSG-3, “Maintenance Program Development Document,” Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993

“Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis,” Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984

“Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment,” United States Air Force, MIL-STD-1843 (NOTA: Cancelado sin reemplazo en Agosto de 1995)

Smith, Anthony M., “Reliability Centered Maintenance,” McGraw-Hill, New York, 1993

Zwinglestein, G., “Reliability Centered Maintenance, A Practical Guide for Implementation,” Hermés, Paris, 1996

3. Definiciones

3.1 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).

3.2 Capacidad Inicial— El nivel de operación que el activo físico o sistema es capaz de lograr en el momento que entra en servicio.

3.3 Consecuencias Ambientales—Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración.

3.4 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).

3.5 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.

3.6 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.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- 3.7 Consecuencias Operacionales**— Una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación).
- 3.8 Contexto Operacional**— Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema.
- 3.9 Desempeño deseado**— El nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario de un activo físico o sistema.
- 3.10 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.
- 3.11 Dispositivo Protector o Sistema Protector**— Un dispositivo o sistema que pretende evitar, eliminar, o minimizar las consecuencias de falla de cualquier otro sistema.
- 3.12 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.
- 3.13 Efecto de Falla**— Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla.
- 3.14 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.
- 3.15 Falla Funcional**— Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.
- 3.16 Falla Múltiple**— Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla.
- 3.17 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.
- 3.18 Falla Potencial**— Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir.
- 3.19 Función**— Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema
- 3.20 Función Evidente**— Una función cuya falla aislada se vuelve evidente al personal de operaciones bajo circunstancias normales.
- 3.21 Función Oculta**— Una función cuya falla aislada no se vuelve evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales.
- 3.22 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.
- 3.23 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.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- 3.24 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”).
- 3.25 Intervalo P-F Neto**— El intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional.
- 3.26 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.
- 3.27 Mantenimiento Proactivo**— Mantenimiento emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla (restauración programada, desincorporación programada y mantenimiento basado en condición)
- 3.28 Modo de Falla**— Un evento único, que causa una falla funcional.
- 3.29 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.
- 3.30 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.
- 3.31 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.
- 3.32 Programado**— Se establece como fijo, a intervalos predeterminados, incluye “monitoreo continuo” (donde el intervalo es efectivamente cero).
- 3.33 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.
- 3.34 Tarea Apropiada**— Una tarea que es técnicamente factible y al mismo tiempo vale la pena realizar (aplicable y efectiva).
- 3.35 Tarea Basada en Condición**— Una tarea programada usada para detectar una falla potencial.
- 3.36 Tarea para Detectar Fallas**— Una tarea programada utilizada para determinar si ha ocurrido una falla oculta específica.
- 3.37 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.

4. Siglas

EPI	Equipo de Prueba Incorporado
IDF	Intervalo de (tarea) Detección de Falla
AMEF	Análisis de Modo y Efectos de Falla
mm	Milímetros
TPEFM	Tiempo Promedio entre Fallas Múltiples

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

TPEF	Tiempo Promedio entre Fallas
TPDA	TPEF de la Función Protegida
TPRA	TPEF de la Función Protectora
psi	Libras por pulgada cuadrada
MCC	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
RPM	Revoluciones por Minuto
I _{TORA}	La indisponibilidad permitida por la función protectora

5. **Definición de Activo**— “MCC es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado” (SAE JA1011, sección 1.1).

Para identificar apropiadamente las políticas de manejo de fallas de un activo físico o sistema, se debe definir el activo o sistema. Esto incluye la selección del activo/sistema, la definición de sus límites, y la identificación del nivel de detalle más apropiado al cual se llevará a cabo el análisis.

SAE JA1011 se refiere al proceso utilizado para la selección adecuada de las políticas de manejo de fallas, bajo la suposición de que el activo/sistema involucrado ha sido ya seleccionado y definido. Esta no proporciona criterios de los procesos a ser utilizados en la selección y definición de activos o sistemas por si mismos, ya que tales procesos tienden a ser altamente dependientes del tipo de activo/sistema, para qué, y por quién están siendo (o son) usados. Sin embargo, en la sección 18 de esta guía se dan algunas orientaciones generales bajo esta óptica.

6. **Funciones**— Un proceso MCC que es elaborado conforme a la SAE JA1011 comienza por preguntarse “¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?”. Esta sección discute los siguientes cuatro conceptos claves concernientes a las funciones que son listadas en la Sección 5.1 de la SAE JA1011:

- a. Contexto Operacional
- b. Funciones primarias y secundarias
- c. Enunciado de una función
- d. Estándares de desempeño

- 6.1 **Contexto Operacional**— “Se debe definir el contexto operacional del activo”. (SAE JA1011, sección 5.5.1)

Las funciones, los modos de falla, las consecuencias de falla y las políticas de manejo de fallas que serán aplicadas a cualquier activo dependerán no sólo de cual es el activo, sino también de las circunstancias exactas bajo las cuales será utilizado. Como resultado, se necesitan definir claramente estas circunstancias antes de intentar responder la pregunta citada anteriormente.

La definición de un contexto operacional de un activo físico típicamente incluye una descripción global breve de cómo se utilizará este activo, donde se utilizará, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño global tales como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, y así sucesivamente. Los aspectos específicos que se deben documentar en la definición del contexto operacional, incluyen:

- a. Proceso fluido versus proceso por lotes: si el activo está operando en un proceso por lotes (o intermitente) o un proceso fluido (o continuo).
- b. 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.
- c. Estándares ambientales: que estándares ambientales organizacionales, regionales, nacionales, e internacionales aplican para el activo (si hay alguno).

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- d. Estándares de seguridad: si cualquier expectativa de seguridad predeterminada aplica al activo (en términos de lesiones globales o tasa de fatalidad).
- e. Lugar de operaciones: características de la localidad en la cual el equipo será operado (ártico versus tropical, desértico versus selvático, costa adentro versus costa afuera, proximidad de las fuentes de suministro de partes y/o labor, etc.).
- f. Intensidad de operaciones: en el caso de manufactura y minería, si el proceso del cual forma parte el equipo opera 24 horas por día, siete días a la semana, o a una intensidad menor. En el caso de utilidades, si el equipo opera bajo picos de carga o condiciones de baja carga. En el caso de equipos militares, si las políticas de manejo de fallas están diseñadas para operaciones en tiempos de paz o en tiempos de guerra.
- g. Redundancia: si existe alguna capacidad redundante o en stand by, y en ese caso que forma toma.
- h. Trabajo-durante-operación: La magnitud a la cual las actividades trabajo-durante-operación (si hay alguna) permite parar el equipo sin afectar la producción o el rendimiento.
- i. Repuestos: si se deben tomar algunas decisiones en cuanto al inventario de repuestos claves que puedan afectar la subsiguiente selección de las políticas de manejo de fallas.
- j. Demanda del mercado/suministro de materia prima: si las fluctuaciones cíclicas en la demanda del mercado y/o en el suministro de materia prima puedan afectar la subsiguiente selección de las políticas de manejo de fallas. (Tales fluctuaciones pueden ocurrir en el transcurso de un día en el caso de un negocio de transporte urbano, o en el transcurso de los años en el caso de una estación generadora de energía, un parque de diversiones, o una industria de procesamiento de alimentos).

En el caso de sistemas muy grandes y muy complicados, sería sensato estructurar el contexto operacional de modo jerárquico, si es necesario comenzar con la definición de la misión de la organización entera que está usando el activo.

6.2 Lista de Funciones— “Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección)”. (SAE JA1011, sección 5.1.2).

El objetivo del proceso MCC es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario. Como resultado, el proceso MCC comienza por la definición de todas las funciones del activo en su contexto operacional.

Las funciones deben ser divididas en dos categorías: funciones primarias y secundarias.

- 6.2.1 **FUNCIONES PRIMARIAS—** La razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas. Estas se conocen como funciones primarias del activo. Por ejemplo, la razón principal por la que alguien adquiere un carro puede ser “transportar cinco personas a 90 Km una hora en un buen camino”.
- 6.2.2 **FUNCIONES SECUNDARIAS—** Se espera que la mayoría de los activos desarrollen otras funciones, además de las funciones primarias. Estas son conocidas como funciones secundarias. Las funciones secundarias 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. Como resultado, las funciones secundarias necesitan a menudo tanta, sino más, atención que las funciones primarias, por lo tanto deben estar claramente identificadas.

Cuando se identifican las funciones secundarias, se debe velar de no descuidar lo siguiente:

- a. Integridad ambiental
- b. Integridad de seguridad/estructural

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- c. Control/contención/confort
- d. Apariencia
- e. Dispositivos y sistemas protectores
- f. Economía/eficiencia
- g. Superfluos

Estos aspectos son discutidos con más detalle como sigue.

- 6.2.2.1 *Integridad Ambiental*— Estas funciones definen la magnitud de cumplimiento del activo con las normas o regulaciones ambientales corporativas, municipales, regionales, nacionales e internacionales que aplican al activo. Estas normas rigen cosas tales como la descarga de materiales de desecho al ambiente, y el ruido.
- 6.2.2.2 *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). Por ejemplo, la función de un aislante eléctrico de un artefacto doméstico es “prevenir a los usuarios de tocar los componentes energizados”.
- 6.2.2.3 *Integridad Estructural*— Muchos activos tienen una función secundaria para proveer soporte o una cierta seguridad a otro elemento. Por ejemplo, mientras la función primaria de una pared puede ser proteger a las personas y a los equipos del clima, se puede esperar también que soporte el techo, o el peso de estantes y pinturas.
- 6.2.2.4 *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. Esta expectativa se resume en los enunciados de funciones separados. Por ejemplo, una función de un sistema de enfriamiento puede ser regular la temperatura entre unas temperaturas específicas. La indicación y la retroalimentación forman un subconjunto importante de las categorías de control de las funciones.
- 6.2.2.5 *Contención*— Los sistemas en los cuales la función primaria es almacenar materiales deben también contenerlos. Similarmente, los sistemas que transfieren materiales —especialmente fluidos— también tienen una función de contención. Estas funciones también se deben especificar.
- 6.2.2.6 *Confort*— Dueños y usuarios generalmente esperan que sus activos o sistemas no causen pena o ansiedad a los operadores o mantenedores. Estos problemas, por supuesto, se deben tratar en la fase de diseño. Sin embargo, el deterioro o las expectativas cambiantes pueden llevar a niveles inaceptables de pena o ansiedad. La mejor manera de cerciorarse de que esto no pase es asegurar que los enunciados de una función asociada estén descritos de manera precisa y que reflejen los estándares actuales.
- 6.2.2.7 *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, y esta función también se debe documentar.
- 6.2.2.8 *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:
- a. Advierten a los operadores de condiciones anormales (luces de advertencia o alarmas).
 - b. Detienen el equipo en caso de una falla funcional (mecanismos de parada).
 - c. Eliminan o relevan las condiciones anormales causadas por una falla funcional (mecanismos de alivio, sistemas apaga fuegos, preservadores de vida).
 - d. Realizan una función que haya fallado (componentes estructurales redundantes, plantas de emergencia).

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- e. Impiden, en primer lugar, el surgimiento de situaciones peligrosas (señales de advertencia, cubiertas protectoras).

Una función protectora asegura que la falla de la función que está siendo protegida sea menos seria de lo que sería sin protección. Los dispositivos asociados son incorporados en el sistema para reducir el riesgo, de modo que sus funciones se deben documentar con un cuidado especial.

6.2.2.9 *Economía/eficiencia*— En la mayoría de las organizaciones, los costos globales esperados son expresados en la forma de presupuestos de gastos. Sin embargo, para activos específicos, los costos esperados pueden ser tomados en cuenta directamente por los enunciados de las funciones secundarias concernientes, cosas tales como tasas de consumo de energía y tasa de desgaste de materiales de proceso.

6.2.2.10 *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.

Aunque tales elementos no tienen una función positiva y frecuentemente es costoso desincorporarlos, ellos pueden de hecho fallar y reducir la confiabilidad global del sistema. Para evitar esto, algunos pueden requerir mantenimiento y por ende, el consumo de recursos.

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

6.2.2.11 *Funciones “Confiables”* — Frecuentemente existe una tendencia a escribir los enunciados de una función “confiable” tal como “para operar 7 días a la semana, 24 horas por día”. De hecho, 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. La confiabilidad de un activo específico es de hecho manejada por el trato adecuado de cada uno de los modos de falla que pueden causar cada pérdida de la función.

6.3 **Describiendo las Funciones**— “Todas los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso en que se pueda hacer)” (SAE JA1011, sección 5.1.3)

Por ejemplo, la Figura 1 muestra una bomba para bombear agua de un tanque a otro. La capacidad nominal de la bomba es de 1000 litros por minuto, y el agua es succionada del tanque a una velocidad máxima de 800 litros por minuto. La función primaria de esta bomba se debe describir así: “bombear agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto”. Aquí el verbo es “bombear”, el objeto es “agua”, y el estándar de desempeño es “del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto”.

Los enunciados de las funciones protectoras necesitan un manejo especial. Estas funciones actúan en excepciones —en otras palabras, cuando algo va mal— entonces el enunciado de la función debe reflejar este hecho. Normalmente esto se hace incorporando las palabras “si” o “en el caso de”, seguidas por un breve resumen de las circunstancias o evento que activarían la protección. Por ejemplo, la función de una válvula de alivio de presión debe ser descrita como sigue: “Ser capaz de aliviar la presión en la caldera si excede de 250 psi”.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

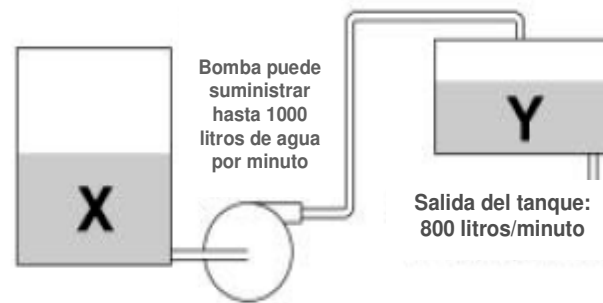


FIGURA 1— FUNCIÓN DE UNA BOMBA

6.4 Estándares de Desempeño— “Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.” (SAE JA1011, sección 5.1.4)

Cualquier sistema organizado expuesto al mundo real se deteriorará –hacia una desorganización total (también conocida como “caos” o “entropía”)- a menos que se tomen ciertos pasos para tratar con cualquier proceso que esté causando el deterioro del sistema.

Por ejemplo, las bombas centrífugas son objeto de desgaste del impulsor (impeller). Esto pasa si una bomba desplaza ácido o aceite lubricante, y si el impulsor es de titanio o de acero dúctil. La única pregunta es cuán rápido se deteriorará el impulsor hasta el punto en el cual no pueda bombear fluido al caudal de flujo mínimo requerido.

Una vez que el desempeño de un activo cae por debajo del valor mínimo aceptable para el usuario, el activo ha fallado. Recíprocamente, si el desempeño del activo se mantiene por encima de este valor mínimo, continúa funcionando a un nivel que es satisfactorio para el usuario. En esta guía, “usuarios” incluye dueños de los activos, los usuarios de los activos –comúnmente los operadores- y la sociedad como un todo. Los dueños están satisfechos si sus activos generan un retorno satisfactorio de la inversión realizada para adquirirlos (normalmente el retorno financiero para operaciones comerciales, u otras mediciones para operaciones no-comerciales). Los usuarios están satisfechos si cada activo continúa haciendo aquello que ellos desean que haga a un estándar de desempeño que ellos –los usuarios- consideran satisfactorio. Finalmente, la sociedad como un todo está satisfecha si el activo no falla de modo que amenace la seguridad pública o el ambiente.

En esencia, esto significa que si nosotros estamos en la búsqueda de encausar un activo para que continúe funcionando a un nivel que sea satisfactorio para el usuario, entonces el objetivo del mantenimiento es asegurar que el activo continúe operando por encima del nivel mínimo que es aceptable para estos usuarios. Si fuese posible disponer de un activo de modo que pudiese entregar el desempeño mínimo sin ningún deterioro, entonces él mismo podría estar disponible para trabajar continuamente, sin necesidad de mantenimiento.

Sin embargo, el deterioro es inevitable, por lo tanto debe estar permitido. Esto significa que cuando algún activo entra en servicio, debe estar disponible para entregar el estándar de desempeño mínimo deseado por el usuario. Lo que el activo está disponible a entregar en este punto se conoce como capacidad inicial. La Figura 2 muestra la relación correcta entre esta capacidad y el desempeño deseado.

Esto significa que el desempeño puede ser definido de dos maneras:

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

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

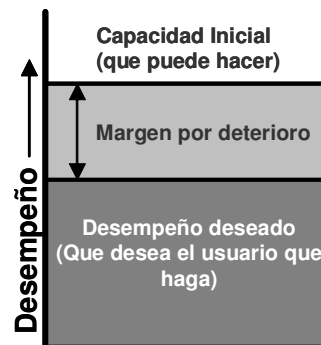


FIGURA 2— PERMITIENDO EL DETERIORO

El margen de deterioro 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. En la práctica, el margen es adecuado en el caso de la mayoría de los componentes, sin embargo, normalmente es posible desarrollar programas de mantenimiento acordes.

Sin embargo, si el desempeño deseado es más alto que la capacidad inicial, ninguna cantidad de mantenimiento podrá entregar el desempeño deseado, en ese caso el activo no es mantenible.

Esto implica que para saber si un activo debe ser mantenido, necesitamos saber ambos tipos de comportamientos: capacidad inicial del activo y el desempeño mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar en el contexto en el cual el activo será utilizado. Este desempeño mínimo es el desempeño estándar que debe ser incorporado en los enunciados de la función.

Por ejemplo, la capacidad inicial de la bomba de la Figura 1 es de 1000 litros por minuto, y la tasa a la cual el agua está siendo succionada del tanque (fuera del tanque) es de 800 litros por minuto. En este contexto, la bomba está cumpliendo las expectativas de su usuario con tal que continúe bombeando agua en el tanque más rápido de lo que el agua está siendo succionada. Como resultado, la función primaria de la bomba fue descrita como “bombear agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto”, y no “bombear a 1000 litros por minuto”.

Nótese que si la misma bomba estuviese siendo usada en una situación en la que la succión del tanque fuera (dijera) 900 litros por minuto, entonces la función primaria debería leerse “bombear agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 900 litros por minuto”, y el programa de mantenimiento debe ser cambiado para reflejar esta nueva expectativa operacional.

Nótese que los usuarios y mantenedores frecuentemente tienen puntos de vista significativamente diferentes acerca de lo que constituye un desempeño aceptable. Como resultado, para evitar malos entendidos en lo que constituye una “falla funcional”, los estándares mínimos de desempeño aceptable deben estar claramente definidos y entendidos por los usuarios y los mantenedores del activo, junto con cualquier otra persona que tenga un interés legítimo en el comportamiento del activo.

Los estándares de desempeño se deben cuantificar en los casos en que sea posible, ya que los estándares cuantitativos son más claros y más precisos que los cualitativos. Ocasionalmente sólo se utilizan estándares cualitativos cuando se trata de funciones relativas a la apariencia. En esos casos,

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

se debe cuidar especialmente de que los estándares cualitativos sean entendidos y aceptados por los usuarios y mantenedores del activo.

7. **Fallas Funcionales**— Un proceso MCC que sea conforme a la norma SAE JA1011 responde la pregunta, “¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?”. Para responder satisfactoriamente esta pregunta, SAE JA1011 en la sección 5.2 declara que “Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función”.

La sección 6 explica que un activo falla si es incapaz de hacer lo que el usuario desea que haga. También explica que el activo debe estar definido como una función, y que cada activo tiene más de una (y frecuentemente varias) funciones diferentes. Como para cada una de estas funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

Por ejemplo, la función primaria de la bomba en la Figura 1 era “bombear agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto”, mientras que una función secundaria podría ser “contener el agua en la bomba”. Es posible que tal bomba sea capaz de bombear la cantidad requerida de agua (no falla en términos de su función primaria) mientras gotea continuamente (falla en términos de su función secundaria). Recíprocamente, es equivalentemente posible que la bomba se deteriore al punto en el cual no pueda bombear el caudal requerido (falla en términos de su función primaria) mientras contiene el líquido requerido (no falla en términos de su función secundaria).

Por esta razón, definir la falla en términos de la pérdida de las funciones específicas es más preciso que definir la falla de un activo como un todo. Los ejemplos anteriores también muestran porque el proceso MCC utiliza el término “falla funcional” para describir estados de falla, en lugar de simplemente “falla”. (Nótese que MCC distingue entre una falla funcional o estado de falla, y un “modo de falla” el cual es un evento que causa un estado de falla).

Dos puntos adicionales que se deben considerar cuando se definen las fallas funcionales son: falla parcial y total, y los límites superiores e inferiores.

- 7.1 **Falla Total y Parcial**— Las fallas funcionales que representan la falla total de la función son relativamente fáciles de identificar. Por ejemplo, está claro que la bomba mencionada en la sección 6.3, sufrirá una falla funcional si no bombea ninguna cantidad de agua (“falla total”). Sin embargo; la bomba también sufrirá una falla funcional si puede bombear agua a una tasa menor de 800 litros por minuto.

El segundo estado de falla en este ejemplo se conoce como “falla parcial”. Las fallas parciales necesitan identificarse separadamente porque ellas son causadas casi siempre por modos de falla diferentes de las fallas totales, y porque las consecuencias casi siempre son también diferentes.

Tenga presente que la falla parcial no es igual que el deterioro por debajo de la capacidad inicial. Todo se deteriora por debajo de la capacidad inicial después de algún tiempo de uso, y tal deterioro puede ser tolerado con tal que no alcance el punto inaceptable para el usuario del activo, como se muestra en la Figura 2. El deterioro sólo se convierte en una falla funcional (parcial o total) cuando el desempeño cae por debajo del nivel mínimo requerido por el usuario.

- 7.2 **Límites Superiores e Inferiores**— Los estándares de desempeño asociados con algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Estos límites implican que el activo ha fallado si opera por encima del límite superior o por debajo del límite inferior. En estos casos, la demarcación del límite superior necesita ser documentada separadamente de la demarcación del límite inferior. Esto es porque los modos de falla y/o consecuencias asociadas cuando se excede el límite superior son generalmente diferentes que los asociados cuando se está por debajo del límite inferior.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Por ejemplo, la función primaria de una máquina pulidora se puede definir como “Pulir cojinetes en un ciclo de tiempo de 3.00 minutos, a un diámetro de 75 mm \pm 0.1 mm, con una superficie final no mayor de 0.2 Ra”. Esta máquina ha fallado si:

- a. Si se detiene por completo.
- b. Rectifica una pieza en un ciclo de tiempo mayor a 3.03 minutos.
- c. Rectifica una pieza en un ciclo de tiempo menor a 2.97 minutos.
- d. El diámetro excede 75.1 mm.
- e. El diámetro es menor de 74.9 mm.
- f. La superficie final es muy rugosa (excede 0.2 Ra)

8. **Modos de falla**— Un proceso MCC que cumple con la norma SAE JA1011 responde la pregunta, “¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?” Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concernientes a los modos de falla que están listados en la Sección 5.3 de SAE JA1011:

- a. Identificar los modos de falla.
- b. Establecer qué se entiende por “probable”.
- c. Niveles de causalidad.
- d. Fuentes de información.
- e. Tipos de modos de falla.

8.1 **Identificando los Modos de Falla**— “Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional”. (SAE JA1011, sección 5.3)

La Sección 7 de esta guía menciona que el MCC distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente qué se entiende por “falla”, el proceso MCC identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla. En la Figura 3 se muestra la manera usual de documentar esto para la función primaria de la bomba ilustrada en la Figura 1. La Figura 3 que lista las funciones de un activo, las fallas funcionales y los modos de falla, muestra casi todos los elementos de un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF). Los “efectos” de cada modo de falla son listados más adelante (ver la Sección 9 de esta guía).

La Figura 3 también muestra que 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.

En particular, 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. Por ejemplo, se debe usar muy poco verbos como “fallar” o “averiarse” o “malfuncionamiento”, ya que dan poca o ninguna indicación de cual podría ser la manera apropiada de manejar el modo de falla. El uso de verbos más específicos hace posible seleccionar las opciones de manejo de fallas a partir de un rango completo.

Por ejemplo, en la Figura 3 el modo de falla 1A4 podría llamarse “fallas del acople”. Sin embargo; tal frase no provee pistas de que podría hacerse para anticipar o prevenir el modo de falla. Si nosotros decimos “los pernos del acople están sueltos” o “el cubo del acople presenta cizallas debido a la fatiga”, entonces se torna mucho más fácil identificar una tarea proactiva.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

ACTIVO: Sistema de Bombeo					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)		Modo de Falla (Causa de la Falla)	
1	Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por 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 un objeto extraño.....etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor desgastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada...etc.

FIGURA 3— MODOS DE FALLA DE UNA BOMBA

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. "Atascamiento de la válvula en posición cerrada" dice más que "Atascamiento de la válvula". Además, el propósito de identificar los modos de falla es identificar la causa de la falla funcional de modo que se encuentre la manera de anticiparla o prevenirla. Como resultado, a veces puede ser necesario tomar además otro paso, como por ejemplo "Atascamiento de la válvula en posición cerrada debido al óxido en el paso del tornillo". En este contexto, el uso de la palabra "óxido" sugiere que sería apropiado enfocar los esfuerzos de manejo de fallas en detectar o controlar el óxido.

8.2 EstableciendoCuál es el Significado de "Probable"— "El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla "probable" debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo". (SAE JA1011, sección 5.3.2).

La sección 8.1 menciona que se deben identificar todos los modos de falla probables que pueden causar cada falla funcional. "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".) Si las personas entrenadas para utilizar MCC, y quienes conocen el activo en su contexto operacional, acuerdan que la probabilidad a la que un modo de falla específico puede ocurrir es suficientemente alta para que garantice un análisis extenso entonces, el modo de falla debe ser listado.

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. Muy pocos modos de falla, y/o poco detalle, conducen a un análisis superficial y algunas veces peligroso. Muchos modos de falla, y/o mucho detalle, causan que el proceso MCC completo tome mucho más tiempo del necesario. En casos extremos, esto puede causar que el proceso tome dos o incluso tres veces más del tiempo necesario (un fenómeno conocido como "parálisis del análisis"), y puede también conducir a programas de mantenimiento excesivamente difíciles.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

En situaciones, donde puedan existir dudas o desacuerdos sobre lo que constituye el umbral de “racionalidad”, la decisión final debe ser tomada por la organización que posee o usa el activo, ya que dicha organización tendrá la responsabilidad de las consecuencias si ocurre el modo de falla.

Nótese que la decisión de listar un modo de falla debe ser regulada considerando sus consecuencias. Si es probable que las consecuencias sean de hecho muy severas, posiblemente deben listarse los modos de falla y deben estar sujetos a un análisis más extenso.

Por ejemplo, si la bomba descrita en la Figura 3 fuese instalada en una fábrica de alimentos o en una planta ensambladora de vehículos, el modo de falla “carcaza rota por un objeto que cayó del cielo” debe ser omitida inmediatamente por ser ridículamente improbable. Sin embargo; si la misma bomba fuese una bomba de enfriamiento primaria de un reactor nuclear en una planta de energía comercial, este modo de falla se debe tomar más en serio –incluso si pensamos que todavía es altamente improbable. (Las políticas de manejo de fallas apropiadas podrían prohibir que un avión vuele encima de la facilidad, o diseñar un techo que pueda resistir el choque de un avión. Esto por supuesto no es una simple especulación –ambas políticas son consideradas rutinariamente en estaciones de energía nuclear).

8.3 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.” (SAE JA 1011, sección 5.3.3)

Las secciones previas de esta guía declaran que los modos de falla deben ser descritos con suficiente detalle para hacer posible la selección de una política de manejo de fallas apropiada, pero no en tanto detalle que se invierta demasiado tiempo en el proceso de análisis.

La magnitud a la cual los modos de falla se deben describir en diferentes niveles de detalle se ilustra en la Figura 4, basada en la bomba cuyas funciones y fallas funcionales fueron descritas en la Figura 3. La Figura 4 lista algunos de los modos de falla que podrían causar la falla funcional “no disponible para transferir ninguna cantidad de agua”. En este ejemplo, estos modos de falla se consideran en siete niveles de detalle, comenzando con la falla de la bomba dispuesta como un conjunto.

El primer punto que surge de este ejemplo es la conexión entre el nivel de detalle y el número de modos de falla listados. El ejemplo muestra que mientras más profundo sea el Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF), más grande será el número de modos de falla que pueden ser listados. Por ejemplo, hay tres modos de falla listados para la bomba al nivel 3 en la Figura 4, pero 20 al nivel 6.

Otro punto que surge de la Figura 4 es “causas raíz”. Este se discutirá a continuación.

8.3.1 CAUSAS RAÍZ— 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. De hecho, esto no es sólo muy difícil de hacer, sino que también es comúnmente innecesario.

Por ejemplo, en la Figura 4 el modo de falla “tuerca del impulsor suelta” está listado en el nivel 4, que a su vez es causado por “tuerca del impulsor fracturada” en el nivel 5. Si nosotros fuésemos a un nivel más profundo, esto podría haber ocurrido por “apriete excesivo de la tuerca del impulsor” (nivel 6), lo que a su vez puede haber ocurrido por “error de ensamblaje” (nivel 7). El error de ensamblaje puede haber ocurrido porque el “técnico estaba distraído” (nivel 8). El pudo haber estado distraído porque su “niño estaba enfermo” (nivel 9). Este modo de falla puede haber ocurrido porque el “niño comió comida dañada en un restaurante” (nivel 10).

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Claramente, 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 SAE JA1011 requiere de 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.

Nótese que algunos de los modos de falla mostrados en la Figura 4 podrían considerarse no probables en un contexto diferente al utilizado para desarrollar la Figura 4. En este caso, no habría ninguna razón para listarlos en absoluto. Recíprocamente, otros modos de falla que no son mostrados en la Figura 4 pero que se consideren probables en ese otro contexto deben ser agregados a la lista. Nótese también que los modos de falla listados en la Figura 4 sólo aplican a la falla funcional, “no disponible para transferir ninguna cantidad de agua”. La Figura 4 no muestra los modos de falla que podrían causar otras fallas funcionales, tales como pérdida de contención o pérdida de protección.

8.4 Fuentes de Información de los Modos de Falla—“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.” (SAE JA1011, 5.3.4).

Los modos de falla que han ocurrido antes en los mismos activos o en activos similares, son los candidatos más obvios para ser incluidos en la lista de los modos de falla, a menos que se haya cambiado algo para que ese modo de falla no ocurra de nuevo. Las fuentes de información de estos modos de falla incluyen personas que conocen bien el activo (operadores, mantenedores, vendedores de equipos, u otros usuarios del mismo equipo), registros de historia técnica (memoria técnica) y bancos de datos.

Los modos de falla para los cuales existen rutinas de mantenimiento proactivas también se deben incorporar en la lista de modos de falla. Una manera de asegurar que ninguno de estos modos de falla haya sido descuidado, es estudiar la existencia del mantenimiento programado para activos idénticos o muy similares y preguntarse, “¿qué podría ocurrir si no se realizara esta tarea?”. Sin embargo, la existencia de programaciones no debe ser sólo analizada como una revisión final después que se halla completado el resto del análisis MCC, de modo que se reduzca la posibilidad de perpetuar el status quo.

Finalmente, la lista de modos de falla debe incluir los modos de falla que no hayan ocurrido aún pero que se consideren como posibilidades reales en el contexto en consideración. Una característica esencial del mantenimiento proactivo y de la gerencia del riesgo en particular, es identificar y decidir como tratar con los modos de fallas que aún no han ocurrido. Este es también uno de los aspectos más desafiantes del proceso MCC, porque requiere un alto grado de juicio aplicado por personas experimentadas y conocedoras.

8.5 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 (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del MCC).” (SAE JA1011, 5.3.5)

El deterioro ocurre cuando la capacidad de un activo está por encima del desempeño deseado para comenzar a operar, pero entonces cae por debajo del desempeño deseado después que el activo entra en servicio. Esto cubre todas las formas de “desgaste o rotura”. Tales como fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación (especialmente de aislantes, lubricantes, etc.) y así

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

sucesivamente. Estos modos de falla deben, por supuesto, ser incluidos en una lista de modos de falla en la que se piensen sean probables, y al nivel de detalle más apropiado como se discutió en 8.3.

En algunos casos, 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. Si tales deficiencias se piensan que afecten el equipo existente, o si en el caso de un equipo nuevo, se piensa que el diseño existente y los procesos de manejo de construcción son improbables para descubrir y rectificar tales deficiencias, deben listarse estos modos de falla para que puedan identificarse las políticas de manejo de fallas apropiadas más adelante en el análisis.

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. La literatura en esta materia clasifica tales errores humanos en una amplia variedad de maneras. Sin embargo; en el mundo de los activos físicos estos errores usualmente entran en las siguientes categorías:

- a. Operación incorrecta. Esto usualmente toma dos formas. La primera es sobrecarga sostenida, frecuentemente deliberada (por ejemplo, si una máquina es operada a niveles de desempeño que alcancen o excedan su capacidad inicial, tal como un motor de automóvil que es operado persistentemente a unas RPM excesivas, causando su falla prematura). La segunda es sobrecarga repentina, usualmente no intencional, (por ejemplo, si un activo es simplemente operado incorrectamente, tal como un vehículo que es puesto en retroceso mientras se está moviendo hacia adelante, dañando la caja).
- b. Ensamblaje incorrecto (por ejemplo, si un mecánico deja una herramienta en una caja de engranajes o un electricista cablea un interruptor incorrectamente).
- c. Daño externo (por ejemplo, si la carcasa de una bomba es golpeada por un camión montacargas)

Si tales incrementos en el esfuerzo aplicado se piensan probables en el contexto en consideración (y si ellos no se han tratado por un proceso analítico separado), también se deben incorporar en la lista de los modos de falla, de modo que se puedan identificar las políticas de manejo de fallas adecuadas.

9. **Efectos de Falla**— Un proceso MCC que esté conforme a la norma SAE JA1011 debe preguntarse “¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?” Esta sección discute los dos conceptos claves siguientes concernientes a los efectos de falla que son listados en la sección 5.4 de SAE JA1011:

- a. Suposiciones básicas.
- b. Información necesaria.

- 9.1 **Suposiciones Básicas**— “Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.” (SAE JA1011, sección 5.4.1)

Una definición de efecto de falla describe lo que puede pasar si ocurre el modo de falla. Nótese que el MCC hace una distinción clara entre un efecto de falla (que pasa) y una consecuencia de falla (como, y cuanto, afecta el modo de falla).

Como se explica en la Sección 10 de esta Guía, las definiciones de los efectos de falla son utilizadas para evaluar las consecuencias de cada modo de falla. Estas también 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.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Las principales opciones de las políticas de manejo de fallas incluyen tareas de mantenimiento proactivas (de monitoreo de condición, programadas, restauración, y desincorporación programada), junto con las frecuencias respectivas. Si nosotros deseamos identificar estas 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. Se necesitan describir los modos de falla, y escribir las definiciones de los efectos de fallas, respectivamente.

9.2 Información Necesaria— “Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para sustentar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como:

- a. ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)?
- b. ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente?
- c. ¿Qué hace (si ocurre algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones?
- d. ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla?
- e. ¿Qué (si existe algo) se debe hacer para restaurar la función del sistema después de la falla?”
(SAE JA1011, sección 5.4.2)

9.2.1 EVIDENCIA DE QUE HA OCURRIDO LA FALLA— Una definición de efecto de falla debe describir si hay alguna evidencia de que el modo de falla en consideración ha ocurrido. Si es así, la misma debe describir que forma toma esta evidencia. Por ejemplo, debe mencionar si el comportamiento del equipo cambia notablemente como resultado del modo de falla (luces de alarma, cambio en los niveles de ruido y velocidad, etc.). También debe 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.

Cuando se trata de protección, las descripciones de los efectos de falla deben definir brevemente lo que puede pasar si la función protectora falla mientras la protección está en estado de falla.

9.2.2 AMENAZAS A LA SEGURIDAD Y AL AMBIENTE— Si hay una posibilidad 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. Una lista seleccionada de ejemplos incluye:

- a. Incremento del riesgo de fuego o explosión.
- b. El escape de químicos peligrosos.
- c. Electrocutación.
- d. Accidentes vehiculares, descarrilamientos.
- e. Ingreso de suciedad en productos alimenticios o farmacéuticos.
- f. Exposición a bordes afilados o maquinaria en movimiento.

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”. Simplemente define que pasa, y deja la evaluación de las consecuencias para el próximo paso del proceso MCC.

9.2.3 EFECTO EN LA PRODUCCIÓN O EN LAS OPERACIONES — Las descripciones de los efectos de falla deberían indicar como se afecta la producción o las operaciones (si son afectadas), y por cuanto tiempo. Se deben considerar los siguientes puntos:

- a. Tiempo fuera de servicio: cuanto tiempo el activo podría estar fuera de servicio debido a ese modo de falla, desde el momento que falla hasta el momento que entra de nuevo

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

completamente en operación. Para asegurar que el programa de manejo de fallas es razonablemente conservador (pero no demasiado conservador), se debe asumir que el modo de falla ocurre en una situación del “peor caso típico”, por ejemplo, tarde en la noche en una fábrica, o si un equipo móvil está en una localidad más remota de lo usual.

- b. Velocidad de operación: Si el equipo ha bajado su velocidad como resultado del modo de falla, y si es así, que tanto la ha bajado.
- c. Calidad: Si el modo de falla afecta la calidad para la cual está configurada la función, tales como la guía de precisión o los sistemas de control, los parámetros de calidad del producto, e inclusive los asuntos de servicio al consumidor (operación a tiempo, etc.). La definición del efecto de falla debe indicar también si el modo de falla incrementa los desechos o los trozos de desperdicios, causa un aborto de la misión, o incurre en penalidades financieras contractuales significativas.
- d. Otros sistemas: Si otro equipo o proceso se ha detenido, bajado su velocidad, o está afectado de cualquier otra manera por el modo de falla.
- e. Costos de operación globales: Si el modo de falla causa cualquier otro incremento en los costos operacionales, tales como incremento del consumo de energía o desgaste excesivo de los materiales del proceso.

9.2.4 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.

9.2.5 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.

10. *Categorías de Consecuencia de Fallas*

10.1 Categorías de Consecuencias— “Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas...” (SAE JA1011, sección 5.5.1)

Después que se ha identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle apropiado, el siguiente paso en el proceso MCC es evaluar las consecuencias de cada modo de falla. La fuente primordial de información utilizada para evaluar las consecuencias de falla es la descripción de los efectos de falla.

Algunos modos de falla afectan el rendimiento, la calidad del producto o el servicio al consumidor. Otros amenazan la seguridad o el ambiente. Algunos incrementan los costos operacionales, por ejemplo, el incremento del consumo de energía, mientras otros pocos impactan hasta cuatro, cinco o incluso todas estas seis áreas. Aún así, otros pueden aparecer y no tener efecto alguno si ocurren aislados, pero pueden exponer a la organización al riesgo de modos de falla mucho más serios.

Si cualquiera de estos modos de falla no se previenen o se anticipan, el tiempo y esfuerzo que se necesitará invertir para corregirlos también afecta la organización, ya que su reparación consume recursos que sería mejor utilizados en otra parte.

La naturaleza y la severidad de estos efectos rigen la manera como cada modo de falla es visto por la organización. El impacto preciso en cada caso —en otras palabras, la magnitud en que cada modo de falla afecta— depende del contexto operacional del activo, los estándares de desempeño que aplican a cada función, y los efectos físicos de cada modo de falla.

Esta combinación de contexto, estándares y efectos implica que todo modo de falla tiene un conjunto específico de consecuencias asociadas a él. Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o al menos para anticiparlo en el tiempo con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias. Por otro lado, si el modo de falla

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva y el modo de falla simplemente se corregirá cada vez que ocurra.

Esto implica que las consecuencias de los modos de falla son más importantes que sus características técnicas. Esto también sugiere que la idea entera de manejo de falla no está muy cercana de anticipar o prevenir los modos de falla per se, más bien es cercana a evitar y reducir sus consecuencias.

El resto de esta sección considera el criterio utilizado para evaluar las consecuencias de los modos de falla, y el criterio para decidir si cualquier forma de manejo de falla vale la pena. Estas consecuencias están divididas en cuatro categorías en dos fases. La primera fase separa fallas ocultas de fallas evidentes.

10.1.1 FALLAS EVIDENTES Y OCULTAS— “El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.” (SAE JA1011, sección 5.5.1.1)

Algunos modos de falla ocurren de tal modo que nadie esta al tanto que el elemento se encuentra en estado de falla a menos, o hasta que ocurra también alguna otra falla (o evento anormal). Una falla oculta es un modo de falla cuyos efectos no son apreciables para el equipo de operadores en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado. Recíprocamente, una falla evidente es un modo de falla cuyos efectos son apreciables para el equipo de operadores en circunstancias normales si el modo de falla ocurre aislado.

El MCC se aproxima a la evaluación de las consecuencias de fallas comenzando por la separación de las fallas ocultas de las fallas evidentes. Las fallas ocultas se pueden considerar para la mitad de los modos de falla que pueden afectar equipos modernos, los equipos complejos necesitan ser manejados con un cuidado especial. Los párrafos siguientes explican la relación entre fallas ocultas y protección e introducen el concepto de “falla múltiple”.

Fallas Ocultas y Protección: la sección 6.2.2.8 de esta guía menciona que la función de cualquier protección es asegurar que las consecuencias de la falla de la función protegida sean mucho menos serias de lo que hubiesen sido si no tuviese protección. Así, cualquier función protectora es, de hecho parte de un sistema con al menos dos componentes:

- a. La función protectora.
- b. La función protegida.

La existencia de tales sistemas crea dos conjuntos de posibilidades de falla, dependiendo si la falla de la protección es evidente o no. Las implicaciones de cada conjunto son consideradas en los párrafos siguientes, empezando con dispositivos cuya falla es evidente.

10.1.1.1 Fallas evidentes 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 vuelve apreciable para el equipo de operadores en circunstancias normales. La existencia de tales modos de falla crea tres escenarios posibles en cualquier período, como sigue.

La primera posibilidad es que ni la función protectora ni la función protegida fallen. En ese caso todo procede normalmente.

La segunda posibilidad es que la función protegida falle antes de la protección. Es ese 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.

La tercera posibilidad es que la función protectora falle antes de la función protegida. Debido a que esta falla es “evidente”, la pérdida de la protección se debe convertir en aparente. En esta

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

situación, la posibilidad de que la función protegida falle mientras la función protectora está en estado de falla, debe ser casi eliminada, bien sea por el paro de la función protegida o por proveer una protección alternativa hasta que se restaure la función protectora que falló, como se ilustra en la Figura 5. Esto implica a su vez, que las consecuencias de una falla evidente de una función protectora normalmente entra en las categorías “operacional” o “no operacional”, como se discutirá en la sección 10.1.2

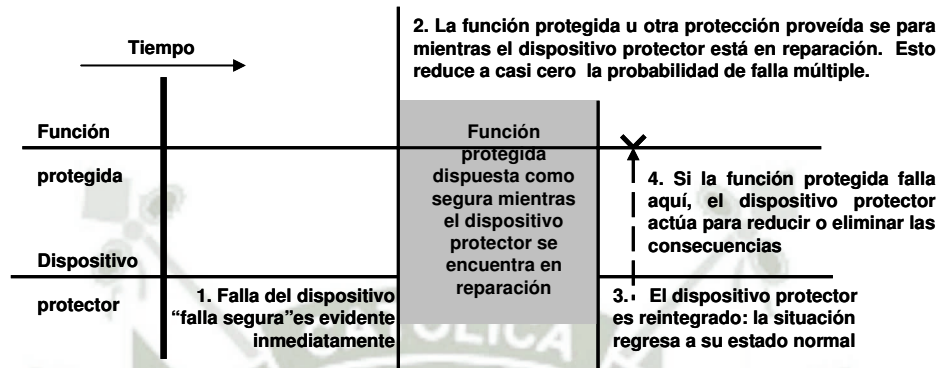


FIGURA 5— FALLA EVIDENTE DE UNA FUNCIÓN PROTECTORA

10.1.1.2 *Funciones Protectoras cuya Falla no es Evidente*— Las fallas ocultas se pueden identificar al hacerse la siguiente 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 a esta pregunta es no, el modo de falla es oculto. Si la respuesta es si, es evidente. Nótese que en este contexto, “aislado” significa que nada más ha fallado. Nótese también que en este punto del análisis se asume que no se está haciendo ningún esfuerzo para revisar si la función asociada está trabajando todavía. Esto es porque tales revisiones son una manera de mantenimiento programado, y el propósito total del análisis es hallar si tal mantenimiento es necesario.

Si ocurre tal modo de falla, el hecho de que la protección no esté disponible para cumplir su función, no se hace aparente en circunstancias normales. La existencia de tales modos de falla crea cuatro escenarios posibles en cualquier período, dos de los cuales también se aplican a las fallas evidentes de las funciones protectoras. El primero es en el que ninguna función falla, en cuyo caso todo procede normalmente como antes.

La segunda posibilidad es que la función protegida falla cuando la protección está funcionando. En este caso la protección también lleva a cabo la función premeditada, entonces las consecuencias de las fallas de la función protegida son de nuevo reducidas o eliminadas del todo.

La tercera posibilidad es que falle 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.

La cuarta posibilidad durante cualquier ciclo es que falle la protección, entonces la función protegida falla mientras la protección está en estado de falla. Esta situación se conoce como falla múltiple. (Esta es una posibilidad real simplemente porque la falla de la protección no es evidente, entonces

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

nadie podría estar consciente de la necesidad de tomar una acción correctiva –o alternativa- para evitar la falla múltiple.)

La secuencia de eventos que predomina en una falla múltiple se resume en la Figura 6.

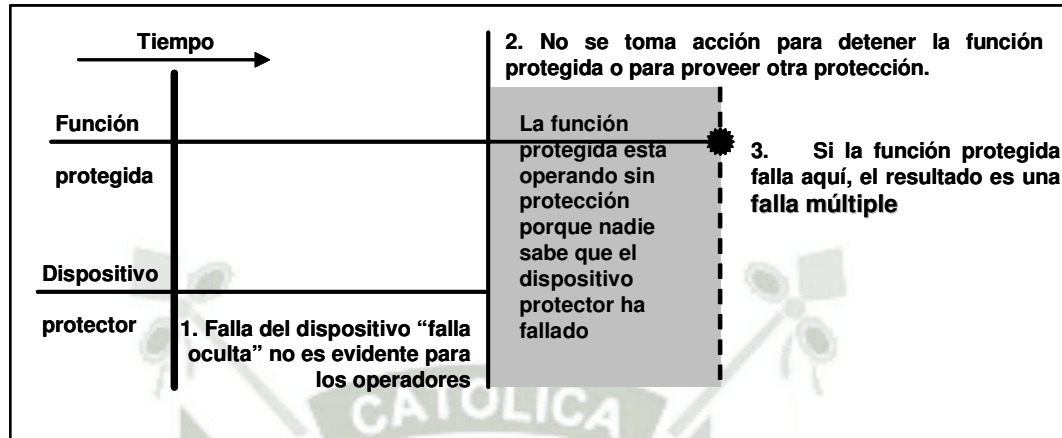


FIGURA 6— FALLA OCULTA DE UNA FUNCIÓN PROTECTORA

10.1.2 CONSECUENCIAS EN LA SEGURIDAD, EL AMBIENTE, OPERACIONALES Y NO OPERACIONALES— “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 en el ambiente de los que sólo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).” (SAE JA1011, sección 5.5.1.2)

Nota— A lo largo de esta sección, “falla” se refiere a un modo de falla o a una falla múltiple.

10.1.2.1 *Consecuencias en la Seguridad*— Una falla tiene consecuencias en la seguridad si existe una probabilidad intolerable de que pueda matar o dañar a un ser humano. La distinción entre una probabilidad “tolerable” e “intolerable” se discute con más detalle en la sección 12.1.3 de esta Guía.

10.1.2.2 *Consecuencias Ambientales*— A otro nivel, “seguridad” se refiere a la seguridad o el bienestar de la sociedad en general. Tales fallas tienden a ser clasificadas como aspectos “ambientales”. Las expectativas de la sociedad adquieren la forma de normas ambientales municipales, regionales y nacionales. Algunas organizaciones también tienen sus propias normas corporativas, incluso más estrictas. Como resultado, una falla tiene consecuencias ambientales si existe una probabilidad intolerable de que puede violar cualquier norma o regulación ambiental conocida.

10.1.2.3 *Consecuencias Operacionales*— La función primaria de la mayoría de los equipos en el comercio y en la industria está usualmente conectada con la necesidad de obtener ingresos o para soportar actividades de ganancia de réditos. Las fallas que afectan las funciones primarias de estos activos afectan la capacidad de ingreso de réditos de la organización. La magnitud de estos efectos depende de que tanto se utilice el equipo y de la disponibilidad de las alternativas. Sin embargo; en casi todos los casos, los costos de estos efectos son mayores –frecuentemente mucho mayores- que el costo de reparar las fallas, y estos costos necesitan ser tomados en cuenta cuando se evalúa la relación costo-efectividad de cualquier política de manejo de fallas. En general, las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras:

- a. Afectan el rendimiento o la producción total.
- b. Afectan la calidad del producto.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- c. Afectan el servicio al consumidor (y pueden incurrir en penalidades financieras).
- d. Incrementan los costos operacionales en adición a los costos directos de reparación.

En empresas sin fines de lucro como compañías militares, muchas fallas también afectan la disponibilidad de la organización para cumplir su función primaria, algunas veces con resultados devastadores. Mientras se hace difícil costear los resultados de la pérdida de una batalla o incluso una guerra, las fallas que pueden afectar la capacidad operacional aún tienen implicaciones económicas. Si esto ocurre muy frecuentemente, podría ser necesario desplegar (decir) 60 tanques de batalla en lugar de 50, o seis portaviones en lugar de cinco. La redundancia a esta escala podría ser muy costosa.

Por esta razón, si una falla evidente no constituye una amenaza a la seguridad o al ambiente, el proceso MCC se enfoca luego en las consecuencias operacionales de la falla.

Debido a que estas consecuencias tienden a ser económicas por naturaleza, comúnmente son evaluadas en términos económicos. Sin embargo; en casos más extremos (como la pérdida de una guerra), el “costo” puede haber sido evaluado sobre una base cualitativa. En la práctica, el efecto económico global de cualquier falla tiene consecuencias operacionales dependiendo de dos factores:

- a. Cuanto cuesta la falla cada vez que ocurre, en términos de su efecto en la capacidad operacional más los costos de reparación de la falla (si hay algún daño secundario).
- b. Qué tan frecuentemente ocurre esto.

10.1.2.4 Consecuencias No Operacionales— Las consecuencias de una falla evidente que no tienen efectos adversos directos en la seguridad, el ambiente o la capacidad operacional, son clasificadas como no operacionales. Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación de las mismas y de cualquier daño secundario, entonces estas consecuencias son también económicas.

10.1.3 MCC Y LAS REGULACIONES/LEGISLACIONES DE SEGURIDAD— Una pregunta que surge frecuentemente concierne a la relación entre MCC y las tareas especificadas por las autoridades reguladoras (la legislación ambiental trata con ellas directamente).

La mayoría de las regulaciones que rigen la seguridad demandan simplemente que los usuarios sean capaces de demostrar que están haciendo cualquier cosa prudente para cerciorarse que sus activos sean seguros. Esto ha llevado rápidamente a un énfasis creciente del concepto de auditoría, la cual requiere básicamente que los usuarios de los activos tengan la capacidad de producir evidencia documental de que existe una base defendible, racional para sus programas de mantenimiento. En la vasta mayoría de los casos, MCC satisface totalmente este tipo de requerimiento.

Sin embargo; algunas regulaciones demandan que ciertas tareas específicas se deben hacer en ciertos tipos de equipos específicos a intervalos específicos. Muy a menudo el proceso MCC sugiere una tarea diferente y/o un intervalo diferente, y en la mayoría de los casos, la tarea derivada del MCC es una política de manejo de fallas superior. Sin embargo; en tales casos, es sabio continuar haciendo la tarea especificada por las regulaciones y discutir el cambio sugerido con las autoridades reguladoras correspondientes.

10.2 Evaluando las Consecuencias de Falla— “La valoración de las consecuencias de falla se debe realizar como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.” (SAE JA1011, sección 5.5.2)

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Por las razones explicadas en la sección 9.1 de esta guía, es esencial asumir que ningún mantenimiento proactivo se está llevando a cabo cuando se están identificando las consecuencias de falla.

11. **Selección de las Políticas de Manejo de Fallas**

11.1 **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.” (SAE JA1011, sección 5.6.1)

Uno de los factores más importantes que afecta la selección de cualquier política de manejo de fallas es la relación entre la longevidad (o exposición al esfuerzo) y la falla. Existen seis conjuntos de maneras en las cuales la probabilidad condicional de falla varía a medida que un elemento envejece, como se muestra en la Figura 7.

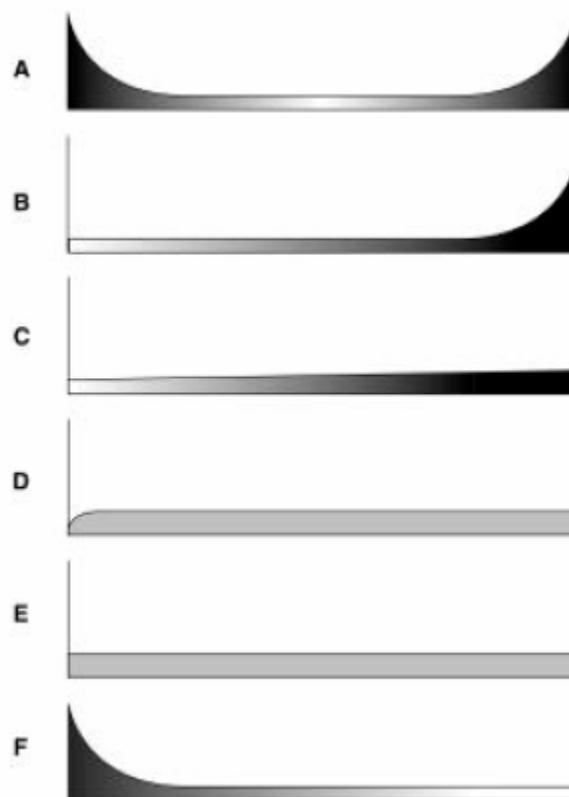


FIGURA 7— SEIS PATRONES DE FALLA

Los patrones A y B despliegan el punto al cual hay un incremento veloz de la probabilidad condicional de falla (a veces llamada “zona de desgaste”). El patrón C muestra un incremento sostenido en la probabilidad de falla, pero no distingue la zona de desgaste. El patrón D muestra una probabilidad condicional de falla baja cuando el elemento es nuevo o recién comprado, entonces ocurre un incremento rápido hacia un nivel que crece lento o constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante para toda la longevidad (falla aleatoria). El patrón F empieza con alta mortalidad infantil, cayendo a un decrecimiento constante o muy bajo de la probabilidad condicional de falla.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

En general, los patrones de falla relacionados a la longevidad aplican a elementos que son muy simples, o elementos muy complejos que sufren un modo de falla dominante. En la práctica, están comúnmente asociados con el desgaste directo (más frecuente en donde los equipos entran en contacto directo con el producto), fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

- 11.2 Técnicamente Factible y Vale la Pena Hacerlo**— “Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y deben valer la pena hacerlas (aplicables y efectivas)....” (JA1011, sección 5.6.2)

Cualquier tarea programada vale la pena hacerla sólo si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla a una magnitud que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea. (Nótese que en este contexto los dispositivos de monitoreo incorporados constituyen una “tarea programada”, ya que una se está ejecutando automáticamente -continuamente o a intervalos predeterminados- por el dispositivo de monitoreo. Por consiguiente están sujetas al mismo criterio de selección que cualquier otro tipo de tareas programadas. Note también que tales dispositivos por sí mismos requieren diseño, instalación y mantenimiento, lo cual también se debe considerar cuando se evalúa su costo-efectividad).

Si no se puede hallar una tarea programada apropiada, y si las consecuencias del modo de falla no son aceptables por el dueño o usuario del activo, entonces se debe encontrar alguna otra manera de manejar las consecuencias de falla.

Por supuesto, esto también tiene que ser técnicamente posible para cualquier política de manejo de fallas que influencie las consecuencias de falla. El hecho de que tal política sea o no técnicamente factible (o aplicable) depende de las características técnicas de la política y del modo de falla en consideración. El criterio que rige la factibilidad técnica se discute más detalladamente en las Secciones de la 12 a la 14 de esta guía.

- 11.3 Efectividad de Costo**— “Si dos o más políticas de manejo de fallas propuestas son técnicamente factibles y valen la pena hacerlas (aplicables y efectivas), se debe seleccionar la política que sea más costo-efectiva.” (SAE JA1011, sección 5.6.3)

Dado el número de opciones de políticas de manejo de fallas (especialmente el mantenimiento predictivo o las técnicas de monitoreo de condición) que están disponibles actualmente, normalmente es tentador seleccionar una política basada solamente en la sofisticación técnica antes que en la base de costo-efectividad. Cuando más de una opción de política de manejo de fallas es apropiada técnicamente, para aplicar MCC correctamente, el trabajo siempre está en seleccionar la política que maneje satisfactoriamente las consecuencias del modo de falla en la forma más económica, antes que aquella que sea más sofisticada técnicamente.

- 11.4 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas**— “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.” (SAE JA1011, sección 5.6.4)

De nuevo, por las razones explicadas en la sección 9.1 de esta guía, es esencial asumir que ningún mantenimiento proactivo se está llevando a cabo cuando se seleccionan las políticas de manejo de fallas.

12. Manejo de las Consecuencias de Falla

- 12.1 Modos de Falla Evidente con Consecuencias en el Ambiente o en la Seguridad**— “En el caso de que un modo de falla evidente tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

reducir la probabilidad del modo de falla a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.” (SAE JA1011, sección 5.7.1.1)

A la mayoría de las personas les gustaría vivir en un ambiente en el cual no exista ninguna probabilidad de muerte o daño físico, hay, de hecho, un elemento de riesgo en todas las cosas que hacemos. En otras palabras, el “cero” es inalcanzable. Entonces ¿qué es alcanzable?

Para responder a esta pregunta, la pregunta del riesgo debe ser considerada con más detalle.

La evaluación del riesgo consiste en tres elementos. La primera pregunta es que podría pasar si el evento en consideración ocurre. La segunda pregunta es que probabilidad existe de que el evento ocurra del todo. La combinación de estos dos elementos provee una medida del grado de riesgo. La tercera pregunta –y frecuentemente el elemento más contencioso- es si el riesgo es tolerable.

Por ejemplo, considere un modo de falla que pueda resultar en la muerte o el daño físico de 10 personas (¿qué puede pasar?). La probabilidad de que ocurra este modo de falla es de 1 en 1.000 en un año cualquiera (¿cuán probable es que ocurra?). Basados en estas cifras, el riesgo asociado con este modo de falla es:

$$10 \times (1 \text{ en } 1.000) = 1 \text{ accidente cada } 100 \text{ años}$$

Ahora considere un segundo modo de falla que puede causar 1.000 accidentes, pero la probabilidad de que ocurra este modo de falla es 1 en 100.000 en un año. El riesgo asociado con este modo de falla es:

$$1.000 \times (1 \text{ en } 100.000) = 1 \text{ accidente cada } 100 \text{ años}$$

En estos ejemplos, el riesgo es el mismo a pesar de que las cifras en las que se basan son muy diferentes. Nótese también que estos ejemplos no indican si el riesgo es tolerable –ellos sólo lo cuantifican. Si el riesgo es tolerable o no, es otra pregunta que se trata más adelante.

(Los términos “probabilidad” (1 en 10 oportunidades de un modo de falla en un año) y “tasa de falla” (una vez en 10 períodos en promedio, correspondiente a Tiempo Promedio Entre Fallas de 10 períodos) se utilizan frecuentemente si son intercambiables cuando aplican a fallas aleatorias. Estrictamente hablando, esto no es verdad. Sin embargo; si el TPEF es mayor de 4 períodos, la diferencia es tan pequeña que casi puede ignorarse).

Los párrafos siguientes consideran cada uno de estos tres elementos de riesgo en más detalle.

- 12.1.1 ¿QUÉ PUEDE PASAR SI OCURRE EL MODO DE FALLA?— Lo que suceda exactamente siempre y cuando ocurra cada modo de falla, se debe registrar como parte de la lista de los efectos de falla. En otras palabras, la definición del efecto de falla debe registrar si cualquier ocurrencia del modo de falla (se dice) tiene una de 10 posibilidades de matar a una persona o si es probable que mueran hasta 10 personas o si es posible que cause la pérdida de un miembro de un operador. Con la finalidad de ser razonablemente conservador, note que las definiciones del efecto de falla deben reflejar el “escenario del peor caso típico” (pero no el caso más extremo, ya que esto podría ser excesivamente conservador). Si surge la duda, las personas que desarrollan el análisis deben preguntarse, si ocurre el peor de los peores casos, que punto de vista probable finalmente será defendible ante cualquier autoridad y sus superiores responsables.
- 12.1.2 ¿CUÁL ES LA PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL MODO DE FALLA?— La Sección 8.1 de esta guía menciona que sólo los modos de falla que son probables de ocurrir en el contexto en cuestión deben ser registrados en el AMEF. Como resultado, si el AMEF se ha preparado sobre una base real, el mismo hecho de que un modo de falla haya sido listado sugiere que existe una probabilidad

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

finita de que ocurra. Idealmente esta probabilidad debe ser cuantificada como parte de la definición del efecto de falla o en una base de datos separada, de modo que el riesgo también pueda ser cuantificado. (Note que, en la práctica, los datos de falla histórica precisos no están disponibles en la mayoría de los casos, especialmente en los de equipos nuevos que incorporan cantidades sustanciales de nueva tecnología. En estos casos, la evaluación debe estar basada en estimaciones inteligentes por personas que entiendan claramente el equipo y el contexto en el cual están siendo utilizados).

- 12.1.3 ¿ES TOLERABLE EL RIESGO?— Como se mencionó anteriormente, el riesgo se mide por la probabilidad multiplicado por la severidad. Esto se expresa usualmente sobre una base anual (aunque puede ser expresado en términos de eventos por un número de ciclos u horas operacionales dadas o cualquier otro que tenga sentido en el contexto en cuestión). Decidir que es tolerable, es completamente otra materia.

Las creencias acerca del nivel tolerable de riesgo de matar o dañar físicamente varía ampliamente de individuo a individuo o de grupo a grupo. Muchos factores influyen estas creencias. Los dos factores más dominantes son el grado de control que cualquier individuo piensa tiene sobre la situación y el beneficio que las personas creen que los mismos derivaran al exponerse al riesgo. Esto a su vez influencia hasta que punto ellos podrían escoger exponerse al riesgo. Esta perspectiva tiene que ser llevada a un grado de riesgo que pueda ser tolerado por la población entera (todos los trabajadores en el sitio, todo los ciudadanos de un pueblo o incluso, la población entera de un país).

En otras palabras, si yo tolero una probabilidad de 1 en 100.000 (10^{-5}) de ser muerto en el trabajo en un año y tengo 1.000 compañeros de trabajo quienes comparten la misma perspectiva, entonces nosotros aceptaremos que un promedio de una persona en nuestro sitio morirá en el trabajo cada 100 años —y esa persona puedo ser yo, y puede pasar este año.

Tenga presente que cualquier cuantificación del riesgo de esta manera, puede ser solamente una aproximación brusca. En otras palabras, una probabilidad tolerable de 10^{-5} nunca es más que una aproximación. Con esto en mente, el próximo paso es llevar la probabilidad de que un individuo y sus compañeros de trabajo estén preparados para tolerar que uno de ellos pueda ser muerto por algún evento en el trabajo, a una probabilidad tolerable para cada evento simple (modo de falla o falla múltiple) que pueda matar a alguien.

Por ejemplo, continuando con la lógica del ejemplo previo, la probabilidad de que cualquiera de mis 1.000 compañeros de trabajo sean muertos en un año es de 1 en 100 (asumiendo que cualquiera en el sitio está expuesto a las mismas amenazas). Si las actividades llevadas a cabo en el sitio incluyen (se dice) 10.000 eventos que pueden matar a alguien, entonces la probabilidad promedio de que cada evento pueda matar a una persona debe ser reducida a 10^{-6} en un año. Esto significa que la probabilidad de un evento que es probable mate a 10 personas se debe reducir a 10^{-7} , mientras que la probabilidad de un evento que tiene una oportunidad de 1 en 100 de matar a una persona se debe reducir a 10^{-5} . (Las técnicas utilizadas para subir o bajar la jerarquía de la probabilidad de esta manera se conoce como evaluaciones del riesgo cuantitativo o probabilístico).

Aunque los puntos discutidos anteriormente dominan las decisiones acerca de la tolerancia del riesgo, no son los únicos puntos. Los factores adicionales que ayudan a decidir que es tolerable incluyen valores individuales, valores industriales, que tanto se conocen los efectos reales y las consecuencias de cada modo de falla, el valor colocado para la vida humana por los diferentes grupos culturales, valores religiosos, la edad y el estado civil del individuo.

- 12.1.4 ¿QUIÉNES DEBEN EVALUAR EL RIESGO?— La diversidad de factores discutidos previamente indican que en este punto, es comúnmente imposible para alguna persona —o incluso una organización- decidir que es “tolerable” en nombre de todas las personas expuestas a un riesgo en particular. Además, en el presente pocas organizaciones utilizan una metodología formal para

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

determinar que constituye un riesgo tolerable. En ausencia de tal metodología, lo que es tolerable puede ser determinado por un grupo representativo:

- a. Personas que probablemente tienen un entendimiento claro del mecanismo de falla, los efectos de falla (especialmente la naturaleza de algunas amenazas), la probabilidad de que ocurra el modo de falla y las probables medidas que se puedan tomar para anticiparlo o prevenirlo.
- b. Personas quienes tienen una visión genuina de la tolerabilidad u otra parte de los riesgos. Esto debe incluir representaciones de:
 1. Las probables víctimas (operadores o mantenedores en el caso de amenazas directas a la seguridad, y la comunidad en general en el caso de amenazas al ambiente)
 2. Quienes tienen que acarrean con las consecuencias si alguien es lastimado o muerto o si se viola una norma ambiental (como la gerencia).

Sin embargo; si una organización ha establecido niveles de riesgo que se consideren tolerables por todas las partes involucradas, entonces estos niveles pueden ser utilizados cuando se evalúa si alguna política de manejo de fallas vale la pena aplicarla a los modos de falla con consecuencias en el ambiente o en la seguridad.

12.1.5 MANEJO DE FALLAS Y SEGURIDAD— Si existe un riesgo intolerable de que un modo de falla pueda afectar la seguridad o el ambiente, el proceso MCC estipula que nosotros debemos tratar de reducir la probabilidad del modo de falla, o sus consecuencias, o ambos, de modo que la magnitud del riesgo total descienda a un nivel tolerable. Esto sugiere que, 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.

Nótese que cuando se trata con modos de falla evidentes que tienen consecuencias en la seguridad o en el ambiente, MCC no considera el costo del modo de falla. Si el riesgo es intolerable entonces se debe reducir a un nivel tolerable, bien sea por la introducción de una tarea proactiva adecuada (o tareas), o por el cambio del diseño o de la operación del activo de tal modo que el riesgo se reduzca a un nivel tolerable.

12.2 Modos de Falla Oculta con Consecuencias en la Seguridad y en el Ambiente— “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.” (SAE JA1011, Sección 5.7.1.2)

Como se explicó anteriormente, una falla múltiple sólo ocurre si la función protegida falla mientras la protección está en estado de falla. Esto significa que la probabilidad de una falla múltiple en cualquier período es dada por la probabilidad de que la función protegida fallará mientras que la protección está en estado de falla durante el mismo período. Esto se puede calcular como se muestra en la Ecuación 1:

$$\text{Probabilidad de una falla múltiple} = \text{Probabilidad de falla de la función protegida} \times \text{Promedio de indisponibilidad de la protección} \quad (\text{Ec. 1})$$

Para fallas múltiples que tengan consecuencias en la seguridad y en el ambiente, se debe determinar la probabilidad tolerable como se describe en las secciones 12.1.3 y 12.1.4. La probabilidad de falla (o tasa de falla) de la función protegida normalmente es dada. Entonces, si esas dos variables son conocidas, la indisponibilidad permitida de la función protectora puede expresarse como se muestra en la Ecuación 2:

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

$$\text{Indisponibilidad permitida de la protección} = \frac{\text{Probabilidad tolerable de una falla múltiple}}{\text{Probabilidad de falla de la función protegida}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Así un elemento crucial del desempeño requerido de cualquier protección que pueda sufrir un modo de falla oculta es la máxima indisponibilidad que se puede permitir si la probabilidad de la falla múltiple asociada no excede el nivel tolerable. Esta indisponibilidad se determina en las siguientes tres fases:

- a. Si no se ha determinado como se describe en 12.1.3. y 12.1.4, establezca cual es la probabilidad que la organización está dispuesta a tolerar para la falla múltiple.
- b. Entonces, determine la probabilidad de que la función protegida falle en el período en consideración (esto también se conoce como "tasa de demanda").
- c. Finalmente, determine la indisponibilidad (también conocida como "tiempo muerto parcial") de la protección que resulta en la probabilidad tolerable de la falla múltiple.

Nótese también que comúnmente es posible variar tanto la probabilidad de una falla no anticipada de la función protegida, como (especialmente) la indisponibilidad de la función protectora por adopción de políticas de manejo de fallas convenientes. Como resultado, también es posible reducir la probabilidad de una falla múltiple a casi cualquier nivel deseado en razón de adoptar tales políticas. (cero es, por supuesto, un ideal inalcanzable).

12.3 Modos de Falla Evidente con Consecuencias Económicas— “En el caso de un modo de falla evidente que no tenga consecuencias en la seguridad o 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.” (SAE JA1011, Sección 5.7.1.3)

Las secciones 10.1.2.3 y 10.1.2.4 describen los elementos claves de las consecuencias económicas de un modo de falla. Estas secciones también muestran que las consecuencias económicas comprenden consecuencias operacionales y no operacionales, y que ellas son evaluadas bajo la suposición de que no se está desarrollando ninguna tarea programada.

Si las consecuencias de falla son económicas, el costo total de la organización en un período de tiempo no sólo es afectado por la magnitud de las consecuencias que podrían ocurrir, sino también por cuan frecuente las consecuencias tienen probabilidad de ocurrencia. Similarmente, el costo total de la organización de realizar cualquier tarea programada es afectado también por el costo total de hacer la tarea y por cuan frecuente es realizada. En este contexto, el costo total de realizar la tarea debe tomar en cuenta el costo de hacer la tarea por si misma, más el hecho de que en ocasiones puede ser necesario un trabajo adicional al levantar la tarea. Por ejemplo, puede ser necesario revisar un cojinete por ruido una vez a la semana y reemplazar un cojinete ruidoso una vez cada cuatro o cinco años en promedio.

Consecuentemente, para evaluar la viabilidad económica de cualquier tarea, es necesario comparar el costo total del modo de falla en un período dado con el costo total de la política de manejo de falla en el mismo período. (En la mayoría de los casos, estos costos son comparados por la reducción de los mismos sobre una base anualizada).

Si el costo de realizar la tarea en ese período es menor que el costo total del modo de falla, entonces vale la pena hacerla. De lo contrario, la tarea no es apropiada y se debe considerar alguna otra política de manejo de falla.

Nótese que si existe un grado razonable de certeza de que la probabilidad condicional del modo de falla se incrementará con el tiempo, entonces el período utilizado para la comparación debe ser suficientemente largo para abarcar tanto la vida temprana como el período de incremento de la probabilidad de falla cuando se evalúa si vale la pena hacer la tarea programada.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Nótese también que si el resto de la vida útil del activo es significativamente más corta que el tiempo promedio entre las ocurrencias del modo de falla (especialmente en el caso de fallas relacionadas con la longevidad), entonces sería apropiado tomar esto en cuenta cuando se evalúa la viabilidad económica de la tarea programada.

- 12.4 Modos de Falla Oculta con Consecuencias Económicas**— “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.” (SAE JA1011, Sección 5.7.1.4.)

Las fallas múltiples que sólo tienen consecuencias económicas (operacionales o no operacionales) cuestan dinero. El manejo de fallas también cuesta dinero. Como resultado, normalmente es posible identificar una política de manejo de fallas que reduzca el costo total de manejar la falla oculta a un valor mínimo. En tales casos, el primer paso es determinar que política de manejo de fallas conduce al costo mínimo total sobre una base anualizada, entonces determine si este riesgo financiero (aunque minimizado) es tolerable para los dueños/usuarios del activo.

13. Políticas de Manejo de Fallas—Tareas Programadas

- 13.1 Tareas Basadas en Condición**— “Cualquier tarea basada en condición que se seleccione (o predictiva, o basada en condición, o tarea de monitoreo de condición) debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a. Debe existir una falla potencial claramente definida.
- b. Debe existir un intervalo P-F identificable (o período para el desarrollo de falla).
- c. El intervalo de la tarea debe ser menor que el intervalo P-F probable más corto.
- d. Debe ser físicamente posible realizar la tarea en intervalos menores que el intervalo P-F.
- e. El tiempo más corto entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional (el intervalo P-F menos el intervalo de la tarea) debe ser suficientemente largo para predeterminar la acción a ser tomada a fin de evitar, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de falla.” (SAE JA1011, Sección 5.7.2)

- 13.1.1 FALLAS POTENCIALES Y LA CURVA P-F**— La mayoría de los modos de falla no ocurren instantáneamente del todo. En tales casos, es muy posible detectar que los elementos concernientes se encuentran en etapas finales de deterioro antes de alcanzar su estado de falla. Esta evidencia de falla inminente se conoce como “falla potencial”, la cual se define como “una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en un proceso de ocurrencia”. Si esta condición puede ser detectada, podría ser posible tomar acción para prevenir que el elemento falle completamente y/o evitar las consecuencias del modo de falla.

La Figura 8 ilustra lo que ocurre en las fases finales del proceso de falla. Esta se llama curva P-F, porque muestra como comienza una falla, deteriora hasta el punto en el cual puede ser detectada (“P”) y entonces, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose —usualmente a una velocidad acelerada— hasta que alcanza el punto de falla funcional (“F”).

Si se detecta una falla funcional entre el punto P y el punto F de la Figura 8, este es el punto al cual podría ser posible tomar acción para prevenir la falla funcional y/o evitar sus consecuencias. (si es posible o no tomar una acción significativa dependerá de cuán rápido ocurre la falla funcional, como se discutirá más adelante). Las tareas diseñadas para detectar las fallas potenciales se conocen como tareas basadas en condición.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

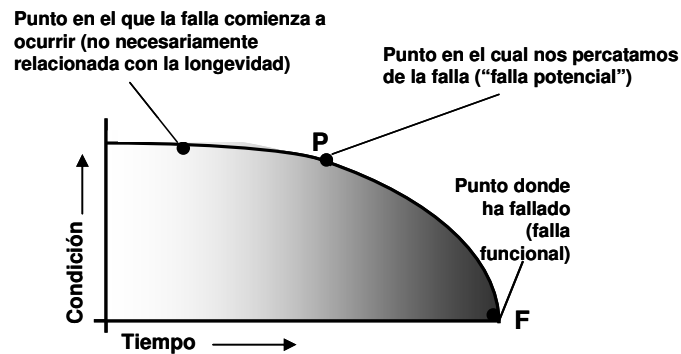


FIGURA 8— LA CURVA P-F

Las tareas basadas en condición se llaman así porque los elementos se inspeccionan y se dejan en servicio bajo la condición de que continúen obteniéndose los estándares de operación especificados —en otras palabras, bajo la condición que el modo de falla en consideración improbablemente ocurra antes de la próxima revisión. Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque nosotros estamos tratando de predecir si —y posiblemente cuando— el elemento va a fallar en base a su comportamiento actual) o mantenimiento basado en condición (porque la necesidad de una acción correctiva o para evitar consecuencias está basada en una evaluación de la condición del elemento).

- 13.1.2 EL INTERVALO P-F— En adición a la falla potencial, también es necesario considerar la cantidad de tiempo (o el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial —en otras palabras, el punto en el cual se hace identificable— y el punto en el que se deteriora hacia una falla funcional. Como se muestra en la Figura 9, este intervalo se conoce como el intervalo P-F.

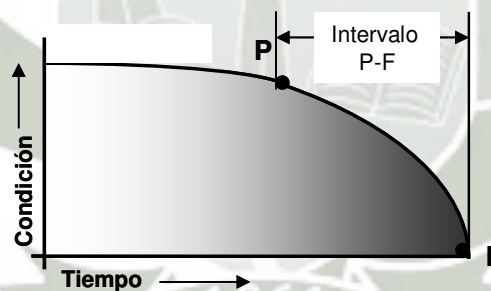


FIGURA 9— EL INTERVALO P-F

El intervalo P-F determina que tan frecuente se deben hacer las tareas basadas en condición. Para detectar la falla potencial antes que se convierta en una falla funcional, el intervalo entre revisiones debe ser menor que el intervalo P-F. También es esencial que la condición de la falla potencial sea lo suficientemente clara para tener la certeza de que la persona que está entrenada para realizar la revisión, detectará la falla potencial siempre y cuando ocurra (o al menos, que la probabilidad de que la falla potencial no sea detectada sea suficientemente baja para reducir la probabilidad de un modo de falla no anticipado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo).

El intervalo P-F también se conoce como período de advertencia, el tiempo que conduce hacia una falla funcional o el período de desarrollo de la falla. Este se puede medir en cualesquiera unidades que provean una indicación de la exposición al esfuerzo (tiempo de operación, unidades de

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

producción, ciclos parada-arranque, etc.). Para diferentes modos de falla, estos varían de fracciones de segundo a varias décadas.

Nótese que si se realiza una tarea basada en condición a intervalos que son más largos que el intervalo P-F, existe una posibilidad de que la falla potencial sea abandonada del todo. Por otro lado, si se realiza la tarea a fracciones muy pequeñas del intervalo P-F, los recursos serán gastados en el proceso de revisión.

En la práctica los intervalos de las tareas siempre se deben seleccionar para ser más cortos que el más corto intervalo P-F probable. En la mayoría de los casos, es suficiente seleccionar un intervalo de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Sin embargo, algunas veces es apropiado seleccionar intervalos de tarea que sean alguna otra fracción del intervalo P-F. Esto se puede regir por el intervalo P-F neto requerido (como se discute más adelante), o puede ser porque el usuario del activo tiene datos históricos relevantes que dictaminan que una fracción diferente es apropiada.

- 13.1.3 EL INTERVALO NETO P-F— El intervalo neto P-F es el intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la Figura 10, la cual muestra un proceso de falla con un intervalo P-F de nueve meses. La figura muestra que si el elemento es revisado mensualmente, el intervalo neto P-F es de 8 meses. Por otro lado, si es revisado semestralmente, el intervalo neto P-F debería ser de tres meses. Entonces, en el primer caso el tiempo mínimo disponible para realizar cualquier cosa con respecto a la falla potencial es cinco meses mayor que en el segundo, pero la tarea basada en condición tiene que ser realizada con una frecuencia seis veces mayor.

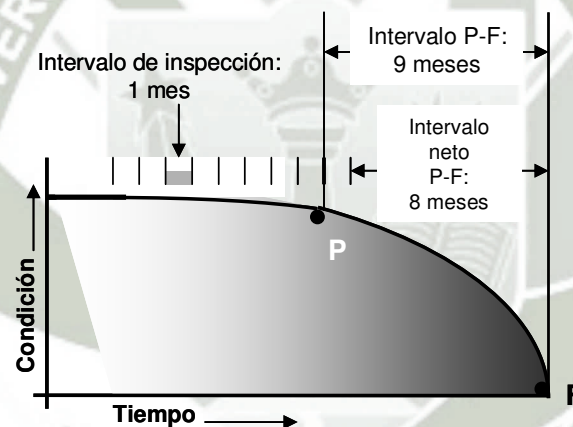


FIGURA 10— INTERVALO NETO P-F

El intervalo P-F rige la duración del período disponible para tomar cualquier acción necesaria con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias del modo de falla. Para que una tarea basada en condición sea técnicamente factible, el intervalo neto P-F debe ser mayor que el período requerido para evitar o reducir las consecuencias del modo de falla. Si el intervalo neto P-F es demasiado corto para tomar una acción sensata, entonces la tarea basada en condición no es técnicamente factible. En la práctica, el período requerido varía ampliamente. En algunos casos, puede ser una cuestión de horas (decir hasta el final de un ciclo de operación o el fin de un cambio) o incluso minutos (parar una máquina o para evacuar un edificio). En otros casos, pueden ser semanas o incluso meses (decir hasta un mantenimiento mayor). En general, se desean intervalos P-F mayores por dos razones:

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- a. Es posible hacer cualquier cosa necesaria para evitar las consecuencias del modo de falla (incluyendo la planeación de la acción correctiva) de una manera más considerada y por demás controlada.
- b. Se requieren menos inspecciones basadas en condición.

Por esta razón se invierte mucha energía para encontrar las condiciones de la falla potencial y las técnicas basadas en condición que suministran posibles intervalos P-F mayores. Sin embargo; en algunos casos, es posible utilizar intervalos P-F muy cortos.

13.1.4 LA RELACIÓN ENTRE EL INTERVALO P-F Y LA LONGEVIDAD

13.1.4.1 *Intervalos P-F y Fallas Aleatorias*— Cuando se aplican estos principios por primera vez, las personas frecuentemente tienen la dificultad de distinguir entre la “vida” de un componente y el intervalo P-F. Esto los lleva a basar las frecuencias de las tareas basadas en condición en la “vida” real o imaginaria del elemento. Si el esto existe, esta vida normalmente es mucho mayor que el intervalo P-F, de modo que la tarea logra poco o nada. En la realidad, nosotros medimos la vida de un componente hacia delante desde el momento en que entra en servicio. El intervalo P-F se mide hacia atrás desde la falla funcional, así los dos conceptos comúnmente no están relacionados. La distinción es importante ya que los modos de falla que no están relacionados con la longevidad (en otras palabras, fallas aleatorias) tienen la misma probabilidad de ser advertidos como de no serlos.

Por ejemplo, la Figura 11 muestra un componente que conforma el patrón de una falla aleatoria (patrón E). Uno de los componentes falla después de los cinco años, el segundo falla después de seis meses y un tercero después de dos años. En cada caso, la falla funcional estuvo precedida por una falla potencial con un intervalo P-F de cuatro meses.

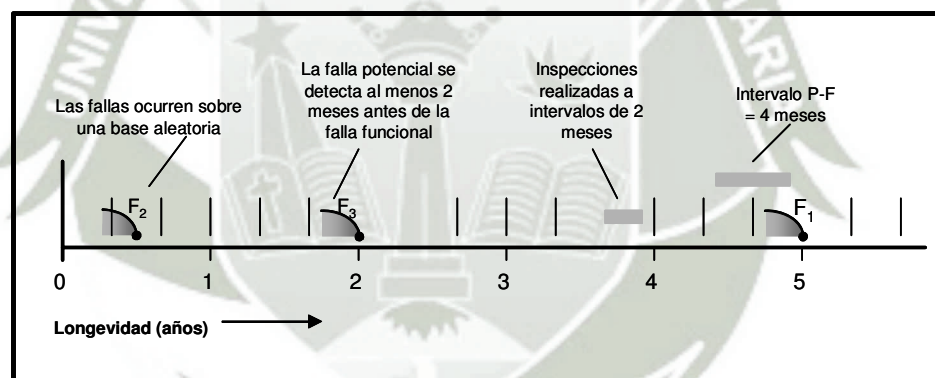


FIGURA 11— FALLAS ALEATORIAS Y EL INTERVALO P-F

La Figura 11 muestra que con el fin de detectar la falla potencial, necesitamos realizar una tarea de inspección cada 2 meses. Debido a que los modos de falla ocurren sobre una base aleatoria, no sabemos cuando ocurrirá el próximo, así el ciclo de inspecciones debe comenzar tan pronto como el elemento entra en servicio. En otras palabras, la medida del tiempo de las inspecciones no tiene nada que ver con la longevidad o vida del componente.

Sin embargo; esto no significa que las tareas basadas en condición aplican sólo a elementos que fallan sobre una base aleatoria. Estas también se deben aplicar a elementos que sufren modos de falla relacionados con la longevidad, como se discutió anteriormente.

13.1.4.2 *Intervalos P-F y Modos de Falla Relacionados con la Longevidad*— Si un elemento se deteriora de una manera más o menos lineal a lo largo de su vida, está supuesto razonar que las fases finales

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

de deterioro serán también más o menos lineales. Esto es probable que sea verdadero para modos de falla relacionados con la longevidad.

Por ejemplo, considere el uso de un neumático. Es probable que la superficie de un neumático se desgaste de una manera más o menos lineal hasta que la profundidad de la banda de rodamiento alcance el mínimo aceptable. Si este mínimo es (se dice) 2 mm, es posible especificar una profundidad de rodamiento mayor a 2 mm que provea una advertencia adecuada para la ocurrencia inminente de la falla funcional. Este es, por supuesto, el nivel de la falla potencial.

Si la falla potencial es fijada en (se dice) 3 mm, entonces el Intervalo P-F es la distancia que el neumático podría viajar hasta que su profundidad de rodamiento se desgaste de 3 mm a 2 mm, como se ilustra en la Figura 12.

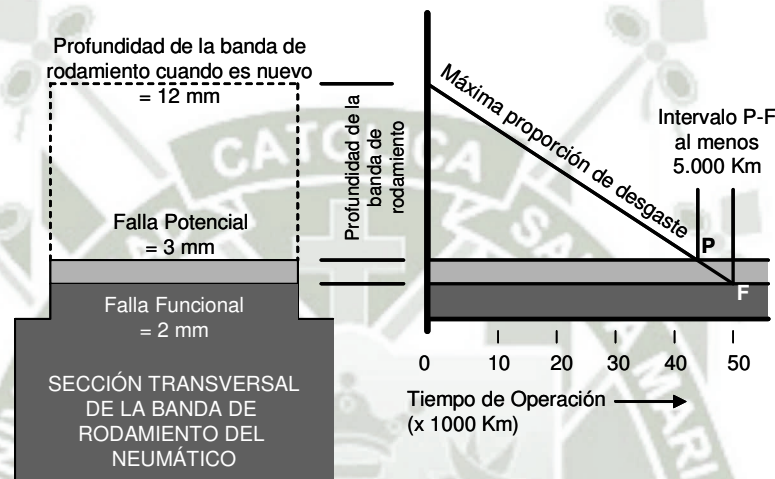


FIGURA 12— UNA CURVA P-F LINEAL

La Figura 12 también sugiere que si el neumático entra en servicio con una profundidad de banda de rodamiento de (se dice) 12 mm, podría ser posible predecir el intervalo P-F basándose en la distancia total cubierta comúnmente antes de que el neumático tenga que ser reencauchado. Por ejemplo, si los neumáticos duran al menos 50.000 Km antes de que sean reencauchados, es razonable concluir que la banda de rodamiento se desgasta a una proporción máxima de 1 mm por cada 5.000 Km de recorrido. Estas cantidades a un intervalo P-F de 5.000 Km. La tarea basada en condición asociada podría ser llamada por el conductor: "Revisar la profundidad de la banda de rodamiento cada 2.500 Km y reportar los neumáticos cuya profundidad de banda de rodamiento sea menor de 3 mm".

Esta tarea no sólo asegurará que se detecte el desgaste antes de exceder el límite legal, sino que también permite el tiempo suficiente -2.500 km en este caso- para que los operadores del vehículo planeen retirar el neumático antes de alcanzar el límite.

En general, el deterioro lineal entre "P" y "F" probablemente sólo se encuentra en los casos en los cuales los mecanismos de falla estén intrínsecamente relacionados con la longevidad.

13.1.5 CONSISTENCIA DEL INTERVALO P-F— Las curvas P-F ilustradas hasta ahora en esta sección de la guía indican que el intervalo P-F es constante para cualquier modo de falla dado. De hecho, este no es el caso -algunos realmente varían en un amplio rango de valores, como se muestra en la Figura 13. En esos casos se debe seleccionar un intervalo de tarea que sea menor que los

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

intervalos probables P-F más cortos. Esto asegura un grado razonable de certeza al detectar la falla potencial antes que se convierta en una falla funcional. Si el intervalo neto P-F asociado con este intervalo mínimo es lo suficientemente grande para tomar una acción que maneje las consecuencias del modo de falla, la tarea basada en condición es técnicamente factible.

Por otro lado, si el intervalo P-F es muy inconsistente, no es posible establecer un intervalo de tarea significativo, y se debe abandonar la tarea a favor de alguna otra manera de manejar el modo de falla.

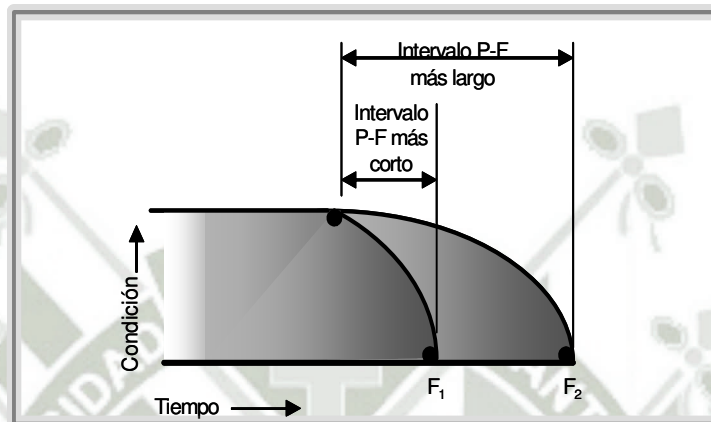


FIGURA 13— INTERVALOS P-F INCONSISTENTES

13.1.6 CATEGORÍAS DE TÉCNICAS BASADAS EN CONDICIÓN— Las cuatro categorías mayores de técnicas basadas en condición son las siguientes:

- a. Las técnicas basadas en las variaciones de la calidad del producto. En muchos casos, la emergencia de un defecto en un artículo producido por una máquina está directamente relacionada a un modo de falla de la misma. Muchos otros defectos surgen gradualmente, y así proveen evidencia oportuna de fallas potenciales.
- b. Técnicas de monitoreo de efectos primarios. Los efectos primarios (velocidad, caudal de flujo, presión, temperatura, potencia, corriente, etc.) son otras fuentes de información acerca de las condiciones del equipo. Los efectos pueden ser monitoreados por una persona a través de la lectura de un indicador, por un computador como parte de un sistema de control de procesos, o por un registrador de mapas.
- c. Técnicas basadas en los sentidos humanos (observar, escuchar, sentir, y oler).
- d. Técnicas de monitoreo de condición. Estas son técnicas para detectar fallas potenciales que involucran el uso de equipo especializado (el cual algunas veces, se incorpora al equipo que se está monitoreando). Estas técnicas son conocidas como monitoreo de condición para distinguirlas de otros tipos de mantenimiento basados en condición.

Muchos modos de falla son precedidos por más de una –frecuentemente varias- fallas potenciales diferentes, así podría ser apropiada más de una categoría de tareas basadas en condición. Cada una de ellas tendrá un intervalo P-F diferente, y cada una requerirá diferentes tipos y niveles de habilidades. Esto significa que ninguna categoría de tareas por sí sola será siempre la más costo-efectiva. Entonces, para evitar inclinaciones innecesarias en la selección de la tarea, es esencial:

- a. Considerar todos los fenómenos detectables que probablemente precedan cada modo de falla, junto al rango total de tareas basadas en condición que puedan utilizarse para detectar esas advertencias.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- b. Aplicar el criterio de selección de tareas del MCC rigurosamente para determinar cuales tareas (si existen) probablemente sean la manera más costo-efectiva de anticipar el modo de falla en consideración.

Nótese que cualquier dispositivo incorporado para determinar si un modo de falla está en proceso de ocurrir, debe satisfacer el mismo criterio para la factibilidad técnica y vale la pena hacerlo de cualquier mantenimiento basado en condición, con modos de falla adicionales, y se deben analizar conforme a ello.

13.2 Tareas de Restauración Programada y de Desincorporación Programada— “Cualquier tarea de desincorporación programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a. Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad en la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.
- b. 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.” (SAE JA1011, Sección 5.7.3)

“Cualquier tarea de restauración programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a. Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.
- b. 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.
- c. La tarea debe restaurar la resistencia a fallar (condición) del componente a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.” (SAE JA1011, Sección 5.7.4)

Las tareas de restauración programada y de desincorporación programada tienen un número de características en común, así esta parte de la guía considera primero sus características comunes, luego revisa las diferencias.

La restauración programada vincula la toma de 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, a un nivel que provea una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final o hasta otro intervalo especificado (el cual no tiene que ser necesariamente igual al intervalo inicial). Esta acción usualmente trae consigo tanto la refabricación de un sólo componente como la verificación del ensamblaje completo.

La desincorporación programada significa desincorporar un elemento o componente a (o antes de) un límite de longevidad especificado, indiferentemente de su condición en el momento. Esto se hace en el supuesto de que al reemplazar un viejo componente con uno nuevo se restaurará la resistencia original a fallar.

Si el modo de falla en consideración es conforme a los Patrones A y B, es posible identificar la longevidad a la que comienza el deterioro. La tarea de restauración programada o de desincorporación programada se debe hacer en intervalos menores a esta longevidad. En otras palabras, la frecuencia de la tarea de restauración programada o de desincorporación programada es determinada por la longevidad a la cual el elemento o componente muestra un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla.

En el caso del Patrón C, se requieren técnicas analíticas más complejas. Estas técnicas están más allá del alcance de esta guía. Nótese que dos tipos de límites de vida aplican a las tareas de

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

restauración programada y de desincorporación programada. Estos son límites de vida-segura y de vida-económica.

13.2.1 **LÍMITES DE VIDA-SEGURA**— Los límites de vida-segura sólo 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. (Un método de decisión que fuese tolerable se discutió en la sección 12.1.3 de esta guía. En la práctica, las probabilidades tan bajas como 10^{-6} y algunas veces, incluso 10^{-9} se utilizan frecuentemente en este contexto.) Este requerimiento implica que estos límites de vida-segura no se pueden aplicar a cualquier modo de falla que tenga una probabilidad significativa de ocurrencia cuando el elemento entra en servicio.

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 que vida realmente se logra. Algunas industrias aplican una fracción conservadora de esta vida (típicamente un tercio o un cuarto) como límite de vida-segura, como se ilustra en la Figura 14.

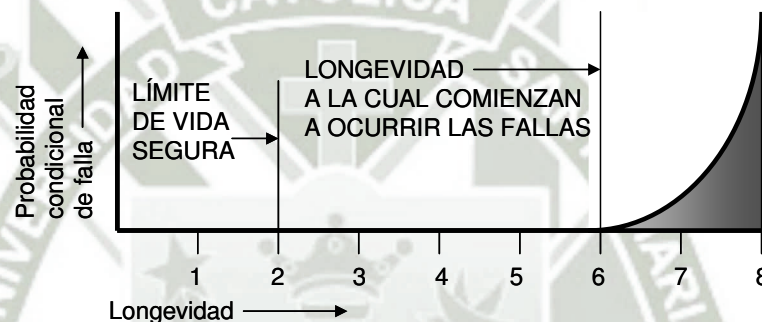


FIGURA 14— LÍMITES DE VIDA-SEGURA

13.2.2 **LÍMITES 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.

13.3 **Tareas de Detección de Fallas**— “Cualquier tarea de detección de fallas seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales (detección de fallas no aplica para modos de falla evidentes):

- a. 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.
- b. La tarea debe confirmar que todos los componentes cubiertos por la descripción del modo de falla sean funcionales.
- c. 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.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

d. Debe ser físicamente probable hacer la tarea en los intervalos especificados.” (SAE JA1011, Sección 5.7.5)

13.3.1 FALLAS MÚLTIPLES Y DETECCIÓN DE FALLAS— Como se mencionó en la sección 10.1.1.2, una falla múltiple ocurre si una función protegida falla mientras la protección está en estado de falla. Este fenómeno fue ilustrado en la Figura 5. La Ecuación 1, repetida abajo como Ecuación 3, muestra como se puede calcular la probabilidad de una falla múltiple.

$$\begin{array}{l} \text{Probabilidad de una} \\ \text{falla múltiple} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Probabilidad de falla de} \\ \text{la función protegida} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Promedio de indisponibilidad} \\ \text{de la protección} \end{array} \quad (\text{Ec. 3})$$

Esto lleva a concluir que la probabilidad de una falla múltiple se puede reducir al disminuir la indisponibilidad de la protección –en otras palabras, por el incremento de su disponibilidad.

La mejor manera de hacer esto es prevenir que la función protectora entre en estado de falla aplicando algún tipo de mantenimiento proactivo. Sin embargo; pocas tareas proactivas satisfacen el criterio de factibilidad técnica cuando se aplican a fallas ocultas. No obstante, aunque el mantenimiento proactivo es frecuentemente impropio, todavía es esencial hacer algo para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel requerido. Esto se puede hacer revisando periódicamente si ha ocurrido la falla. Tales revisiones son conocidas como tareas de detección de fallas.

13.3.2 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA DETECCIÓN DE FALLAS— El objetivo de la detección de fallas es determinar si un modo de falla oculta o la combinación de modos de falla oculta han proporcionado una función protectora incapaz de proveer la protección requerida si es llamada a hacerla. (Esta es la razón por la que las tareas de detección de fallas también se conocen como revisiones funcionales). Los párrafos siguientes consideran algunos de los puntos claves en esta área.

13.3.2.1 *Revise la Función Protectora en su Totalidad*— Una tarea de detección de fallas debe asegurar la detección de todos los modos de falla oculta a los cuales se dirige. Esto es verdad especialmente en dispositivos complejos, tales como los compuestos por sensores, circuitos eléctricos, y actuadores. Idealmente, esto se debe hacer simulando las condiciones que el sensor debe detectar, y revisar si el actuador proporciona la respuesta correcta. El intervalo de detección de fallas se debe establecer acorde a esto.

13.3.2.2 *No Altere*— Desarmar algo siempre crea la posibilidad de ensamblarlo incorrectamente. Si esto pasa a un dispositivo protector en el que ocurren fallas ocultas, el hecho de que los modos de falla sean ocultos implica que nadie sabrá si algo se ha dejado en estado de falla hasta la próxima revisión (o hasta que se necesite). Por esta razón, siempre busque la manera de revisar las funciones de los dispositivos protectores sin desconectarlos o cualquier otra manera de alterarlos.

Se ha dicho que algunos dispositivos simplemente tienden a ser desarmados o removidos del todo para revisar si están trabajando apropiadamente. En esos casos, se debe tener mucho cuidado de realizar la tarea de tal manera que los dispositivos todavía trabajarán cuando retornen al servicio.

13.3.2.3 *Debe ser Físicamente Posible Realizar la Revisión de la Función*— En un número muy pequeño pero aún significativo de casos, es imposible llevar a cabo una tarea de detección de fallas de cualquier tipo. Estos son:

- a. En el caso en el cual es imposible tener acceso al dispositivo protector para revisar su función (esto es casi siempre resultado de un diseño insensato), y
- b. Cuando la función del dispositivo no puede ser revisada sin destruirlo (como en el caso de dispositivos fusibles y los discos de seguridad). En la mayoría de esos casos, están

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

disponibles otras tecnologías (tales como cortacircuitos en lugar de fusibles). Sin embargo; en uno o dos casos las únicas opciones son encontrar otra manera de manejar los riesgos asociados con protección no probada hasta que algo mejor pase a lo largo del proceso concerniente o al abandonarlo.

13.3.2.4 *Minimice el Riesgo Mientras se Realiza la Tarea*— Puede ser posible llevar a cabo una tarea de detección de fallas sin incrementar significativamente el riesgo de una falla múltiple. Si el dispositivo protector ha de estar desactivado para realizar la tarea de detección de fallas, o si tal dispositivo se revisa y se encuentra en estado de falla, entonces se debe proveer una protección alternativa o se debe detener la función protegida hasta que se restablezca la protección original.

13.3.2.5 *La Frecuencia debe ser Práctica*— Debe ser práctico realizar la tarea de detección de fallas a los intervalos requeridos. Esto se discutirá en la sección 13.3.3. Sin embargo; antes de poder decidir si un intervalo requerido es práctico, necesitamos determinar que intervalo es realmente “requerido”.

13.3.3 INTERVALOS DE TAREAS DE DETECCIÓN DE FALLAS

13.3.3.1 *Intervalos de Detección de Fallas, Disponibilidad y Confiabilidad*— Nada más que dos variables –disponibilidad y confiabilidad- se utilizan para establecer los intervalos de detección de fallas. Se puede demostrar que existe una correlación lineal entre la indisponibilidad, el intervalo de detección de fallas y la confiabilidad de la función protectora dada por su TPEF, como sigue en la Ecuación 4:

$$\text{Indisponibilidad} = 0,5 \times \frac{\text{Intervalo de detección de fallas}}{\text{TPEF de la función protectora}} \quad (\text{Ec. 4})$$

También se puede demostrar que esta relación lineal es válida para todas las indisponibilidades menores al 5%, con tal que la función protectora conforme una distribución de supervivencia exponencial.¹

13.3.3.2 *Excluyendo el Tiempo de la Tarea y el Tiempo de la Reparación*— La “indisponibilidad” de la función protectora en la Ecuación 4 no incluye alguna indisponibilidad incurrida mientras se está realizando la tarea de detección de fallas, ni incluye cualquier indisponibilidad causada por la necesidad de restaurar la función si se encuentra en estado de falla. Esto es así por dos razones:

- a. La indisponibilidad requerida para realizar la tarea de detección de fallas y para efectuar cualquier reparación es probable que sea relativamente pequeña con respecto a la indisponibilidad no revelada entre tareas, a una magnitud que normalmente será despreciable sólo en términos matemáticos.
- b. Tanto la tarea de detección de fallas y cualquier reparación que podría ser necesaria se deben realizar bajo condiciones estrictamente controladas. Estas condiciones deben reducir enormemente –si no la elimina por completo- la posibilidad de una falla múltiple mientras la intervención está en marcha. Esto incluye tanto la parada del sistema protegido como el arranque de una función protectora hasta que se restaure por completo el sistema. Si esto se hace apropiadamente, la indisponibilidad resultante de la intervención (controlada) se puede ignorar en cualquier evaluación de la probabilidad de una falla múltiple.

En el proceso de decisión del MCC, el último punto es cubierto por el criterio para evaluar si una tarea de detección de fallas vale la pena hacerla. Si hay un incremento significativo de la probabilidad de una falla múltiple mientras la tarea está en marcha, la respuesta a la pregunta “¿La tarea reduce la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable?” Será “no”.

¹ Veá Cox y Tait o Andrews y Moss

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

13.3.3.3 *Cálculo del IDF Utilizando sólo Disponibilidad y Confiabilidad*— Si utilizamos la abreviatura “IDF” para escribir el Intervalo de Detección de Fallas y “TPRA” para describir el TPEF de una función protectora, la Ecuación 4 puede ser reacomodada como se muestra en la Ecuación 5:

$$IDF = 2 \times \text{Indisponibilidad} \times TPRA \quad (\text{Ec. 5})$$

Esto significa que para determinar el intervalo de detección de fallas para una sola función protectora, es necesario encontrar su tiempo promedio entre fallas y la disponibilidad deseada de la función (de la cual es posible computar la indisponibilidad a ser utilizada en la fórmula). Para quienes se sienten incómodos con formulaciones matemáticas, se puede utilizar la Ecuación 5 para desarrollar una tabla simple, como se muestra en la Figura 15:

Disponibilidad que se requiere para la función protectora	99.99%	99.95%	99.9%	99.5%	99%	98%	95%
Intervalo de detección de fallas (como % del TPEF)	0.02%	0.1%	0.2%	1%	2%	4%	10%

FIGURA 15— INTERVALO DE DETECCIÓN DE FALLAS, DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD

13.3.3.4 *Métodos Rigurosos para el Cálculo del IDF*— Una fórmula sencilla para determinar los intervalos de detección de fallas que incorpora todas las variables consideradas hasta ahora se puede desarrollar por la combinación de las Ecuaciones 1 y 5, como se explica en los párrafos siguientes. Para hacer esto, se necesitan definir más términos como sigue:

- Una probabilidad de una falla múltiple de 1 en 1.000.000 en un año implica un tiempo promedio entre fallas múltiples de 1.000.000 de años. Si esto se llama T_{FM} , la probabilidad de ocurrencia de una falla múltiple en cualquier año es $1/T_{FM}$.
- Si la tasa de demanda de la función protegida es (se dice) una en 200 años, esto corresponde a la probabilidad de falla para la función protegida de 1 en 200 en cualquier año, o un tiempo promedio entre fallas de la función protegida de 200 años. Si esta es llamada T_{GIDA} , la probabilidad de falla de la función protegida en cualquier año será $1/T_{GIDA}$. Esto también se conoce como tasa de demanda.
- T_{TORA} es el tiempo promedio entre fallas de la función protectora e IDF es el intervalo de la tarea de detección de fallas.
- I_{TORA} es la indisponibilidad permitida de la función protectora.

Si se sustituyen las expresiones previas en la Ecuación 5, tenemos:

$$1/T_{FM} = (1/T_{GIDA}) \times I_{TORA} \quad (\text{Ec. 6})$$

Esto se puede reacomodar como sigue en la Ecuación 7:

$$I_{TORA} = \frac{T_{GIDA}}{T_{FM}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Sustituyendo I_{TORA} de la Ecuación 7 en la Ecuación 5, obtenemos la Ecuación 8:

$$IDF = \frac{(2 \times T_{TORA} \times T_{GIDA})}{T_{FM}} \quad (\text{Ec. 8})$$

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Esta fórmula permite determinar en un sólo paso el intervalo de detección de fallas, independientemente de la función protectora.

- 13.3.3.4.1 Modos de Falla Múltiple de una Sola Función Protectora— A lo largo de esta sección, todas las posibilidades de falla que podrían causar la falla de cualquier función protectora se han agrupado como un solo modo de falla (“falla de la bomba de respaldo”). La vasta mayoría de las funciones protectoras se pueden tratar de esta manera, debido a que todos los modos de falla que podrían causar la falla de una función protectora son revisados cuando se examina la función del dispositivo como un todo.

Sin embargo; algunas veces es apropiado realizar un AMEF detallado de la función protectora para identificar modos de falla individuales, cada uno de los cuales por si mismo podrían causar que el dispositivo o sistema protector no esté en disposición de proveer la protección requerida. Esto normalmente se hace bajo sólo dos conjuntos de circunstancias:

- a. Cuando se conoce que algunos de los modos de falla son susceptibles al mantenimiento basado en condición o a las tareas de restauración programada o de desincorporación programada, pero otros no son predecibles ni prevenibles. En esos casos, la tarea apropiada de desincorporación/restauración programada o basada en condición, se debe aplicar a los modos de falla que califiquen, y aplicar la detección de fallas al resto de los modos de falla.
- b. Cuando el dispositivo protector es nuevo y los únicos datos de falla que están disponibles (provenientes de bancos de datos, suplidores del componente o cualquier otra fuente) aplican a partes del dispositivo pero no al dispositivo como un todo.

En esas circunstancias, la Ecuación 8 se debe modificar para adecuar la combinación de modos de falla individuales que son objeto de la tarea de detección de fallas, a través de la determinación de un tiempo promedio entre fallas compuesto de la función protectora basado en los TPEF de cada modo de falla.

- 13.3.3.4.2 Métodos de Cálculo de los Intervalos de Detección de Fallas para Otros Tipos de Funciones Protectoras— Las técnicas para fijar los intervalos de detección de fallas descritas previamente son enfoques basados en riesgo para funciones protectoras solas. El manejo de funciones protectoras múltiples y el manejo de fallas múltiples que sólo tienen consecuencias económicas están fuera del alcance de esta guía.

- 13.3.3.5 *La Viabilidad de los Intervalos de Tareas de Detección de Fallas*— Los métodos descritos hasta ahora para el cálculo de los intervalos de detección de fallas algunas veces producen intervalos muy cortos o muy largos, con las siguientes implicaciones:

- a. Un intervalo de detección de fallas muy corto tiene dos implicaciones principales:
 1. Algunas veces el intervalo es simplemente demasiado corto para ser práctico. Un ejemplo podría ser una tarea de detección de fallas que emplaza a un elemento grande de una planta de proceso a que se pare cada pocos días.
 2. La tarea puede causar acostumbramiento (lo cual puede pasar si una alarma contraincendio se prueba muy frecuentemente).

En estos casos, se debe rechazar la tarea propuesta y se debe encontrar alguna otra manera de reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable.

- b. Un intervalo de detección de fallas muy largo también tiene dos implicaciones principales:

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

1. Para intervalos que son sustancialmente mayores que el resto de la vida útil proyectada del activo: tales intervalos sugieren que no hay ninguna necesidad de realizar una tarea de detección de fallas programada en absoluto (aunque todavía es necesario determinar durante las participaciones que el dispositivo se ha instalado correctamente).
 2. Para intervalos que son mayores que el horizonte máximo de planeación de los sistemas de planeación de mantenimiento existentes, pero son menores que el resto de la vida útil proyectada del activo: En estos casos, se debe tener cuidado de no reducir los intervalos asociados simplemente por ajuste de los límites de los sistemas de planeación existentes, si sólo porque las tareas de detección de fallas puedan algunas veces inducir los modos de falla los cuales están destinadas a detectar.
- c. Nótese que el intervalo de las tareas de detección de fallas puede exceder el intervalo promedio entre fallas de la función protegida. Debido al incremento de la cantidad por la que el intervalo de detección de fallas excede al intervalo de falla, el valor de detección de fallas disminuye rápidamente, hasta el punto en el que hay poco o ningún efecto en la probabilidad de la falla múltiple. Si cualquiera de las fórmulas anteriores produce un intervalo en este punto o más allá de él, se debe encontrar alguna otra manera de reducir la probabilidad de la falla múltiple a un nivel tolerable.

13.4 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 si misma reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable, a veces es posible que la combinación de tareas (normalmente desde dos categorías de tareas diferentes, tales como una tarea basada en condición y una tarea de desincorporación programada), pueda reducir el riesgo del modo de falla a un nivel tolerable.

Cuando se consideran tales combinaciones, se debe tener cuidado de asegurar que cada tarea por si misma satisfará el criterio 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. Sin embargo; debe enfatizarse que las situaciones en las que se necesite la combinación de tareas son muy raras, y se debe cuidar de no emplear tales combinaciones indiscriminadamente.

14. Políticas de Manejo de Fallas— Cambio de Especificaciones y Operar Hasta Fallar

14.1 Cambio de especificaciones— “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.” (SAE JA1011, Sección 5.8.1.1)

“En los casos donde tales tareas no estén disponibles, pueden ser necesarios cambios de especificaciones del activo o sistema, sujetos a los siguientes criterios:

- a. En los casos donde la falla es oculta, y la falla múltiple asociada tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, son mandatorios cambios de especificaciones que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- b. En los casos donde el modo de falla es evidente y tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, son mandatorios cambios de especificaciones que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
- c. En casos 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.
- d. 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.” (SAE JA1011, Sección 5.8.1.2)

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

En secciones anteriores de esta guía se enfatiza que la capacidad inicial (o confiabilidad inherente) de cualquier activo es establecida según su diseño y el modo en que es fabricado, y el mantenimiento no puede producir confiabilidad más allá de la inherente en el diseño. Esto lleva a dos conclusiones:

Primeramente, si la capacidad inicial de un activo es mayor que el desempeño deseado, el mantenimiento debe ayudar a lograr el desempeño deseado. La mayoría de los equipos están adecuadamente especificados, diseñados y ensamblados, de modo que normalmente es posible desarrollar programas de mantenimiento satisfactorios, como se describió previamente. En otras palabras, en la mayoría de los casos, MCC nos ayuda a obtener el desempeño deseado del activo en su configuración actual.

En segundo lugar, si el desempeño deseado excede la capacidad inicial, entonces ninguna cantidad de mantenimiento podrá entregar el desempeño deseado. En estos casos el “mejor” mantenimiento no podrá solventar el problema, de modo que se hace necesario ver más allá del mantenimiento para encontrar las soluciones. En la mayoría de los casos, esto produce cambios en la capacidad de uno de los tres elementos del sistema:

- a. Un cambio de la configuración física del activo (que normalmente se refiere a un “rediseño” o “modificación”). Esto es, cualquier acción que deba producir un cambio de diseño o un cambio en la lista de las partes. Esto incluye el cambio en las especificaciones de un componente, agregar un nuevo elemento, reemplazar una máquina completa por una fabricada de otra manera o de otro tipo, o una re-localización de una máquina. (Nótese que si cualquiera de tales cambios se hacen, el proceso MCC necesitará ser aplicado completamente al nuevo diseño para asegurar que continúe la función para la cual es pretendido).
- b. Un cambio de un proceso o procedimiento que afecta la operación del activo.
- c. Un cambio en la capacidad de una de las personas envueltas en la operación o mantenimiento del equipo (esto normalmente vincula el entrenamiento de la persona involucrada como un método de tratar con un modo de falla específico).

El término “cambio de especificaciones” se utiliza en esta guía para referirse a estas intervenciones porque normalmente se hacen una sola vez en cualquier sistema específico, como oposición a las tareas programadas las cuales se realizan en intervalos regulares. Los siguientes párrafos bosquejan los objetivos concretos de los cambios de especificaciones para cada una de las principales categorías de consecuencias de falla.

14.1.1 CONSECUENCIAS EN LA SEGURIDAD O EL AMBIENTE— Si un modo de falla puede afectar la seguridad o el ambiente y no se puede encontrar una tarea programada o una combinación de tareas que reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerable, se debe cambiar algo, simplemente porque ahora estamos tratando con una amenaza a la seguridad o al ambiente que no puede ser prevenida adecuadamente. En estos casos, normalmente se emprende el rediseño con uno de estos dos objetivos:

- a. Para reducir la probabilidad de ocurrencia de un modo de falla no anticipado a un nivel que sea tolerable. Esto se hace normalmente tanto por el reemplazo del componente afectado por uno más fuerte o más confiable, como por hacer posible anticipar el modo de falla.
- b. Para cambiar el elemento o el proceso de manera que el modo de falla no tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente. Esto se hace en la mayoría de los casos por la instalación de un dispositivo protector adecuado. Recuerde que si se añade tal dispositivo, sus requerimientos de mantenimiento también se deben analizar.

Las consecuencias en la seguridad o en el ambiente también se pueden reducir eliminando las amenazas materiales de un proceso, o incluso por el abandono total de un proceso peligroso. En esencia, si el nivel de riesgo asociado con cualquier modo de falla se considera como intolerable, MCC nos obliga tanto a prevenir la ocurrencia del modo de falla como a verificar que el proceso sea

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

seguro. La alternativa es aceptar las condiciones que se conocen como inseguras o que contaminan el ambiente. Esto ya no es aceptable en la mayoría de las industrias.

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

- a. 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,” o EPI), que atraiga la atención del operador hacia la falla oculta. Se necesita un cuidado especial en esta área, debido a que las fallas de funciones extras instaladas con este propósito, también tienden a ser ocultas. Si se adicionan muchas categorías de protección, se hace excesivamente difícil –si no imposible- definir tareas de detección de fallas sensatas. Un enfoque más efectivo consiste en sustituir una función evidente para la función oculta, como se explica en el siguiente párrafo.
- b. Sustituir una función protectora cuya falla es evidente para la función oculta: En la mayoría de los casos esto significa sustituir un dispositivo o sistema cuya falla es genuinamente evidente por uno cuya falla no es evidente.
- c. Sustituir el dispositivo protector existente por un dispositivo más confiable (pero todavía oculto): Un dispositivo más confiable (en otras palabras, uno que tenga un tiempo promedio entre fallas más alto) facultará a la organización para lograr uno de tres objetivos:
 1. Reducir la probabilidad de una falla múltiple sin cambiar los intervalos de las tareas de detección de fallas. Esto incrementa el nivel de protección.
 2. Incrementar el intervalo entre tareas sin cambiar la probabilidad de una falla múltiple. Esto reduce los requerimientos de los recursos.
 3. Reducir la probabilidad de la falla múltiple e incrementar los intervalos de tarea.
- d. Duplicar la función oculta: Si no es posible encontrar un solo dispositivo protector que tenga un TPEF suficiente alto para entregar el nivel de protección deseado, aún es posible lograr cualquiera de los tres objetivos anteriores por la duplicación (o incluso triplicación) de la función oculta. Sin embargo; tenga presente que la función de todos estos dispositivos podría aún necesitar estar sujeta a un análisis con la finalidad de identificar una política de manejo de fallas adecuada.
- e. Hacer lo posible para ejecutar una tarea (por ejemplo por la mejora del acceso al dispositivo o sistema protector).
- f. Reducir la tasa de demanda de la función protegida: Dependiendo de los modos de falla que lleven a la demanda de protección, al cambio de la configuración física del sistema y/o al cambio en la capacidad del operador o mantenedor de tal manera que el sistema probablemente requiera la protección con menos frecuencia.

14.1.3 CONSECUENCIAS OPERACIONALES Y NO OPERACIONALES— Para algunos modos de falla con consecuencias operacionales y no operacionales, la política de manejo de fallas más costo-efectiva podría ser cambiar el sistema para reducir los costos totales. Para lograr esto, los cambios deben buscar:

- a. Reducir el número de veces que ocurre el modo de falla, o posiblemente eliminarlo del todo, de nuevo, por el robustecimiento de algún elemento del sistema, o por hacerlo más confiable.
- b. Reducir o eliminar las consecuencias del modo de falla (por ejemplo, proveyendo una capacidad auxiliar).
- c. Realizar una tarea programada costo-efectiva (por ejemplo, haciendo un componente más accesible).

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Note que en este caso, las modificaciones deben ser costo-justificadas, considerando que son compulsivas si no hay ninguna otra manera de reducir el riesgo de fallas que tengan consecuencias en la seguridad o el ambiente a un nivel tolerable.

14.2 Operar hasta Fallar— "Cualquier política de operar hasta fallar seleccionada debe satisfacer los criterios apropiados como sigue:

- a. 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.
- b. 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." (SAE JA1011, Sección 5.8.2)

En el caso de algunas fallas que son evidentes y que no afectan la seguridad o el ambiente, o que son ocultas y la falla múltiple no afecta la seguridad o el ambiente, la política de manejo de falla más costo-efectiva podría ser simplemente permitir que las fallas ocurran y entonces tomar los pasos apropiados para repararlas. En otras palabras, "operar hasta fallar" es válido sólo si:

- a. No se puede encontrar una tarea programada conveniente para una falla oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad o el ambiente, y
- b. No se puede encontrar una tarea proactiva costo-efectiva para fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.

15. Selección de la Política de Manejo de Fallas

15.1 Dos Aproximaciones — Las últimas tres preguntas en el proceso MCC, discutidas en las secciones de la 10 a la 14 de esta guía, vinculan la selección de las políticas de manejo de fallas adecuadas para cada modo de falla identificado en el AMEF. Se pueden utilizar dos aproximaciones distintas para seleccionar las políticas de manejo de fallas. La primera es una aproximación rigurosa y la segunda es una aproximación de 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. Los diagramas de decisión son populares ya que son más rápidos y más económicos que la aproximación rigurosa. Sin embargo; cualquier enfoque de diagrama de decisión debe direccionar totalmente las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada modo de falla. También se debe tener presente que el uso de diagramas de decisiones introduce un elemento de sub-optimización al proceso de selección de la política de manejo de fallas, desde el punto de vista del costo.

Note que cuando se aplican estas aproximaciones, la mayoría de las decisiones se deben hacer en ausencia de datos completos. Esto puede llevar a la tentación de confiar excesivamente en la "lógica predefinida", en que las decisiones se hacen automáticamente si los datos comprensivos no se encuentran disponibles rápidamente. Sin embargo; la aplicación de tal lógica puede llevar a decisiones incorrectas, especialmente en la evaluación de las consecuencias. En la práctica, la visión se debe dirigir, si es posible, hacia las repercusiones de tolerar demasiada incertidumbre, entonces las acciones deben girar en torno al cambio de las consecuencias del modo de falla – antes que contar con las decisiones predefinidas.

15.2 Aproximación Rigurosa— La aproximación rigurosa para la selección de la política de manejo de fallas requiere que los usuarios, al evaluar las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente de cada modo de falla, consideren todas las opciones de políticas de manejo de fallas técnicamente factibles que se puedan aplicar a cada modo de falla, y seleccionar una política de manejo de fallas que se ajuste más efectivamente tanto a las consecuencias económicas como a las consecuencias en la seguridad/ambiente. Este enfoque se aplica en las siguientes fases:

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- a. Separar las fallas evidentes de las fallas ocultas.
- b. Para cada falla evidente:
 1. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
 2. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
 3. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
 4. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda violar ese estándar o regulación.
 5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla.
 6. En el caso de modos de falla que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente, y en los que la probabilidad real de incurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podría reducir la probabilidad a un nivel tolerable.
 7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que puedan ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla cuando se comparan en el mismo período de tiempo.
 8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente del modo de falla.
- c. Para cada falla oculta:
 1. Establecer la probabilidad real que la falla múltiple asociada pueda dañar o matar a alguien.
 2. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda dañar o matar a alguien.
 3. Establecer la probabilidad real de que la falla múltiple pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
 4. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda violar ese estándar o regulación.
 5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla y de la falla múltiple asociada.
 6. En el caso de fallas múltiples que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente, y en las que la probabilidad real de incurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podrían reducir la probabilidad de la falla múltiple a un nivel tolerable.
 7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que podrían ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla y de la falla múltiple combinadas cuando se comparan en el mismo período de tiempo.
 8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente del modo de falla y de la falla múltiple.

15.3 Aproximación del Diagrama de Decisión— Todas las aproximaciones hacia el MCC de diagrama de decisión que cumplen con SAE JA1011 están basadas en la suposición de que las consecuencias en la seguridad/ambiente deben estar previamente ajustadas con las consecuencias económicas. Otra suposición fundada en la mayoría de estos diagramas es que algunas categorías de las políticas de manejo de fallas siempre son más costo-efectivas que otras.

Estas dos suposiciones se utilizan para establecer las jerarquías en las cuales los usuarios están alentados a seleccionar una política de manejo de fallas desde la primera categoría en la jerarquía que se considere técnicamente factible y que valga la pena hacer. Las suposiciones claves que se hacen durante el establecimiento de tales jerarquías se discutirán en los párrafos siguientes.

NOTA— A lo largo de esta sección, “falla” se refiere al modo de falla o a una falla múltiple.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

15.3.1 JERARQUÍA DE CONSECUENCIAS— Toda aproximación hacia el MCC de diagrama de decisión válida asume que si una política de manejo de fallas trata satisfactoriamente con una falla que tiene consecuencias en la seguridad o en el ambiente, entonces tratará satisfactoriamente con las consecuencias económicas (operacionales y no operacionales) de esta falla. En la mayoría de los casos, esta suposición es válida, pero no es verdadera en todos los casos.

El resultado de esta suposición es que estos diagramas de decisión para MCC válidos son contruidos de tal manera que si se consideran intolerables las consecuencias en la seguridad o en el ambiente, entonces los usuarios están obligados a encontrar una política de manejo de fallas que reduzca las consecuencias en la seguridad o en el ambiente a un nivel tolerable sin considerar las consecuencias económicas de la falla. Esta aproximación es inherentemente conservadora, con esto se asegura que las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada falla son tratadas con propiedad. Como resultado, esto lleva a un programa de mantenimiento bueno ambientalmente y seguro que contiene un pequeño número de políticas de manejo de fallas que son más costosas de lo que necesitan ser.

15.3.2 JERARQUÍA DE POLÍTICAS— Dos suposiciones claves se incorporan al diseño de la mayoría de los diagramas de decisión para MCC. La primera suposición es que algunas categorías de política de manejo de fallas son inherentemente más costo-efectivas que otras. La segunda suposición es que algunas son inherentemente más conservadoras que otras. Si un diagrama de decisión utiliza una aproximación jerárquica para la selección de la política, las siguientes jerarquías reflejan con más precisión estas suposiciones:

- a. Para modos de falla evidentes que puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, combinación de tareas (usualmente basadas en condición y desincorporación programada), cambio de especificaciones.
- b. Para modos de falla evidentes que no puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, mantenimiento no programado, cambio de especificaciones.
- c. Para modos de falla ocultos en los que la falla múltiple pueda afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programada, detección de fallas, mantenimiento no programado, cambio de especificaciones.
- d. Para modos de falla oculta en los que la falla múltiple no pueda afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, detección de fallas, mantenimiento no programado, cambio de especificaciones.

Las razones para direccionar las políticas de manejo de fallas en esa secuencia se discuten en los siguientes párrafos.

15.3.2.1 *Tareas Basadas en Condición*— Las tareas basadas en condición se consideran en primer lugar en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- a. Se pueden desarrollar casi siempre sin mover el activo desde su posición de instalación y normalmente mientras está en operación, así ellas pocas veces interfieren con las operaciones.
- b. Normalmente son más fáciles de organizar.
- c. Ellas identifican las condiciones de las fallas potenciales específicas para que las acciones correctivas estén claramente definidas antes de que comience el trabajo. Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación a efectuar, y permite que sean realizadas más rápidamente.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- d. Por la identificación del equipo en el punto de falla potencial, permiten comprender casi toda su vida útil.

15.3.2.2 *Tareas de Desincorporación Programada y Restauración Programada*— Si no se puede encontrar una tarea basada en condición conveniente para una falla en particular, la próxima opción es una tareas de desincorporación programada y restauración programada. Las desventajas de la restauración programada y de la desincorporación programada son estas:

- a. En casi todos los casos, sólo se pueden hacer cuando los elementos están parados y (normalmente) se envían al taller, así las tareas casi siempre afectan las operaciones de alguna manera;
- b. La longevidad límite aplica a todos los elementos, así muchos elementos o componentes que puedan haber sobrevivido a longevidades mayores serán removidos; y
- c. Las tareas de restauración involucran talleres de reparación, así ellas generan un trabajo mucho mayor que las tareas basadas en condición.

Como se mencionó en la sección 13.2 de esta guía, la restauración programada y la desincorporación programada normalmente se consideran juntas porque ellas tienen mucho en común. Cuando estas tareas se encuentran en la práctica, comúnmente es obvio que el componente involucrado deba manejarse por una desincorporación programada o una restauración programada. Sin embargo, en el caso de algunos modos de falla, ambas categorías de tareas pueden satisfacer el criterio para la factibilidad técnica. En esos casos, se debe seleccionar la más costo-efectiva de las dos.

15.3.2.3 *Detección de Fallas*— El mantenimiento proactivo exitoso previene las fallas de los elementos, por cuanto la detección de fallas acepta que se invertirá algún tiempo —aunque no demasiado— en un estado de falla. Esto significa que el mantenimiento proactivo es inherentemente más conservador (en otras palabras, más seguro) que la detección de fallas, así esta última sólo se debe especificar si no se encuentra una tarea proactiva más efectiva. Por esta razón, los diagramas de decisión para MCC deben anteponer siempre las tres categorías de tareas proactivas ante la detección de fallas en el proceso de selección de tareas.

15.3.2.4 *Combinación de Tareas*— Hasta este punto, los diagramas de decisión tratan de encontrar una sola tarea que se relacionará apropiadamente con las consecuencias del modo de falla en consideración. Sin embargo; como se mencionó en la sección 13.4, algunas veces ocurre que no se puede encontrar una sola tarea que por si misma reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable. En este punto, podría ser apropiado buscar una combinación de tareas, como se explicó en la sección 13.4. La mayor desventaja de la combinación de tareas es que es inevitablemente más costosa que las tareas solas.

15.3.2.5 *Operar hasta Fallar*— Cuando se evalúa la efectividad de las tareas proactivas concebidas para tratar con los modos de falla que tienen consecuencias económicas, la comparación siempre se hace entre el costo de la tarea y los costos asociados con el modo de falla no anticipado. En estos casos, sólo se seleccionan las tareas que reducen los costos totales de la falla. Si no se puede encontrar tal tarea, permitir que el modo de falla ocurra sería menos costoso que el mantenimiento proactivo, y de ahora en adelante se debe seleccionar el permitir que ocurra el modo de falla (operar hasta fallar) como una política de manejo de fallas apropiada. (Si los costos de permitir que ocurra el modo de falla se consideran aún muy excesivos, entonces la única opción es implementar un cambio de especificaciones como se discutió previamente). Como se explicó en la sección 14.2 de esta guía, operar hasta fallar no es una opción para modos de falla solos o para fallas múltiples que tengan consecuencias en la seguridad o el ambiente.

15.3.2.6 *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

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

sistemas existentes (especialmente modificaciones a equipos) antes de considerar sus requerimientos de mantenimiento. De hecho, todos los diagramas de decisión para MCC consideran el mantenimiento antes de los cambios de especificaciones por cuatro razones, como sigue:

- a. La mayoría de las modificaciones toman de seis meses a tres años desde su concepción hasta su cometido, dependiendo del costo y de la complejidad del nuevo diseño. Por otro lado, la persona de mantenimiento debe mantener el equipo tal como existe hoy, no como lo que debería estar allí o lo que podría estar allí algún tiempo en el futuro. Así que las realidades de hoy deben tratarse con anterioridad a los cambios de diseño de mañana.
- b. La mayoría de las organizaciones encaran muchos más las oportunidades de mejora de diseño deseables que son física y económicamente factibles. Por enfocarse en las consecuencias de la falla, el MCC es de gran ayuda en el desarrollo de un conjunto racional de prioridades para estos proyectos, especialmente porque separa los que son esenciales de aquellos que son meramente deseables. Claramente, tales prioridades sólo se pueden establecer después que se ha completado la revisión.
- c. Los cambios de especificaciones son costosos. Estos incluyen el costo de desarrollar la nueva idea (el diseño de una nueva máquina, la incorporación de un nuevo procedimiento operacional), el costo de llevar la idea a la realidad (la fabricación de una parte nueva, la compra de una nueva máquina, la compilación de un nuevo programa de entrenamiento). Adicionalmente se incurre en costos indirectos si el equipo o las personas tienen que estar fuera de servicio mientras se está implementando el cambio.
- d. Existe un riesgo de que el cambio fallará en la eliminación o incluso en el alivio del problema que está supuesto a resolver. En algunos casos, puede incluso crear más problemas.

Por todas estas razones las aproximaciones de los diagramas de decisión hacia el MCC buscan obtener el desempeño deseado de cualquier sistema en su configuración actual antes de intentar cambiar la configuración del sistema.

15.3.3 APLICANDO LA APROXIMACIÓN DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN HACIA EL MCC— Alrededor del mundo se utilizan muchos diagramas de decisión diferentes. Algunos de estos diagramas están conformados muy cercanamente a los principios discutidos previamente, mientras que otros divergen sustancialmente (en algunos casos, a tal magnitud que no cumplen en absoluto con SAE JA011). Algunos de estos diagramas son propios, mientras que otros son del dominio público. Por estas razones, esta Guía no transmite ningún diagrama de decisión específico. Sin embargo; sólo con propósitos ilustrativos, en las Figuras 16 y 17 se dan dos ejemplos de diagramas de decisión que cumplen con los principios discutidos en 15.3.1 y 15.3.2. (Note los comentarios en 18.6, acerca de la necesidad de entrenamiento antes de utilizar cualquier diagrama de decisión).

Estos diagramas de decisión se aplican típicamente en tres fases, como sigue:

- a. Trabajando desde el principio, utilice el diagrama de decisión para determinar las categorías de consecuencias que aplican al modo de falla en consideración.
- b. Luego trabajando la columna de consecuencias relevantes, utilice el criterio de factibilidad técnica discutido en las Secciones de la 12 a la 14 de esta guía para evaluar la factibilidad técnica de las posibles políticas de manejo de fallas en cada categoría.
- c. Seleccione una política de manejo de fallas desde la primera categoría que satisfaga el criterio de factibilidad técnica y que tratará efectivamente con las consecuencias del modo de falla en consideración.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

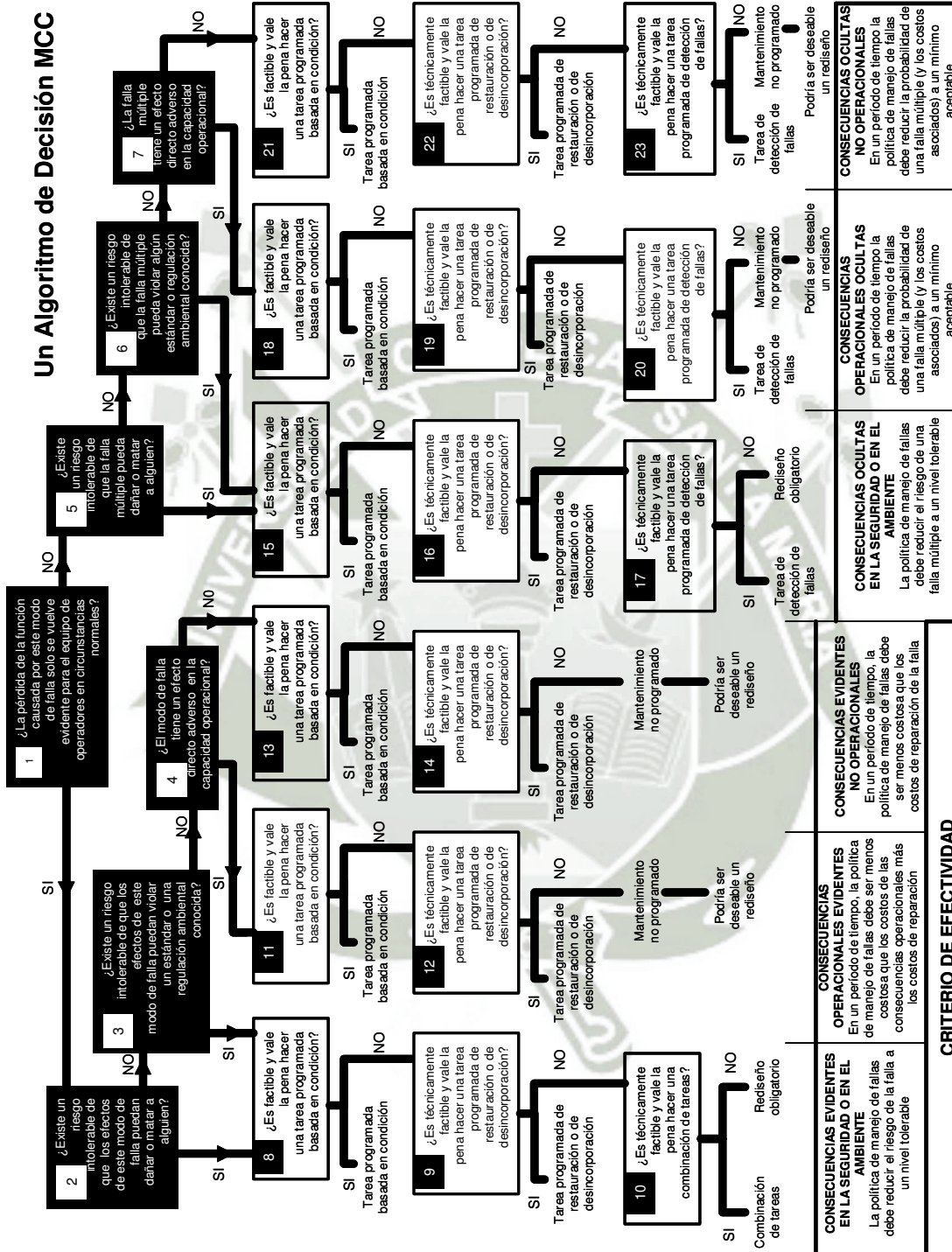


FIGURA 16— PRIMER EJEMPLO DE DIAGRAMA DE DECISION

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

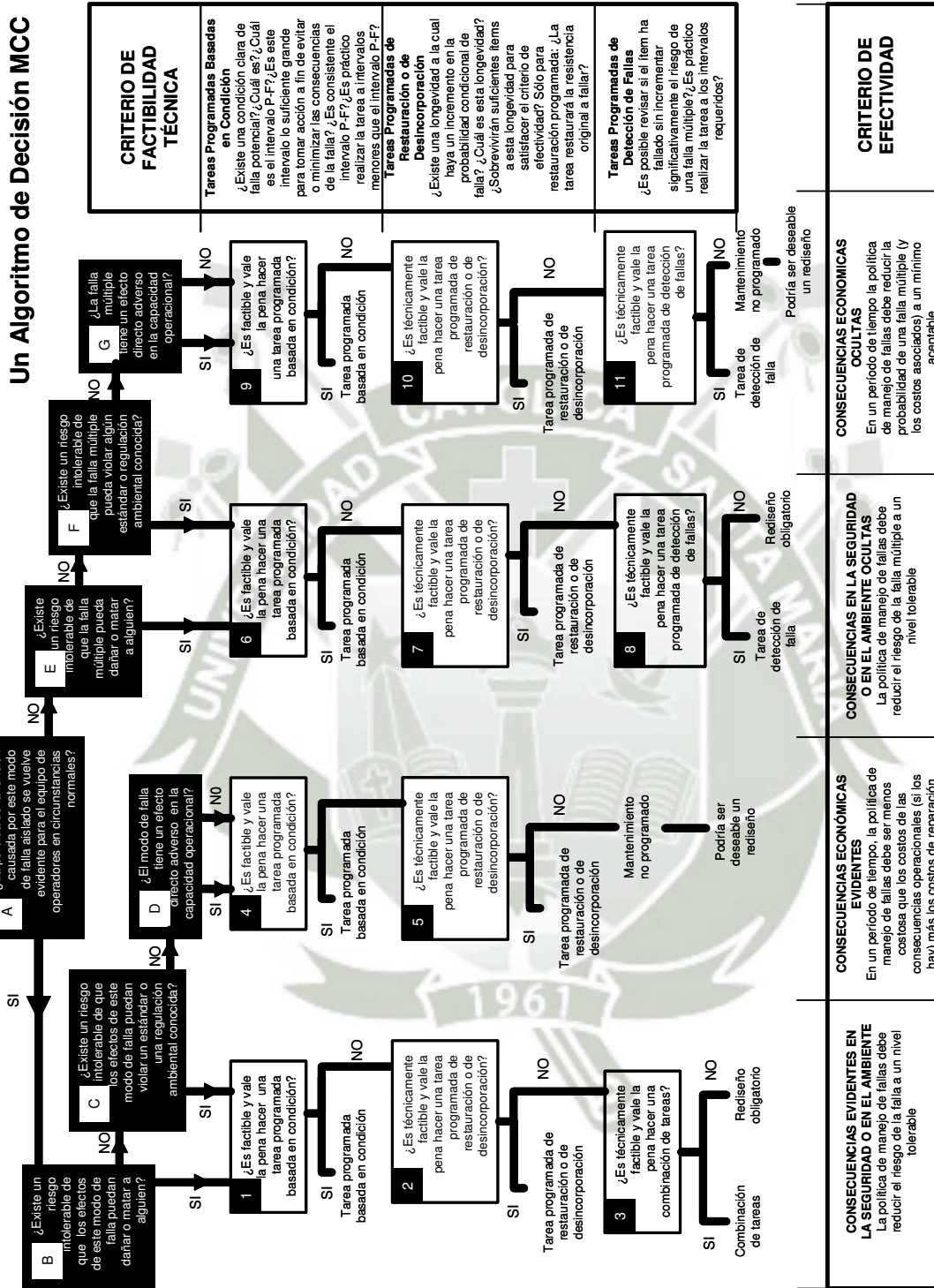


FIGURA 17— SEGUNDO EJEMPLO DE DIAGRAMA DE DECISIÓN

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

16. **Un Programa de Vida** — “Este documento reconoce que (a) Muchos de los datos usados en el análisis inicial son inherentemente imprecisos, y que los datos más precisos estarán disponibles en el tiempo, (b) La manera en la cual el activo es utilizado, junto a las expectativas de desempeño asociadas, también cambiarán con el tiempo, y (c) La tecnología de mantenimiento continúa evolucionando. De modo que, una revisión periódica es necesaria si el programa de manejo de activos del MCC derivado es asegurar que los activos continúen cumpliendo las expectativas funcionales actuales de sus dueños y usuarios.” (SAE JA1011, sección 5.9.1)

“Por consiguiente cualquier proceso MCC debe proveer una revisión periódica de las decisiones y al mismo tiempo, de la información utilizada para soportar dichas decisiones. El proceso suele conducir de tal manera que una revisión debe asegurar que todas las siete preguntas de la sección 5 continúen siendo respondidas satisfactoriamente y en una manera consistente con el criterio que parte desde 5.1 hasta 5.8. [de SAE JA1011].” (SAE JA1011, sección 5.9.2)

Para asegurarse de que las siete preguntas de SAE JA1011 “continúan siendo respondidas satisfactoriamente y de manera consistente con el criterio que parte” de este documento, se deben responder preguntas específicas, incluyendo las siguientes:

- a. Contexto operacional: ¿El contexto operacional del equipo ha cambiado suficiente para reemplazar alguna información registrada o las decisiones realizadas durante el intervalo inicial? (Por ejemplo, un cambio de una operación una guardia/5-días a una operación 24-horas/7-días, o viceversa.)
- b. Expectativas operacionales: ¿Las expectativas operacionales han cambiado lo suficiente de modo que sea necesario revisar los estándares operacionales que fueron definidos durante el análisis inicial?
- c. Modos de falla: Desde el análisis previo, ¿Ha resultado que algunos modos de falla existentes fuesen registrados incorrectamente, o han ocurrido algunos modos de falla no anticipados que deberían ser registrados?
- d. Efectos de falla: ¿Algo debe ser agregado o cambiado en las descripciones de los efectos de falla? (Esto aplica especialmente a la evidencia de falla y los estimados de tiempos fuera de servicio.)
- e. Consecuencias de falla: ¿Ha ocurrido algo que lleve a cualquier persona a creer que las consecuencias de falla se deben evaluar de una manera diferente? (Las posibilidades aquí incluyen cambios en las regulaciones ambientales, y el cambio en la percepción de los niveles tolerables de riesgo.)
- f. Políticas de manejo de fallas: ¿Existe alguna razón para creer que alguna de las políticas de manejo de fallas seleccionada inicialmente ya no es apropiada?
- g. Tareas programadas: ¿Alguien se ha concientizado de un método de desarrollo de una tarea programada que pueda ser superior a una de estas seleccionadas previamente? (en la mayoría de los casos, “superior” significa “más costo-efectiva”, pero también podría significar técnicamente superior.)
- h. Intervalos de tarea: ¿Existe alguna evidencia que sugiera que se deba cambiar la frecuencia de alguna tarea?
- i. Ejecución de tarea: ¿Existe alguna razón que sugiera que una tarea o tareas se deban realizar por algún otro tipo de persona diferente a la seleccionada originalmente?
- j. Modificaciones del activo: ¿El activo se ha modificado de modo que agregue o substraiga algunas funciones o modos de falla, o que cambie la adecuación de alguna política de manejo de fallas? (Se debe prestar atención especial a los sistemas de control y de protección.)

17. **Formulación Matemática y Estadística**— “Cualquier formulación estadística y matemática que se pueda utilizar en la aplicación del proceso (especialmente aquellos usados para computar los intervalos de algunas tareas) debe ser lógicamente robusta, y debe estar disponible y ser aprobada por el dueño o usuario del activo.” (SAE JA1011, sección 5.10.1)

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Los procesos MCC algunas veces utilizan formulaciones matemáticas y estadísticas, especialmente para computar intervalos de tareas. Por ejemplo, esta Guía describe la formulación matemática que puede ser utilizada para computar los intervalos a los cuales se deben desarrollar las tareas de detección de fallas, tal como las fórmulas que se encuentran en las secciones 13.3.3.3 y 13.3.3.4.

Además, algunas veces los datos están disponibles de modo que permiten usar varias formulaciones matemáticas para refinar las frecuencias a las cuales se deben desarrollar los diferentes tipos de tareas proactivas.

Antes que un proceso MCC que conforme a la SAE JA1011 adopte cualquier formulación matemática y estadística como esta, se deben conocer dos criterios claves: la formulación debe ser lógicamente robusta, y debe estar disponible y ser aprobada por el dueño o usuario del activo.

17.1 Lógicamente Robusta— La formulaciones deben ser “lógicamente robustas”. Esto significa que deben ser consistentes con la comprensión del comportamiento y el deterioro del equipo que yace en los fundamentos del MCC. En particular, significa que las formulaciones no deben ser hechas bajo suposiciones inapropiadas acerca de los patrones de falla que aplican a modos de falla individuales que puedan afectar el activo en consideración, o acerca de las relaciones entre variables tales como longevidad, TPEF e intervalos P-F.

17.2 Disponible para el Dueño o Usuario— Para que la formulación matemática esté “disponible y sea aprobada por el dueño o usuario del activo,” se deben encontrar dos condiciones.

Primero, el proveedor de la formulación debe estar disponible para mostrar la fórmula al usuario, demostrando como se derivó y las suposiciones en las cuales está basada, y explicar por qué la fórmula propuesta debe ser utilizada.

Segundo, el usuario o dueño del activo debe comprender lo suficiente acerca de los principios fundamentales del manejo del activo físico de modo que sea capaz de evaluar por sí mismo si la formulación es, de hecho apropiada.

18. Consideraciones Adicionales Importantes— SAE JA1011 describe el criterio técnico mínimo que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado “MCC”, cuando se aplica a un activo específico. Para que el MCC sea exitoso, es esencial direccionar los asuntos de gerencia y recursos que se discuten en esta sección de esta guía bajo los siguientes títulos:

- a. Priorizar los activos y establecer objetivos.
- b. Planificación.
- c. Nivel de análisis y límites del activo.
- d. Documentación técnica.
- e. Organización.
- f. Entrenamiento.
- g. Rol del software computacional.
- h. Recolección de datos.
- i. Implementación.

18.1 Priorizar los Activos y Establecer Objetivos— Diferentes dueños o usuarios seleccionarán la aplicación de MCC a diferentes activos. Uno puede seleccionar aplicar MCC a todos los activos. Otro podría seleccionar aplicar ahora MCC a algunos activos o partes de activos, esperando aplicar MCC al resto eventualmente. Estas decisiones dependerán en gran medida de las metas del análisis MCC, así como también de la importancia de estas metas en relación a otras iniciativas que estén siendo aspiradas por el dueño o usuario del activo.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Los dueños o usuarios deben fijar prioridades entre los activos conscientemente, usando los criterios que sean apropiados para sus organizaciones. Al fijar estas prioridades, note que la aplicación del MCC toma tiempo y cuesta dinero.

Como resultado, antes de emplear recursos en una escala significativa, cualquier organización debe establecer los beneficios que espera en retorno de los recursos invertidos. En la práctica, el MCC realiza la efectividad total de las organizaciones que lo utilizan, en una amplia variedad de áreas, incluyendo:

- a. Seguridad.
- b. Integridad ambiental.
- c. Desempeño operacional.
- d. Costo-efectividad.
- e. Calidad del producto y servicio al consumidor.
- f. Eficiencia del mantenimiento.
- g. Motivación individual.
- h. Trabajo en equipo.
- i. Producción del personal.
- j. Auditorías.

No sólo se deben direccionar estos puntos cuando se analiza la priorización, también se deben considerar en detalle con respecto a cada análisis. Específicamente, antes de embarcarse en un análisis MCC de algún activo o sistema específico es esencial establecer la magnitud con la cual se espera que cada análisis mejore el desempeño en alguna o en todas las áreas mencionadas anteriormente, y para rastrear cuán bien los mejora con respecto al costo total del análisis.

18.2 Planificación— Antes de analizar cada activo, se debe idear un plan comprensivo que direcciona los siguientes puntos:

- a. Decida exactamente cuales equipos serán cubiertos por el análisis, como se discutirá en 18.3
- b. Establezca los objetivos del análisis (cuantificando en donde sea posible), y acuerde cuando y como se medirán sus logros.
- c. Estime cuánto tiempo se requerirá para realizar el análisis (horas hombre y tiempo transcurrido).
- d. Decida el conjunto de habilidades que estarán involucradas en el proceso de análisis, y entonces identifique los participantes específicos por nombre.
- e. Prescriba el entrenamiento apropiado en MCC para aquellos que no lo hayan recibido, como se discute más adelante.
- f. Establezca las facilidades físicas apropiadas para que se realice el proceso.
- g. Decida cuando y por quienes será revisado y aprobado el análisis. Esto trae consigo la seguridad de que el proceso MCC se ha aplicado correctamente, y que la información y las decisiones son aceptables para el dueño/usuario del activo.
- h. Decida cuando, donde y por quienes serán implementadas las recomendaciones.
- i. Instituya que el análisis se mantenga al día, como se discutió en la Sección 16 de esta guía.

18.3 Nivel de Análisis y Límites del Activo— Antes de analizar cualquier activo, es necesario establecer el nivel al cual será desarrollado el análisis (a veces llamado el nivel estipulado), y definir los límites del sistema.

Si se ha descrito una jerarquía de activos extensa y se ha tomado la decisión de analizar un activo particular a un nivel determinado, entonces el "sistema" normalmente de manera automática abarca todos los activos por debajo de este sistema en la jerarquía de activos. (Si no existe una jerarquía de activos, seleccionar una es útil pero no esencial.) Las únicas excepciones son subsistemas que se

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

hayan juzgado tan insignificantes que no serán analizados en absoluto, o subsistemas muy complejos que se coloquen a un lado para un análisis separado.

El nivel de análisis es el nivel estipulado de los equipos físicos a los que se les hará el análisis. Aunque no existe el mejor nivel para desarrollar un análisis MCC, normalmente existe un nivel óptimo (este nivel puede variar de sistema a sistema dentro de la jerarquía del activo). El nivel óptimo del análisis dependerá de varios factores. Estos factores incluyen, pero no se limitan a, si se realizará un análisis más completo o más limitado, si existe algún análisis previo y el nivel al cual fue desarrollado, y la complejidad del elemento al que se dirige.

Se debe ser cuidadoso al seleccionar el nivel del análisis que permitirá identificar las funciones de un modo razonablemente fácil de comprender, permitirá la identificación de un número manejable de modos de falla por función, y permitirá evaluar las consecuencias de falla sin dificultad. Un análisis a un nivel demasiado bajo incurrirá en trabajo extra de análisis y/o de tareas de producción, y también hará difícil la identificación de las funciones y los estándares de operación asociados, y hará mucho más difícil evaluar las consecuencias rápidamente. Un análisis a un nivel muy alto requiere la identificación de demasiados modos de falla por función, lo cual incrementa la probabilidad de que muchos modos de falla se pasarán por alto completamente. La opción lógica, entonces, es seleccionar un nivel intermedio al cual sea posible identificar un número manejable de modos de falla y evaluar sus consecuencias sensiblemente.

Cuando se aplica MCC a algún activo o sistema, por supuesto es importante definir claramente donde el "sistema" se comenzará a analizar y donde se terminará de analizar. Se debe tener cuidado para asegurar que los activos o componentes que se encuentran en los límites del análisis no "caigan entre las grietas". Esto aplica especialmente a elementos como válvulas y bridas.

18.4 Documentación Técnica— Antes de analizar algún sistema o subsistema en particular, es extremadamente útil obtener cualquier documentación que pueda estar disponible y que describa la configuración física del activo, sus componentes mayores y cómo trabaja.

Dependiendo de la complejidad del sistema y de cuan bien es entendido por quienes desarrollan el análisis, estos documentos podrían incluir algunos o todos los siguientes:

- a. Planos de arreglo generales.
- b. Diagramas de tuberías y de cableado, los cuales incluyen diagramas de proceso y de instrumentación.
- c. Manuales de operación y mantenimiento.
- d. Documentos de soporte de diseño.
- e. Lista de partes.

Cuando no está disponible esta documentación, normalmente se puede obtener de los diseñadores del sistema y/o vendedores/fabricantes. La existencia de esta documentación normalmente debe ser suficiente para completar un análisis MCC. Si no existe una documentación específica (especialmente planos), sólo se deben crear si hacen que el análisis sea significativamente más exacto, y/o más fácil de completar.

18.5 Organización— Cualquier entidad que decida aplicar MCC a algún activo debe partir de una organización que incorpore los siguientes elementos:

- a. Una persona o grupo de personas quienes se responsabilizarán de que el proceso MCC será utilizado cumpliendo con la norma SAE JA1011, y de que se establezcan planes claros acerca de qué será analizado (vea la sección 18.1), cuando será analizado y por quienes.
- b. Una persona o grupo de personas quienes serán responsables de asegurar que los activos seleccionados sean analizados como se planificó.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

- c. Una persona o grupo de personas que lideren la aplicación del proceso.
- d. Una persona que estará disponible para proveer la información y asistir en la toma de decisiones (representantes del dueño/usuario del activo, operadores, mantenedores, representantes de los diseñadores o vendedores (si es necesario), etc.).
- e. Las facilidades físicas requeridas para llevar a cabo el análisis (oficinas, salones de reuniones, equipos de computación y software, etc.)

18.6 Entrenamiento— El proceso MCC incluye muchos conceptos que son nuevos para la mayoría de las personas, así, cualquier persona que desee aplicar MCC necesita aprender que significan estos conceptos, y como se acoplan juntos, antes de que puedan utilizar el proceso de manera segura.

Como resultado, se deben definir claramente los requerimientos de entrenamiento. Esto es esencial para asegurar que el proceso MCC se aplique correctamente, y que los resultados se puedan ver confiadamente. La cantidad de entrenamiento que requieren los miembros del equipo MCC variará de acuerdo a sus roles.

Para las personas que manejarán la aplicación del proceso, quienes participan como proveedores de la información, o quienes estarán involucrados en la implementación de los resultados de cada análisis, normalmente bastará con un curso formal de no menos de tres días de duración.

Para las personas que liderarán la aplicación del proceso (“analistas” o “facilitadores”), se requiere un entrenamiento más extenso. Este entrenamiento debe tomar la forma de mentor en sitio, quizás complementado por un entrenamiento formal extenso, hasta que el aprendiz sea competente en todas las habilidades requeridas.

18.7 Rol del Software Computacional— Durante un análisis MCC el hecho de almacenar la información recolectada y las decisiones tomadas en una base de datos computarizada le brinda mayor rapidez. De hecho, si se analizarán un gran número de activos, utilizar una computadora con este propósito es casi esencial. Un computador también se puede usar para asistir en lo siguiente:

- a. Clasificar las tareas propuestas por intervalo y habilidades fijadas.
- b. Revisar y refinar los análisis en la medida que se aprende y que cambia el contexto operacional.
- c. Asistir con el desarrollo de cálculos estadísticos y matemáticos más complejos.
- d. Generar una variedad de otro tipo de reportes (modos de falla por categoría de consecuencia, tareas por categoría de tareas, y así sucesivamente.)

El uso inapropiado de un computador para manejar el proceso podría tener una fuerte influencia negativa en la percepción del MCC. El énfasis exagerado en un computador significa que el MCC comience a ser visto como un ejercicio mecánico en la construcción de una base de datos, antes que como una exploración de las necesidades reales del activo en revisión.

18.8 Recolección de los Datos— Cuando se aplica MCC a algún activo en particular, existen cinco tipos de datos históricos que juegan un papel importante:

- a. Datos históricos de las fallas, como se discutió en la sección 8.4.
- b. Datos históricos del desempeño del activo, y los costos de operación y mantenimiento asociados.
- c. Datos históricos del desarrollo del mantenimiento programado.
- d. Tareas de mantenimiento programadas existentes, como se discutió en la sección 8.4.
- e. Datos de otras cosas tales como consecuencias de falla, las maneras en las cuales el activo se degrada con el tiempo, y así sucesivamente.

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

En la mayoría de los casos los datos son generados, capturados, y registrados por los dueños/usuarios del activo, aunque en algunos casos los datos suplementarios pueden ser proporcionados por vendedores/fabricantes o usuarios de equipos similares. Para mantener estos datos actualizados, los sistemas se deben disponer para registrar todos estos tipos de datos, especialmente todos los modos de falla que realmente ocurren en la práctica. (Nótese que tales sistemas de registro deben hacer énfasis tanto en las causas de las fallas funcionales, y en las consecuencias asociadas (tales como el tiempo fuera de servicio del equipo), como en las acciones tomadas para repararlas.

En algunos casos, especialmente con sistemas complejos y arriesgados que involucran cantidades sustanciales de nueva tecnología, simplemente no existen los datos adecuados acerca de qué modos podrían ocurrir y con qué frecuencia. En situaciones en las cuales las consecuencias de tal incertidumbre no se puede tolerar, se debe considerar seriamente el cambio de las consecuencias (en otras palabras, reconfigurando el sistema, o la manera en la cual es operado, de tal modo que las consecuencias de tal incertidumbre se puedan reducir a un nivel tolerable).

18.9 Implementación— Una vez que se ha completado un análisis MCC (y subsecuentes actualizaciones), se deben implementar los resultados. La implementación exitosa requiere la atención cuidadosa de cinco pasos claves:

- a. Auditoría MCC: Toda recomendación debe ser aprobada formalmente (auditada) por los gerentes con responsabilidad sobre los activos. Esta auditoría se debe llevar a cabo en el contexto del MCC.
- b. Descripciones de trabajos programados: las tareas derivadas del MCC finalmente se deben describir con suficiente detalle para asegurar que la tarea se hará correctamente por cualquier persona que la ejecute.
- c. Cambio de especificaciones: todos los cambios de especificaciones recomendados se deben describir con suficiente detalle para asegurar que serán implementados correctamente.
- d. Planificación y ejecución de las tareas programadas: Las tareas deben ser acopladas en bloques de trabajo ejecutables. Entonces se deben tomar los pasos para asegurar que estos bloques de trabajo sean desarrollados por las personas correctas en el momento justo y de la manera adecuada, y para asegurar que cualquier trabajo levantado desde las tareas se trate apropiadamente. Esto requerirá un sistema de programación y de planificación apropiado.

19. Notas

19.1 Palabras Claves— mantenimiento basado en condición, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento proactivo, MCC, mantenimiento centrado en confiabilidad, mantenimiento programado.

PREPARADO POR EL SUBCOMITÉ MCC SAE G-11 DEL
COMITÉ DE SOPORTABILIDAD SAE G-11

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Razón— No aplicable.

Relación de la Norma SAE a la Norma ISO— No aplicable.

Aplicación— SAE JA1012 (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard”) amplifica y clarifica cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Programs”), y resume puntos adicionales que se deben dirigir para aplicar MCC exitosamente.

Sección de Referencias

SAE JA1011—Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes

Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, “Reliability-Centered Maintenance,” Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-A066579.

NAVAIR 00-25-403— “Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process” (U.S. Naval Air Systems Command)

MIL-P-24534— “Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation” (U.S. Naval Sea Systems Command)

Moubray, John, “Reliability-Centered Maintenance,” 1997

NES 45— Naval Engineering Standard 45, “Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels” (Restricted-Commercial)

Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, “Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods,” Elsevier Applied Science, London and New York, 1990

Andrews, J.D. and Moss, T.R., “Reliability and Risk Assessment,” Longman, Harlow, Essex (UK), 1993

Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., “Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management,” John Wiley and Sons, New York, 1995

Cox, S.J. and Tait, N.R.S., “Reliability, Safety and Risk Management,” Butterworth Heinemann, Oxford, 1991

“Dependability Management— Part 3-11: Application Guide— Reliability Centred Maintenance,” International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.

Jones, Richard B., “Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach,” Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995

MSG-3, “Maintenance Program Development Document,” Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993

“Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis,” Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984

“Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment, United States Air Force,” MIL-STD-1843 (NOTE: Cancelled without Replacement, August 1995)

SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

“Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment,” U.S. Naval Air Systems Command, MIL-HDBK 2173(AS). (NOTE: canceled without replacement, August 2001.)

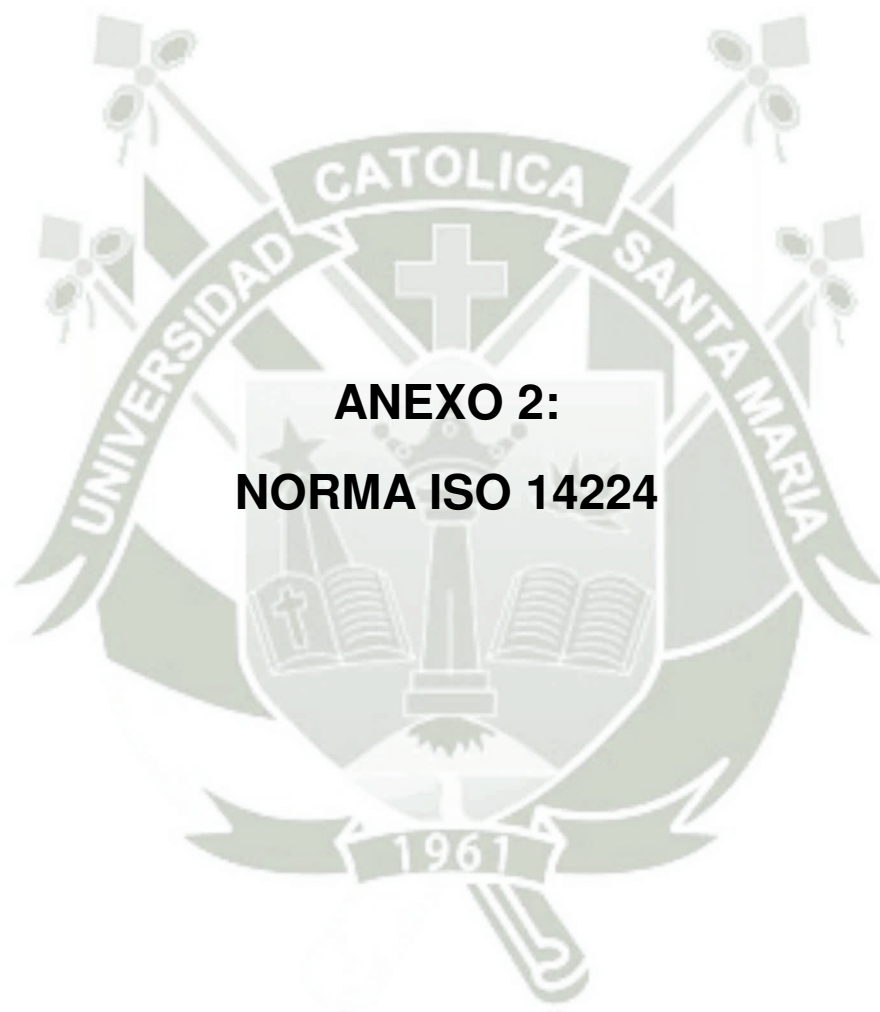
Smith, Anthony M., “Reliability Centered Maintenance,” McGraw-Hill, New York, 1993

Zwingelstein, G., “Reliability Centered Maintenance, A Practical Guide for Implementation,” Hermés, Paris, 1996

Desarrollado por el Subcomité MCC SAE G11

Patrocinado por el Comité de Soportabilidad SAE G11





**ANEXO 2:
NORMA ISO 14224**

NORMA INTERNACIONAL

**ISO
14224**

Primera edición 15-07-1999

Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos



**ISO
14224**

Primera edición 15-07-1999 (E)

Contenido

1. Alcance
 2. Referencia normativa
 3. Términos, definiciones y abreviaturas
 - 3.1. Términos y definiciones
 - 3.2. Abreviaturas
 4. Calidad de los datos
 - 4.1. Definición de calidad de los datos
 - 4.2. Guía para la obtención de datos de calidad
 - 4.3. Sistemas de fuentes de datos
 5. Límites y jerarquías de los equipos
 - 5.1. Descripción de límites
 - 5.2. Guía para la definición de una jerarquía de equipos
 6. Estructura de la información
 - 6.1. Categorías de datos
 - 6.2. Formato de los datos
 - 6.3. Estructura de la base de datos
 7. Información de equipos, averías y mantenimiento
 - 7.1. Datos de equipos
 - 7.2. Datos de averías
 - 7.3. Datos de mantenimiento
- Anexo A (informativo) Atributos de las clases de equipos
- A.1. Notas informativas
 - A.2. Equipo de procesamiento
 - A.3. Equipo submarino
 - A.4. Equipo para completación de pozos
 - A.5. Equipo de perforación
- Anexo B (Informativo) Notas sobre averías y mantenimiento
- Anexo C (Informativo) Lista de verificación del control de calidad
- C.1. Control de calidad antes y durante la recolección de datos
 - C.2. Verificación de los datos recolectados
- Anexo D (Informativo) Requerimientos típicos para los datos
- Bibliografía

Prólogo

La ISO (Organización Internacional de Normalización) es la federación mundial de los principales organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). Se suele llevar a cabo el trabajo de preparación de Normas Internacionales a través de las comisiones técnicas de la ISO. Cada organismo miembro que se interesa en un tema para el que se ha establecido una comisión técnica tiene derecho a ser representado en dicha comisión. Las organizaciones internacionales, tanto gubernamentales como no gubernamentales, también participan en el trabajo en coordinación con la ISO. La ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) en todo lo que se refiere a la normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo a las disposiciones establecidas en la Parte 3 de las directivas de ISO/CEI.

Los Proyectos de Normas Internacionales adoptados por las comisiones técnicas se hacen llegar a los organismos miembros y se someten a votación. La publicación como Norma Internacional precisa la aprobación de un mínimo del 75% de los organismos miembros votantes.

La Norma Internacional ISO 14224 ha sido elaborada por la ISO/TC 67, *Materiales, equipo y estructuras "offshore" para la industria de petróleo y gas natural*.

Los Anexos A, B, C y D de esta Norma Internacional han sido adjuntados para fines informativos solamente.



Industria de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos

1. Alcance

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento (RM por sus siglas en inglés) en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos, respectivamente.

Esta norma internacional presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos de RM que faciliten la recolección de datos sobre RM. La información permitirá al usuario cuantificar la confiabilidad del equipo y compararla con la confiabilidad de equipos de características similares.

Al analizar los datos, los parámetros sobre confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño, operación y mantenimiento. Sin embargo, esta norma internacional no se aplica al método de análisis de los datos de RM.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

a) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y las plantas.
- Costo del ciclo de vida.
- Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos sobre RM entre plantas, propietarios, fabricantes y contratistas.
- Asegurar que los datos de RM son de calidad suficiente, según requiere el análisis que se pretende realizar.

Esta norma internacional se aplica a todos los tipos de equipos utilizados en la industria de petróleo y gas natural, tales como equipo de procesamiento (utilizado en instalaciones *onshore* y *offshore*), equipo submarino, equipo de completación de pozos y equipo de perforación. Se incluyen varios ejemplos en el Anexo A.

Esta norma internacional se aplica a los datos recolectados en la fase operativa.

Debido a la variedad de usos de los datos RM, se hace hincapié en el hecho que, para cada programa de recolección de datos, se deberá prestar suficiente atención al nivel adecuado de datos requerido.

NOTA: Se recomienda contar con una referencia normativa que detalle todos los códigos taxonómicos para cada una de estas clases de equipo, a fin de enfatizar la meta principal de esta norma internacional. No obstante, debido a que no existe al momento de la publicación de esta norma internacional una lista exhaustiva de la taxonomía que cubra todas estas clases de equipos, se incluye un modelo de taxonomías para los equipos de procesamiento, equipo submarino, de completación de pozos y perforación en el Anexo A que se adjunta como documento informativo al presente documento.

2. Referencia normativa

El siguiente documento normativo contiene las disposiciones que, a través de la referencia en este texto, constituyen disposiciones aplicables a esta norma internacional. Esta publicación no se aplica a referencias con fechas específicas, ni a sus modificaciones ni revisiones. Sin embargo, se recomienda a las partes sujetas a acuerdos en base a esta norma internacional, investigar la posibilidad de aplicar la edición más actualizada del documento normativo indicado más abajo. La última edición del documento normativo en cuestión prevalece en casos de referencias sin fechar. Los miembros de ISO y CEI conservan registros de normas internacionales actualmente válidas.

CEI 60050-191:1990, Vocabulario Electrotécnico Internacional. Capítulo 191: Confiabilidad y calidad de servicio.

3. Términos, definiciones y abreviaturas

3.1. Términos y definiciones

Para fines de esta norma internacional, se aplicarán los siguientes términos y definiciones:

3.1.1. Disponibilidad: capacidad que tiene un aparato de desempeñar una función requerida bajo determinadas condiciones, en un momento determinado o durante un intervalo de tiempo específico, asumiendo que existan los recursos externos requeridos.

[CEI 60050-191:1990]

3.1.2. Tiempo activo de mantenimiento: aquella parte del tiempo de mantenimiento durante la cual se realiza una acción de mantenimiento a un aparato específico, ya sea de manera automática o manual, sin considerar retrasos logísticos.

[CEI 60050-191:1990]

Nota: para obtener información más específica, remítase a la Figura 191-10, "Diagrama de tiempo de mantenimiento", en CEI 60050-191.

3.1.3. Mantenimiento correctivo: mantenimiento que se lleva a cabo después de haber reconocido la existencia de una avería, a fin de devolver a la pieza de equipo aquel estado que le permita realizar una función requerida.

[CEI 60050-191:1990]

3.1.4. Falla crítica: falla de una unidad de equipo que origina un cese inmediato de la capacidad de realizar su función.

Nota: en el caso de equipo para completación de pozos, remítase a la información adicional en A.4.5.

3.1.5. Recolector de datos: persona u organización a cargo del proceso de recolección de datos.

3.1.6. Demanda: activación de la función (incluye tanto la activación operativa como de prueba).

3.1.7 Estado de inactividad: estado de un aparato que se caracteriza por presentar una falla o una posible incapacidad para cumplir una función específica durante el mantenimiento preventivo.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.8 Tiempo de inactividad o tiempo muerto: intervalo de tiempo durante el cual un aparato se encuentra en estado de interrupción.

(CEI 60050-191:1990)

NOTA: Para mayor información específica, remítase a la figura 191-10 "Diagrama de tiempo de mantenimiento" en CEI 60050-191.

3.1.9 Clase de equipo: clase de unidades de equipo.

Copyright por International Organization For Standardization
Wed Jun 07 07:19:30 2000

EJEMPLO: todas las bombas.

NOTA: con respecto a la completación de pozos, véase la información adicional en A.4.5.

3.1.10 Unidad de equipo: unidad específica de equipo dentro de una clase de equipo, tal como se define dentro del límite principal.

EJEMPLO: una bomba

3.1.11 Redundancia de la unidad de equipo: (a nivel de unidad de equipo) disponibilidad de más de un medio para realizar la función requerida.

EJEMPLO: 3 X 50 %

3.1.12 Avería: incapacidad de un aparato para cumplir la función requerida.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.13 Causa de avería: circunstancias que hayan generado una avería durante el diseño, fabricación o uso.

(CEI 60050-191:1990)

NOTA: para identificar la causa de la avería, normalmente se requiere realizar una investigación profunda que revele los factores organizacionales y humanos, así como las causas técnicas que pudieron originar la avería.

3.1.14 Descriptor de averías: aparente causa de una avería.

NOTA: tal como se indica normalmente en el sistema de control de mantenimiento.

3.1.15 Mecanismo de avería: proceso físico, químico o de otro tipo que ha generado una avería.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.16 Modo de avería: modo de avería observado.

3.1.17 Falla: estado de un aparato que se caracteriza por su incapacidad para cumplir una función requerida, excepto cuando esto ocurra durante el mantenimiento preventivo u otras acciones previstas, o debido a la falta de recursos externos.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.18 Aparato: cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse individualmente.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.19 Parte mantenible: aparato que constituye una parte o ensamblaje de partes, que generalmente se encuentra en el nivel más inferior de la jerarquía durante el mantenimiento.

3.1.20 Mantenimiento: combinación de acciones técnicas y administrativas, incluyendo supervisión, cuyo fin es mantener o reparar el aparato para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.21 Horas-hombre de mantenimiento: duración acumulada de los tiempos de mantenimiento individual expresado en horas empleadas por el personal de mantenimiento para un tipo específico de acción de mantenimiento o durante un intervalo de tiempo determinado.

(CEI 60050-191:1990)

NOTA: para mayor información específica, remítase a la Figura 191-10 “Diagrama de tiempo de mantenimiento” en CEI 60050-191.

3.1.22 Avería no crítica: avería de una unidad de equipo que no causa la interrupción inmediata de la capacidad para cumplir la función requerida.

NOTA: en el caso de la completación de pozos, ver la información adicional en el punto A.4.5.

3.1.23 Estado operativo: estado en el que un aparato cumple una función requerida.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.24 Tiempo operativo: intervalo de tiempo durante el cual un aparato está en estado operativo.

(CEI 60050-191:1990)

NOTA: en el caso de la completación de pozos, ver la información adicional en el punto A.4.5.

3.1.25 Mantenimiento preventivo: mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o según criterios prescritos, y cuyo fin es reducir la probabilidad de avería o el deterioro del funcionamiento de un aparato.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.26 Redundancia: (en un aparato) disponibilidad de dos o más medios para realizar una función requerida.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.27 Desempeño confiable: capacidad de un objeto para realizar una función requerida bajo determinadas condiciones durante un intervalo de tiempo determinado.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.28 Función requerida: función o combinación de funciones de un aparato que se consideran necesarias para brindar un determinado servicio.

(CEI 60050-191:1990)

3.1.29 Clase de severidad: efecto en el funcionamiento de la unidad de equipo.

3.1.30 Subunidad: ensamblaje de aparatos que cumple una función específica y que es necesaria para que la unidad de equipo logre el desempeño esperado dentro del límite principal.

3.1.31 Período de monitoreo: intervalo de tiempo entre la fecha de inicio y la fecha de recopilación de los datos.

3.2 Abreviaturas

BEN	Punto de referencia o “benchmarking”
LCC	Costo del ciclo de vida
MI	Parte mantenible
OREDA	Proyecto para la recopilación de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipo industrial de gas y petróleo.
PM	Mantenimiento preventivo
QRA	Evaluación del riesgo cuantitativo
RAM	Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenimiento
RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
RM	Confiabilidad y mantenimiento
WELLMASTER	Recopilación de datos de confiabilidad para equipo de completación de pozos

4. Calidad de los datos

4.1 Definición de calidad de los datos

Copyright por International Organization For Standardization
Wed Jun 07 07:19:30 2000

La confiabilidad de los datos RM recopilados y, por ende, de todos los análisis realizados, depende mucho de la calidad de los datos recopilados. Los datos de alta calidad se caracterizan por:

- La exhaustividad de los datos en relación a la especificación.
- El acatamiento de las definiciones de los parámetros de confiabilidad, tipos y formatos de datos.
- Ingreso, transferencia, manejo y almacenamiento exacto de datos (manualmente o a través de medios electrónicos).

4.2 Guía para la obtención de datos de calidad

Para obtener datos de alta calidad, es necesario hacer hincapié en las siguientes medidas antes de que el proceso de recopilación de datos comience:

- Investigar las fuentes de datos para asegurarse de que se puedan hallar los datos de inventario necesarios y de que los datos operativos estén completos.
- Definir el objetivo de la recopilación de datos a fin de reunir los datos pertinentes para el uso especificado. Dichos datos pueden utilizarse en los siguientes ejemplos de análisis: análisis de riesgo cuantitativo (QRA); confiabilidad, análisis de disponibilidad y mantenimiento (RAM); mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM); costo del ciclo de vida (LCC).
- Investigar la(s) fuente(s) de los datos a fin de asegurar la disponibilidad de datos de buena calidad.
- Identificar la fecha de instalación, población y período(s) operativo(s) del equipo del que se extraerán los datos.
- Se recomienda realizar un ejercicio piloto de los métodos y herramientas de recopilación de datos (manuales, electrónicos) a fin de verificar la factibilidad de los procedimientos planeados de recopilación de datos.
- Preparar un plan para el proceso de recopilación de datos; por ejemplo, programas, hitos, secuencia y número de unidades de equipo, períodos de tiempo que se cubrirán, etc.
- Capacitar, motivar y organizar al personal encargado de la recopilación de datos.
- Tomar las medidas necesarias para asegurar la calidad del proceso de recopilación de datos. Esto debe incluir, como mínimo, procedimientos para el control de calidad de los datos y registro y corrección de las desviaciones. En el anexo C, se incluye un modelo de lista de verificación.

Durante y después del ejercicio de recopilación de datos, se deberán analizar los datos a fin de verificar la consistencia, distribuciones razonables, códigos apropiados e interpretaciones correctas. El proceso de control de calidad debe documentarse. Al fusionar las bases de datos individuales, es esencial que cada registro de dato tenga una identificación única.

4.3 Sistemas de fuente de datos

El sistema de control de mantenimiento de las instalaciones constituye la principal fuente de datos RM. La calidad de los datos que pueden recuperarse de esta fuente depende, en primera instancia, de la manera en que se reportan los datos de RM. La generación de datos de RM, de acuerdo a esta Norma Internacional, debe considerarse en el sistema de control de mantenimiento de las instalaciones, brindando así una base más consistente y sólida para la transferencia de datos de RM a las bases de datos de RM del equipo.

El nivel de detalle de los datos de RM reportados y recopilados debe estar estrechamente vinculado con la producción e importancia de la seguridad del equipo. El establecimiento de prioridades debe basarse en la regularidad, seguridad y otras evaluaciones de criticidad.

Las personas responsables de reportar los datos de RM se beneficiarán del uso de estos datos. La participación de este personal en la determinación y comunicación de estos beneficios es un requisito para generar datos de RM de calidad.

5. Límites y jerarquía del equipo

5.1 Descripción de límites

Es necesario realizar una clara descripción de límites para la recopilación, fusión y análisis de los datos de RM de diferentes industrias, plantas o fuentes. De otro modo, la fusión y análisis se basarían en datos incompatibles.

Para cada clase de equipo, se definirá un límite que indique qué datos RM se recopilarán.

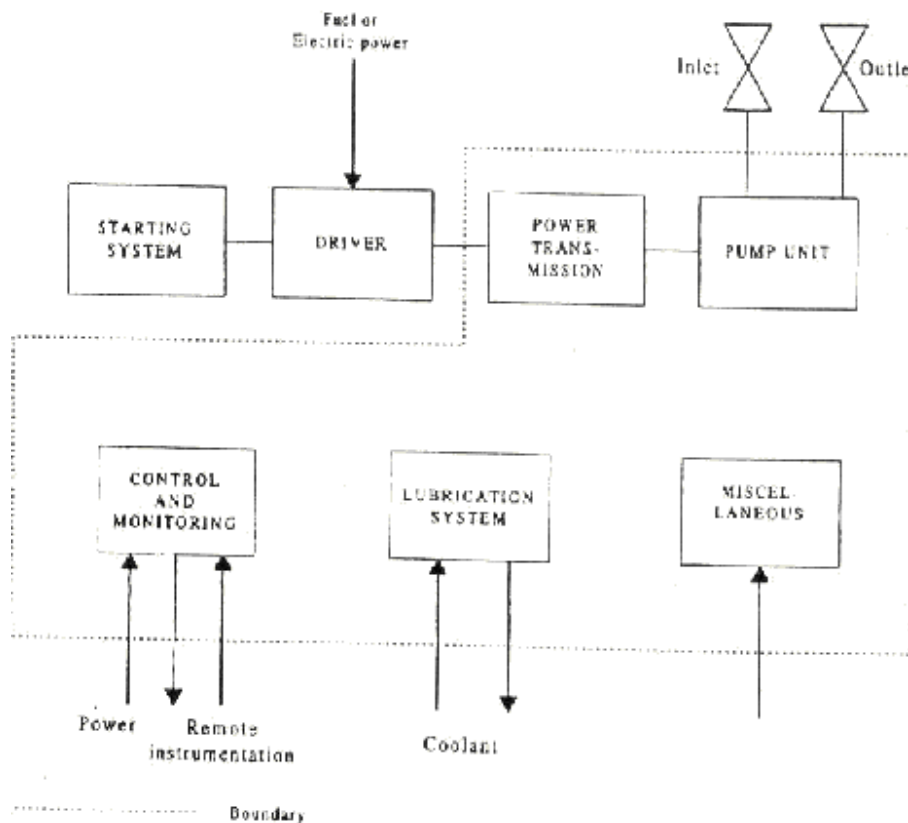


Figura 1- ejemplo de diagram de limite (Bombas)

En la figura 1. se muestra un modelo de diagrama de límites para una bomba.

El diagrama de límites deberá mostrar las subunidades y las interfaces con los equipos adyacentes. La descripción textual adicional deberá, para fines de claridad, especificar detalladamente lo que se considerará dentro y fuera de los límites.

Se debe tomar en cuenta la ubicación de los elementos del instrumento. En el ejemplo anterior, los aparatos de monitoreo y control central se incluyen frecuentemente dentro de la subunidad "control y monitoreo", mientras que la instrumentación individual (disparador, alarma, control) se incluye generalmente dentro de la subunidad apropiada, es decir, sistema de lubricación.

5.2 Guía para la definición de la jerarquía del equipo

Se recomienda elaborar una jerarquía del equipo. El nivel más alto es la clase de unidad de equipo. El número de subdivisiones dependerá de la complejidad de la unidad de equipo y el uso de los datos. Los datos de confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del equipo a fin de que tengan validez y puedan compararse. Por ejemplo, los datos de confiabilidad "clase de severidad" deben relacionarse con la unidad de equipo, mientras que la causa de la avería debe relacionarse con el nivel más bajo en la jerarquía del equipo.

Un instrumento solo puede no requerir mayor subdivisión, mientras que un compresor puede requerir varios niveles. Para los datos utilizados en los análisis de disponibilidad, es posible que sólo se necesiten datos de confiabilidad a nivel de unidad de equipo, mientras que el análisis RCM requerirá datos sobre el mecanismo de avería a nivel de la parte mantenible.

Normalmente, una unidad de equipo sólo requerirá una subdivisión en tres niveles.

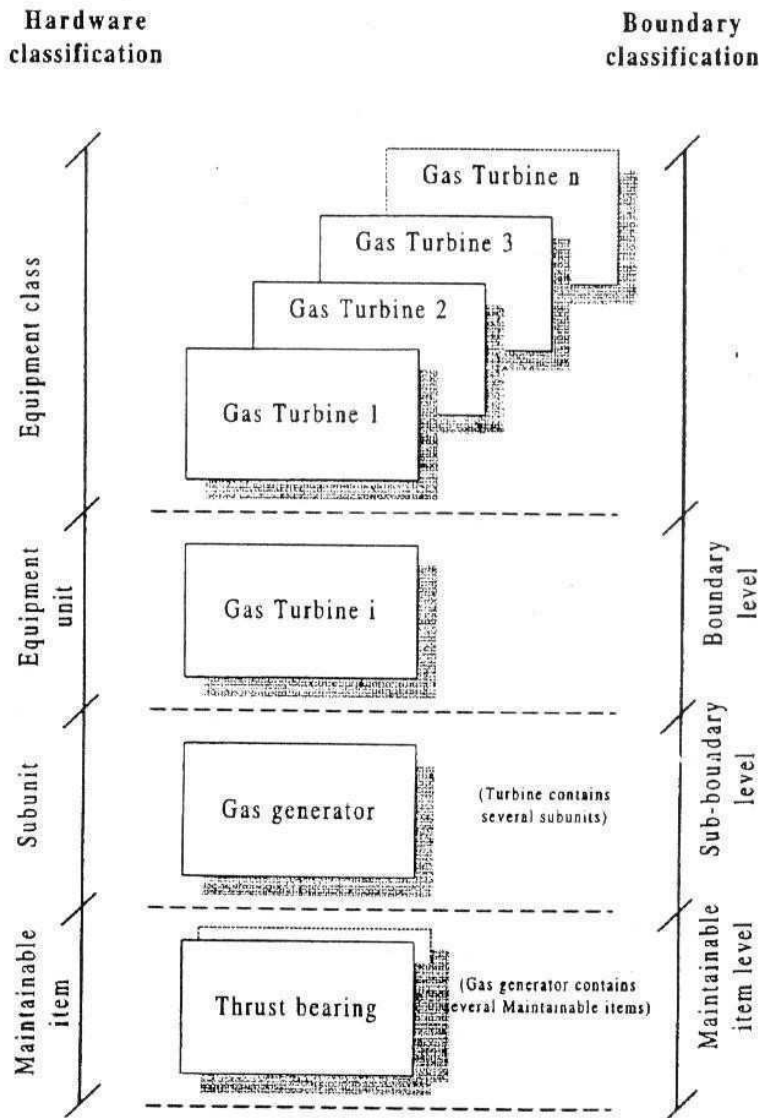


Figure 2 — Example of equipment hierarchy

En la figura 2 se muestra un ejemplo, a saber: unidad de equipo, subunidad y parte mantenible.

6. Estructura de la información

6.1 Categoría de datos

Los datos de RM deben recopilarse de manera organizada y estructurada. Las categorías superiores de datos para los datos sobre el equipo, las averías y el mantenimiento se muestran a continuación:

a) Datos del equipo

La descripción de equipo se caracteriza por:

- 1) Datos de identificación, por ejemplo, ubicación del equipo, clasificación, datos de instalación, datos de la unidad de equipo.
- 2) Datos de diseño, por ejemplo, datos del fabricante, características de diseño.
- 3) Datos de aplicación, por ejemplo, operación, ambiente.

Estas categorías de datos deben generalizarse para todas las clases de equipo; por ejemplo, clasificación por tipo, clasificación según unidad de equipo (ejemplo, número de fases para un compresor). Esto debe reflejarse en la estructura de base de datos. Para mayor detalle, ver la Tabla 1.

b) Datos de averías

Estos datos se caracterizan por:

- 1) Datos de identificación, registro de averías y ubicación del equipo.
- 2) Datos de la avería para fines de caracterización; por ejemplo, fecha de la avería, partes mantenibles averiadas, clase de severidad, modo de avería, causa de la avería, método de observación.

Para mayor detalle, ver la tabla 2.

c) Datos de mantenimiento

Estos datos se caracterizan por:

- 1) Datos de identificación; por ejemplo, registro de mantenimiento, ubicación del equipo, registro de averías.
- 2) Datos de mantenimiento, parámetros del mantenimiento; por ejemplo, fecha en que se realizó el mantenimiento, categoría del mantenimiento, actividad de mantenimiento, aparatos a los que se realizó mantenimiento, horas-hombre de mantenimiento por disciplina, tiempo de mantenimiento activo, tiempo de inactividad.

Para mayor detalle, ver la tabla 3.

El tipo de datos de averías y mantenimiento serán comunes para todas las clases de equipo, a excepción de aquellos casos donde se requerirán tipos específicos de datos, por ejemplo en el caso del equipo submarino.

El mantenimiento correctivo realizado debe registrarse a fin de describir la acción correctiva que se realizará tras una avería. Se requieren registros de mantenimiento preventivo para mantener una historia completa de vida útil de una unidad de equipo.

6.2 Formato de los datos

Cada registro, por ejemplo una avería, debe identificarse en la base datos mediante cierta cantidad de atributos. Cada atributo describe una información, como por ejemplo, el modo de avería. Se recomienda codificar cada información, siempre que sea posible. Las ventajas de este enfoque son:

- Facilitación de consultas y análisis de datos.

Copyright por International Organization For Standardization

Wed Jun 07 07:19:30 2000

- Ingreso simple de datos.
- Verificación de la consistencia durante el ingreso de datos, utilizando códigos predefinidos.

El rango de códigos predefinidos deberá optimizarse. Un rango de códigos resumido puede ser muy general y no sería útil. Un amplio rango de códigos podría brindar una descripción más precisa, pero dilatará el proceso de ingreso de datos; además, es posible que la persona que requiere los datos no utilice todos los códigos. En el anexo A y B se brindan ejemplos para diferentes códigos y tipo de equipo.

La desventaja de contar con una lista de códigos predefinidos frente a un texto general es que posiblemente se pierda cierta información detallada. Se recomienda incluir texto general a fin de brindar información suplementaria. También sería útil incluir campos de texto general con información adicional para el control de la calidad de los datos.

Tabla 1 – Datos del equipo

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

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

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

Tabla 2 – Datos de la avería

Categoría	Datos	Descripción
Identificación	Registro de averías (*)	Identificación de avería única
	Ubicación del equipo (*)	Número de identificación
Datos de la avería	Fecha de la avería (*)	Fecha de detección de la avería (día/mes/año)
	Modo de avería (*)	A nivel de la unidad de equipo (ver anexo A)
	Impacto de la avería en el funcionamiento	Nula, parcial o total (también se pueden incluir aquellas consecuencias que hayan afectado el funcionamiento seguro)
	Clase de severidad (*)	Efecto en el funcionamiento de la unidad de equipo: avería crítica, avería no crítica
	Descriptor de averías	Descriptor de la avería (ver Tabla B.1)
	Causa de la avería	Causa de la avería (ver tabla B.2)
	Subunidad averiada	Nombre de la unidad averiada (ver ejemplos en el anexo A)
Observaciones	Parte(s) mantenible(s) averiada(s)	Especifique la(las) parte(s) mantenible(s) averiada(s) (ver anexo A)
	Método de observación	Cómo se detectó la avería (ver Tabla B.3)
Observaciones	Información adicional	Brindar más detalles, si estuvieran disponibles, sobre las circunstancias que provocaron la avería (información adicional sobre la causa de la avería).

Tabla 3 – Datos de mantenimiento

Categoría	Datos	Descripción
Identificación	Registro de mantenimiento (*)	Identificación de avería única
	Ubicación del equipo (*)	Número de identificación
	Registro de la avería (*)	Identificación de la avería correspondiente (sólo mantenimiento correctivo)
Datos de mantenimiento	Fecha del mantenimiento (*)	Fecha en que se realizó el mantenimiento
	Categoría de mantenimiento	Mantenimiento correctivo o mantenimiento preventivo
	Actividad de mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento (ver tabla B.4)
	Impacto del mantenimiento en el funcionamiento	Nula, parcial o total (también se pueden incluir aquellas consecuencias que hayan afectado el funcionamiento seguro)
	Subunidad a la que se realizó mantenimiento	Nombre de la subunidad a la que se realizó mantenimiento (ver Anexo A) ^a
	Parte(s) mantenible(s) a la(s) que se realizó mantenimiento	Especifique la(s) parte(s) mantenible(s) a la(s) que se realizó mantenimiento (ver Anexo A)
Recursos de mantenimiento ^b	Horas-hombre de mantenimiento por disciplina ^b	Horas-hombre de mantenimiento por disciplina (mecánica, eléctrica, instrumental, otras)
	Total de horas-hombre de mantenimiento	Total de horas-hombre de mantenimiento
Tiempo de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento activo	Duración del trabajo de mantenimiento activo realizado al equipo ^c
	Tiempo de inactividad	Intervalo de tiempo durante el cual un aparato se encuentra en estado de inactividad
Observaciones	Información adicional	Brindar más detalles, si estuvieran disponibles, sobre la actividad de mantenimiento, como por ejemplo, tiempo de espera anormal, relación con otras tareas de mantenimiento

^a En el caso del mantenimiento correctivo, la subunidad a la que se realizó mantenimiento generalmente será la misma que la que se especificó en el informe de averías (ver 7.2).

^b En el caso del equipo submarino, se aplica lo siguiente:
 -Tipo de recurso(s) principal(es) y número de días empleados, por ejemplo, equipo de perforación, contenedores de inmersión, contenedor de servicio (*).
 -Tipo de recurso(s) complementario(s) y número de horas empleadas, por ejemplo, buzos, ROV/ROT, personal de plataforma.

^c Esta información es necesaria para el análisis RAM y RCM. Actualmente, se registra con poca frecuencia en los sistemas de control de mantenimiento. Debe mejorarse la generación de este tipo de información.

6.3 Estructura de la base de datos

Los datos recopilados deben organizarse y relacionarse en una base de datos a fin de brindar un fácil acceso para actualizaciones, consultas y análisis de, por ejemplo, estadísticas y análisis de vida útil. **La Figura 3**

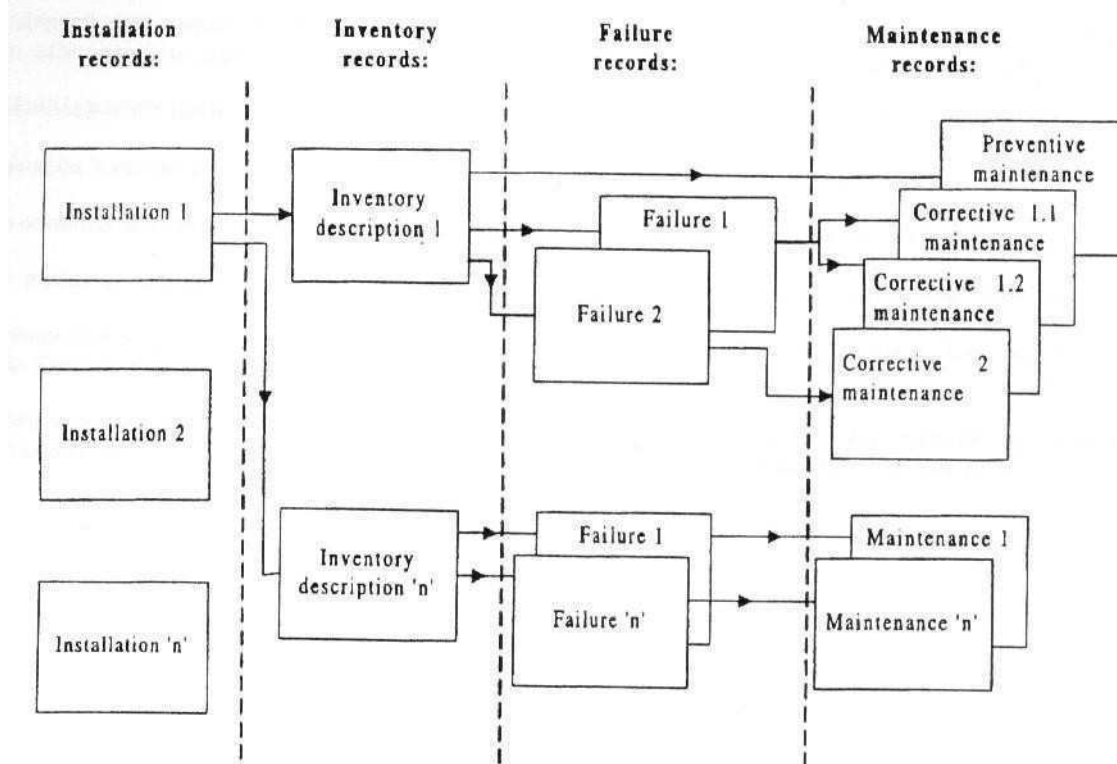


Figure 3 — Database structure

La Figura 3 brinda un ejemplo de cómo se puede estructurar de manera lógica la información en la base de datos.

7. Datos del equipo, averías y mantenimiento

7.1 Datos del equipo

El primer paso para la recopilación de datos RM es clasificar el equipo de acuerdo a parámetros técnicos, operativos y ambientales. Esta información también es necesaria para determinar si los datos son adecuados o válidos para varias aplicaciones. Existen algunos datos que son comunes a todas las clases de equipo y otros que son específicos a cada clase de equipo.

Para garantizar el logro de los objetivos establecidos en estas Normas Internacionales, es necesario recopilar un mínimo de datos. Estos datos están identificados con un asterisco (*) en las tablas 1, 2 y 3.

La tabla 1 contiene los datos comunes a todas las clases de equipo. También deben incluirse algunos datos que son específicos a cada clase de equipo. El Anexo A brinda ejemplos de esos datos para algunas clases de equipo. En los ejemplos del anexo A, se indican datos de prioridad.

Los datos mínimos requeridos para alcanzar los objetivos de esta Norma Internacional están identificados con un asterisco (*). Sin embargo, ciertas categorías de datos adicionales podrían mejorar significativamente los usos potenciales de los datos RM (ver anexo D).

NOTA: algunas características incluidas bajo la categoría principal “Aplicación”, en la Tabla 1, pueden variar con el tiempo. Parte de esta información está vinculada con la información que se recopiló en base a las

consecuencias de producción luego de una avería o actividad de mantenimiento. Esta información tiene una gran influencia en la interpretación del tiempo de inactividad.

7.2 Datos de averías

Es esencial tener una definición uniforme de una avería y un método de clasificación cuando se combinen los datos de diferentes fuentes (plantas y operadores) en una sola base de datos RM.

Deberá utilizarse un solo informe de averías para todas las clases de equipo. Los datos se muestran en la Tabla 2.

Los datos mínimos requeridos para alcanzar los objetivos de esta Norma Internacional están identificados con un asterisco (*). Sin embargo, ciertas categorías de datos adicionales podrían mejorar significativamente los usos potenciales de los datos RM (ver anexo D).

7.3 Datos de mantenimiento

El objetivo del mantenimiento es:

a) Corregir una avería (mantenimiento correctivo). La avería debe reportarse tal como se indica en el punto 7.2.

b) (Como acción periódica y planificada) Evitar la ocurrencia de averías (mantenimiento preventivo).

Deberá utilizarse un solo informe de mantenimiento para todas las clases de equipo. Los datos requeridos se muestran en la Tabla 3.

Los datos mínimos requeridos para alcanzar los objetivos de esta Norma Internacional están identificados con un asterisco (*). Sin embargo, ciertas categorías de datos adicionales podrían mejorar significativamente los usos potenciales de los datos RM (ver anexo D).

ANEXO A
(INFORMATIVO)

Atributos de las clases de equipo

A.1 Notas informativas

A.1.1 General

El anexo A brinda ejemplos en las

Tablas A.1 hasta la A.66 sobre como se pueden categorizar algunos equipos de gas y petróleo según la taxonomía, definición de límites, datos de inventario y modos de avería. Estos datos son específicos de cada unidad de equipo. En el anexo B se muestran los datos comunes a todas las unidades de equipo.

En esta categorización, se ha aplicado un enfoque de normalización a la clasificación y subdivisión de unidades. Esto significa que se ha reducido el número total de categorías y definiciones de datos diferentes, a la vez que existen menos definiciones y códigos personalizados para cada unidad de equipo. Por lo tanto, el usuario debe utilizar las categorías y códigos que son aplicables a la unidad de equipo específico para la que se están recopilando los datos. Para las unidades de equipo con un diseño especial, se puede necesitar una categorización más personalizada que la que se muestra en estos ejemplos.

En las tablas donde se ha subdividido al equipo en “subunidad” y “partes mantenibles” (por ejemplo en la Tabla A.2),

se recomienda incluir “partes mantenibles” adicionales, según sea necesario, para cubrir la instrumentación y la categoría “desconocida” en caso de que la información no estuviera disponible.

A.1.2 Definición de los límites

El propósito de la definición de los límites es asegurar que se tenga una idea clara de qué equipo se incluirá dentro del límite de un sistema particular y, por lo tanto, qué tipo de avería y mantenimiento deben registrarse. Se recomienda seguir las siguientes reglas para la definición de los límites:

- a) Excluir del límite de la unidad de equipo los aparatos conectados, a menos que se incluyan específicamente según la especificación del límite. Las averías que se presentan en una conexión (por ejemplo, las fugas) y que no pueden relacionarse exclusivamente con el *aparato conectado*, deben incluirse dentro de la definición de límite.
- b) Cuando el motor y la unidad accionada utilicen una subunidad en común (por ejemplo, el sistema de lubricación), relacione la avería de esta subunidad, como regla general, con la *unidad accionada*.
- c) Incluya la instrumentación sólo cuando ésta tenga una función específica de control y/o monitoreo en la unidad de equipo respectiva y/o cuando se instale en la unidad de equipo. La instrumentación de control y supervisión de uso más general (por ejemplo, sistemas SCADA) no deberá incluirse.

A.1.3 Modos de avería

En el anexo A, se brinda una lista de modos de avería para cada unidad de equipo. Los modos de avería deben relacionarse con el nivel de la unidad del equipo en la jerarquía. Los modos de avería utilizados pueden clasificarse en tres tipos:

- a) *No se obtiene la función* deseada (por ejemplo, no se puede encender).
- b) Existe una desviación en una *función específica que sobrepasa los límites aceptados* (por ejemplo, alta energía de salida).
- c) Se observa una *indicación de avería*, pero no existe un efecto inmediato y crítico en el funcionamiento de la unidad de equipo (en el caso de fugas).

En la última categoría, el modo de avería debe describir la *indicación de avería en el nivel de la unidad de equipo*, mientras que el descriptor de averías debe describir la *causa de la avería en el nivel más bajo dentro de la jerarquía del equipo* para la que se recopiló esta información.

A.2 Equipo de procesamiento

A.2.1 Motor de combustión (pistón)

Tabla A.1 – Clasificación taxonómica - Motores de combustión

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Motores de combustión – pistón (motores diesel/gas)	CE	Motor diesel	DE	Energía primaria	MP
		Motor a gas	GE	Energía esencial	EP
				Grupo electrógeno	EM
				Inyección de agua	WI
				Manipulación de petróleo	OH
				Manipulación de gas	GH
				Extintor de incendios con agua	FF
		Manipulación de materiales	MH		

NOTA: en la tabla A.1, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

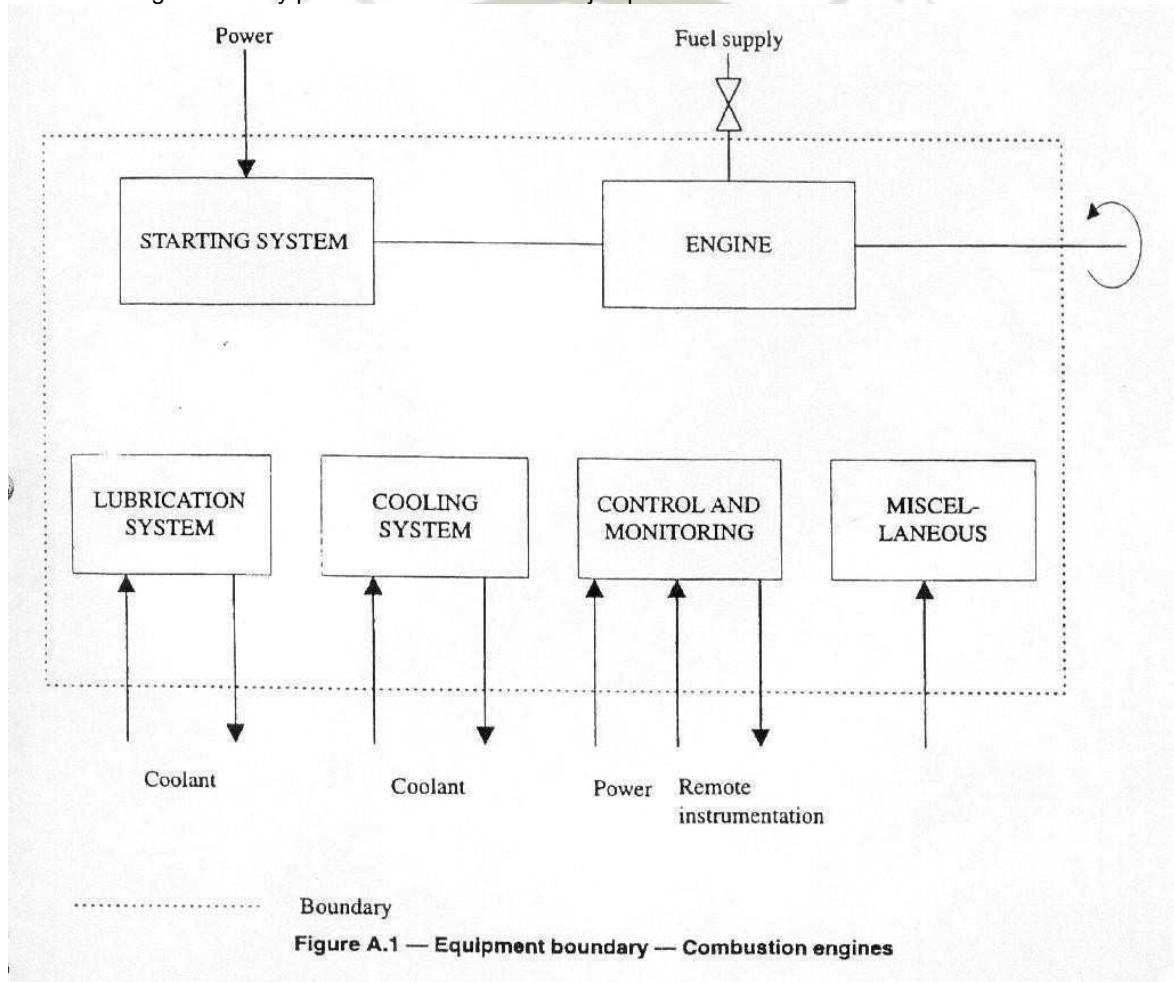


Tabla A.2 – Subdivisión de la unidad de equipo – Motores de combustión

Unidad de equipo	Motores de combustión					
Subunidad	Sistema de arranque	Unidad del motor de combustión	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Sistema de refrigeración	Misceláneos
Partes mantenibles	Energía de arranque (batería, aire) Unidad de arranque Control del arranque	Entrada de aire Turboalimentador Bomba de combustible Inyectores Filtros de combustible Sistema de escape Cilindros Pistones Eje Cojinete de empuje Cojinete radial Sellos Tubería Válvulas	Control Dispositivo actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Reservorio Bomba con motor Filtro Refrigerador Válvulas Tubería Petróleo Control de temperatura	Intercambiador de calor Ventilador y motor Filtro Válvulas Tubería Bomba Control de temperatura	Capote Otros Juntas de bridas

Tabla A.3 – Datos específicos de la unidad de equipo – Motores de combustión

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Aplicación del motor (*)	Nombre de la unidad accionada	Bomba, generador, compresor
Unidad accionada correspondiente	Especificar número de identificación de la unidad accionada	Numérica
Energía – diseño (*)	Energía de salida máxima nominal (diseño)	kW
Energía - operación (*)	Especificar la energía aproximada con la que se operó la unidad durante la mayor parte del tiempo de monitoreo	kW
Velocidad (*)	Velocidad del diseño	r/min
Número de cilindros	Especificar el número de cilindros	Número entero
Configuración del cilindro	Tipo	En línea, en V, plano
Sistema de arranque	Tipo	Eléctrico, hidráulico, neumático
Combustible	Tipo	Gas, petróleo liviano, petróleo mediano, petróleo pesado, doble
Tipo de filtración de entrada de aire	Tipo	Texto libre
Tipo de aspiración de motor (*)	Tipo de aspiración de motor	Turbo, natural

(*) Indica información de alta prioridad

Tabla A.4 – Modos de avería – Motores de combustión

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Motor de combustión	FTS	No arranca al momento de encender	Incapacidad para arrancar el motor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detener el motor o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del motor
	OWD	Opera sin accionar	Arranque no deseado
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Velocidad excesiva/energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Energía de salida por debajo de lo especificado
ERO	Energía de salida errática	Oscilante o fluctuante	

ELF	Fuga externa – combustible	Fuga de gas combustible o diesel
ELU	Fuga externa- medio de servicio	Aceite lubricante, refrigerante, etc.
INL	Fuga interna	Por ejemplo, fuga de agua del refrigerador interno
VIB	Vibración	Vibración excesiva
NOI	Ruido	Ruido excesivo
OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en la tapa o soporte de cilindro
SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
OTH	Otros	Especificar en la celda de comentarios
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible

A.2.2 Compresores

Tabla A.5 – Clasificación taxonómica – Compresores

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Compresor	CO	Centrífugo	CE	Procesamiento de gas	GP
		Recíproco	RE	Extracción de gas	GE
		De hélice	SC	Inyección de gas	GI
		Fuelle/ventilador	BL	Compresión de gas	GL
		Axial	AX	Aire comprimido	AI
				Refrigeración	RE

NOTA: en la tabla A.5, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

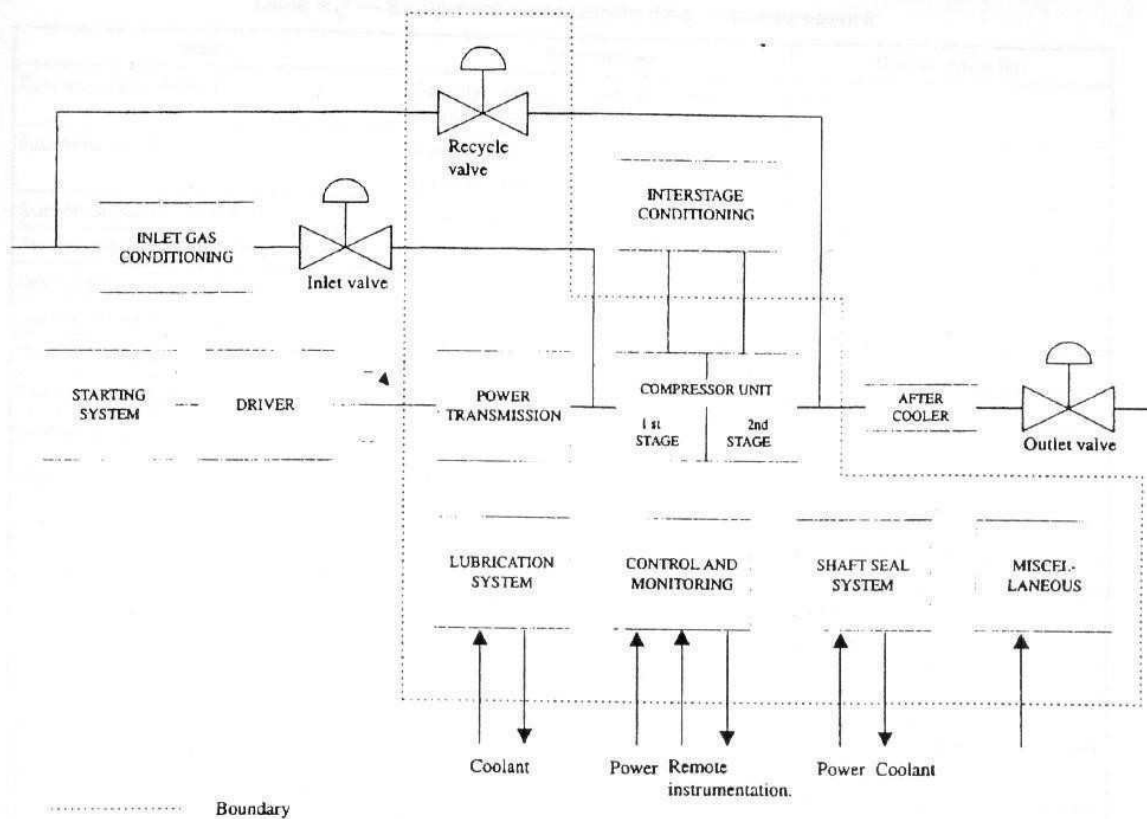


Figure A.2 — Equipment boundary — Compressors

Tabla A.6 – Subdivisión de la unidad de equipo – Compresores

Unidad de equipo	Compresores					
Subunidad	Transmisión de energía	Compresor	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Sistema del sello de eje	Misceláneos
Partes mantenibles	Caja de cambios/accionamiento o regulable Cojinete Acoplamiento al accionador Lubricación Sellos Acoplamiento a la unidad accionada	Tubería de revestimiento Rotor con propulsores Pistón compensador Sello entre etapas Cojinete radial Cojinete de empuje Sellos de eje Tubería interna Válvulas Sistema controlador de oleaje, incluyendo válvula y controladores de reciclaje Pistón Camisa de cilindro Empaque	Control Instrumento actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Tanque de petróleo con sistema de calefacción Bomba con motor Válvulas check Refrigerador Filtros Tubería Válvulas Aceite lubricante	Depósito de petróleo con calefacción Reservorio Bomba con motor/engranaje Filtros Válvulas Gas de la etapa intermedia Aceite sellante Sello de gas seco Gas sellante Depurador (scrubber)	Marco de base Tubería, soporte de tubería y fuelles Control-aislamiento y válvulas check Refrigeradores Silenciadores Aire de purga Sistema de control de cojinete magnético Junta de bridas Otros

NOTA: las partes mantenibles mencionadas en la Tabla A.6 deben aplicarse según sea necesario para el tipo de compresor.

Tabla A.7 – Datos específicos de la unidad de equipo – Compresores

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Accionador correspondiente (*)	Especifique el número de identificación de registro único cuando sea necesario	Numérico
Gas manipulado (*)	Masa molar promedio (especifique gravedad x 28,96)	g/mol
Presión de succión – diseño (*)	Primera fase	Pascal (bar)
Presión de succión – operativa (*)	Primera fase	Pascal (bar)
Presión de descarga – diseño (*)	Última fase	Pascal (bar)
Presión de descarga – operativa (*)	Última fase	Pascal (bar)
Velocidad de circulación – diseño (*)		m ³ /h
Velocidad de circulación – operativo (*)		m ³ /h
Temperatura de descarga – diseño (*)		°C
Temperatura de descarga – operativa		°C
Energía – diseño (*)	Energía de diseño	kW
Utilización (*)	% utilización en comparación con el diseño	%
Cabeza politrópica		KJ/kg
Número de tuberías de revestimiento (*)	Número de tuberías de revestimiento en la sarta	Números enteros
Número de fases (*)	Número de fases del compresor (sin propulsores) en esta sarta	Números enteros
Tipo de estructura	Tipo	Cámara partida vertical (barril), cámara partida axial
Sello de eje	Tipo	Mecánico, petróleo, gas seco envasado, casquillo seco, laberinto, combinado
Refrigerador intermedio adaptado	Especifique si el refrigerador está adaptado	Sí/no
Sistema de sello de eje (*)	Independiente, combinado, seco, etc.	Independiente, combinado, seco
Cojinete radial (*)	Tipo (especifique en la celda de comentarios si hay algún regulador de presión de empuje instalado)	Antifricción, chumacera, magnético
Cojinete de empuje (*)		
Velocidad	Velocidad del diseño	r/min
Tipo de accionador(*)	Tipo	Motor eléctrico, turbina de gas, turbina a vapor, motor diesel, motor de gas, turboexpansor, motor de gas integral
Acoplamiento	Tipo	Fijo, flexible, hidráulico, desacoplado
<i>Sólo compresores recíprocos:</i>		
Configuración del cilindro		En línea, opuesto, V, W
Orientación del cilindro		Horizontal, vertical, inclinado
Principio de trabajo (*)		De simple efecto, de doble efecto
Tipo de empaque (*)		Lubricado, seco

(*) Indica información de alta prioridad (*)

Tabla A.8 – Modos de avería – Compresores

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Compresor	FTS	No se activa al momento de encender	Incapacidad para activar el compresor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del compresor
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Presión/flujo oscilante o inestable
	ELP	Fuga externa - medio de elaboración	Escape del medio de elaboración al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de elaboración en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión	
SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, contaminación, etc.	
OTH	Otros	Ninguna de las anteriores se aplica. Especifique en la celda de comentarios.	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

A.2.3 Unidades lógicas de control

Tabla A.9 – Clasificación taxonómica – Unidades lógicas de control

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Unidades lógicas de control	CL	PLC	LC	Detección de incendios y gas	FG
		Computadora	PC	Interrupción del proceso	PS
		Sistema de control distribuido	DC	Interrupción de emergencia	ES
		Relay	RL	Interrupción del proceso y ESD	CS
		Estado sólido	SS	Control del proceso	PC
Controlador de lazo simple	SL				

NOTA: en la Tabla A.9, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

Figura A3

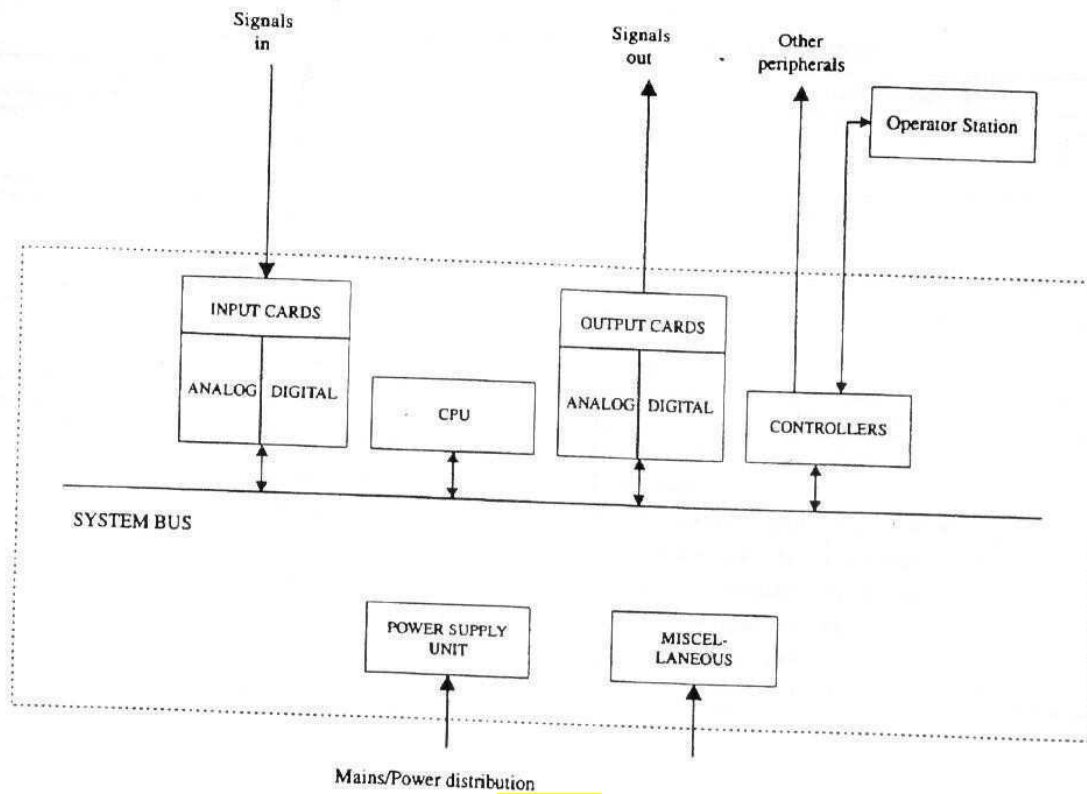


Figura A3

Tabla A.10 – Subdivisión de la unidad de equipo – Unidades lógicas de control

Unidad de equipo	Unidades lógicas de control				
Subunidad	Tarjetas de entrada analógica	Tarjetas de entrada digital	Tarjetas de salida analógica	Tarjetas de salida digital	Unidad de procesador central
Partes mantenibles	Tarjeta de entrada Unidad de conexión	Tarjeta de entrada Unidad de conexión	Tarjeta de salida Unidad de conexión <i>Relay</i>	Tarjeta de salida Unidad de conexión <i>Relay</i>	Unidad de procesador central (CPU) Memoria de acceso aleatorio (RAM) <i>Watchdog</i> (llave) / diagnóstico Software
Subunidad					
Partes mantenibles	Controlador de bus interno Control de unidad de visualización (VDU) Control de comunicación Control de disco Control de impresión	(No hay subdivisión)	(No hay subdivisión)	Otros	

Tabla A.11 – Datos específicos de la unidad de equipo – Unidades lógicas de control

Nombre	Descripción	Lista de códigos o unidades
Aplicación – lógica de control (*)	Lugar donde se utiliza	Detección de incendios y gas, interrupción del proceso, interrupción de emergencia, control del proceso, monitoreo
Tabla de la unidad de proceso central (*)	Por lo menos k de n sensores deberán emitir una señal para iniciar la acción de seguridad – se deberá introducir k y n	$k= 'nn'$ (número entero) $n='nn'$ (número entero)

(*) Indica información de alta prioridad

Tabla A.12 – Modos de avería – unidades lógicas de control

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Unidades lógicas de control	FTF	No funcionan al momento de activarlas	No activa la función de energía de salida
	OWD	Opera sin accionar	Falsa alarma
	AOL	Energía de salida anormal – baja	Tendencia a presentar averías de tipo FTF, por ejemplo, baja energía de salida
	AOH	Energía de salida anormal – alta	Tendencia a presentar averías de tipo OWD, por ejemplo, alta energía de salida
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible, por ejemplo, oscilante
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Se requieren algunas reparaciones menores
	UNK OTH	Desconocido Otros	Información inadecuada/no disponible Ninguna de las anteriores se aplica. Especifique en la celda de comentarios

A.2.4 Generadores eléctricos

Tabla A.13 – Clasificación taxonómica – Generadores eléctricos

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Generador eléctrico	EG	Turbina de gas accionada	TD	Energía primaria	MP
		Turbina a vapor accionada	SD	Energía esencial	EP
		Motor accionado, por ejemplo, motor diesel, motor a gas	MD	Grupo electrógeno	EM

NOTA: en la tabla A.13, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

Tabla A.14 – Subdivisión de la unidad de equipo – Generadores eléctricos

Unidad de equipo	Generadores eléctricos					
	Subunidad	Transmisión de energía	Generador eléctrico	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Sistema de refrigeración
Partes mantenibles	Caja de cambios Cojinete Sellos Lubricación Acoplam. al accionador Acoplam. a la unidad accionada	Estator Rotor Excitación Cojinete radial Cojinete de empuje	Control Instrumento actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Reservorio Bomba con motor Filtro Refrigerador Válvulas Tubería Petróleo	Conmutador térmico Ventilador con motor Filtro Válvulas Tubería Bomba con motor	Capote Aire purgado Otros

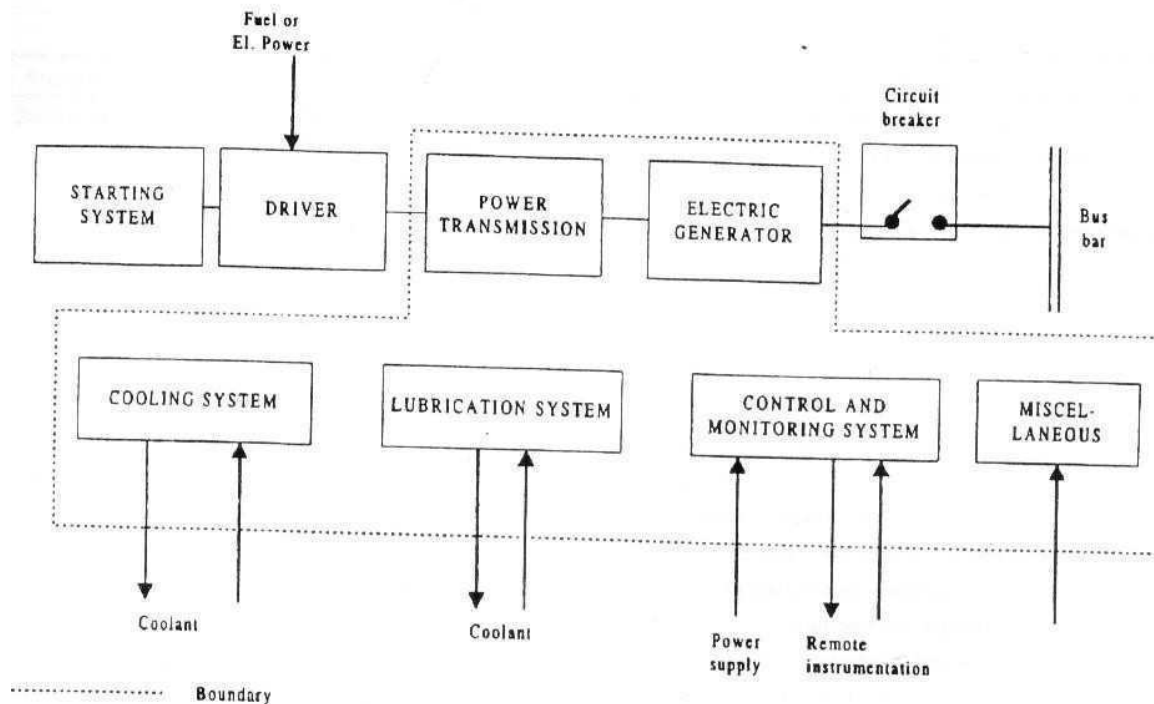


Figure A.4 — Equipment boundary — Electric generators

Tabla A.15 – Datos específicos de la unidad de equipo – Generadores eléctricos

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Accionador correspondiente (*)	Especifique el número de identificación del accionador cuando sea necesario	Numérico
Tipo de accionador (*)	Tipo	Motor eléctrico, turbina a gas, turbina a vapor, motor diesel, motor de gas
Acoplamiento	Especifique (fijo, flexible, etc.)	Fijo, flexible, hidráulico, desacoplado
Velocidad sincrónica (*)		r/min
Frecuencia	Frecuencia del diseño	Hz
Voltaje (*)	Voltaje del diseño	kV
Energía – diseño	Energía de diseño	kW
Factor de energía	Cos ϕ	Numérica
Control de excitación (*)	Tipo	Automática, manual
Tipo de excitación (*)	Anillo rozante/sin escobillas	Anillo rozante sin escobillas
Grado de protección	Clase de protección de acuerdo a CEI 60529	
Clase de aislamiento – estator (*)	Clase de aislamiento de acuerdo a CEI 60085	Y, A, E, B, F, H, 200, 220, 250
Aumento de temperatura - estator		°C
Clase de aislamiento - rotor	Clase de aislamiento de acuerdo a CEI 60085	Y, A, E, B, F, H, 200, 220, 250
Aumento de temperatura - rotor		°C
Cojinete radial(*) Cojinete de empuje	Tipo	Antifricción, chumacera, magnético
Lubricación de los cojinetes	Tipo de lubricación del cojinete	Grasa, baño de aceite, petróleo presurizado, anillo de engrase
Refrigerador de generador (*)	Tipo	Aire/aire, aire/agua, de ventilación abierta

(*) Indica información de alta prioridad

Tabla A.16 – Modos de avería – Generadores eléctricos

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Generadores eléctricos	FTS	No se activan al momento de encender	Incapacidad para activar el generador
	STP	No se detienen al momento de apagar	Incapacidad para detener el generador o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del generador
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	SYN	No logra sincronizar	Incapacidad para sincronizar el generador
	FOF	Frecuencia de salida defectuosa	Transmisión de energía reducida Vibración excesiva Ruido excesivo Aceite lubricante, refrigerante, etc. Temperatura excesiva Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc. Especifique en la celda de comentarios
	FOV	Voltaje de salida defectuosa	
	LOO	Baja energía de salida	
	VIB	Vibración	
	NOI	Ruido	
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	
	OHE	Sobrecalentamiento	
	PDE	Desviación del parámetro	
	AIR	Lectura anormal del instrumento	
	STD	Deficiencia estructural	
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Información inadecuada/no disponible
OTH	Otros		
UNK	Desconocido		

A.2.5 Motores eléctricos

Tabla A.17 – Clasificación taxonómica – Motores eléctricos

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Motor eléctrico	EM	Corriente alterna	AC	Extinción de incendios con agua	FF
		Corriente directa	DC	Inyección de agua	WI
				Manipulación de petróleo	OH
				Manipulación de gas	GH
				Procesamiento de gas	GP
				Inyección química	CI
				Aspiración de agua de mar	SL

NOTA: en la tabla A.17, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

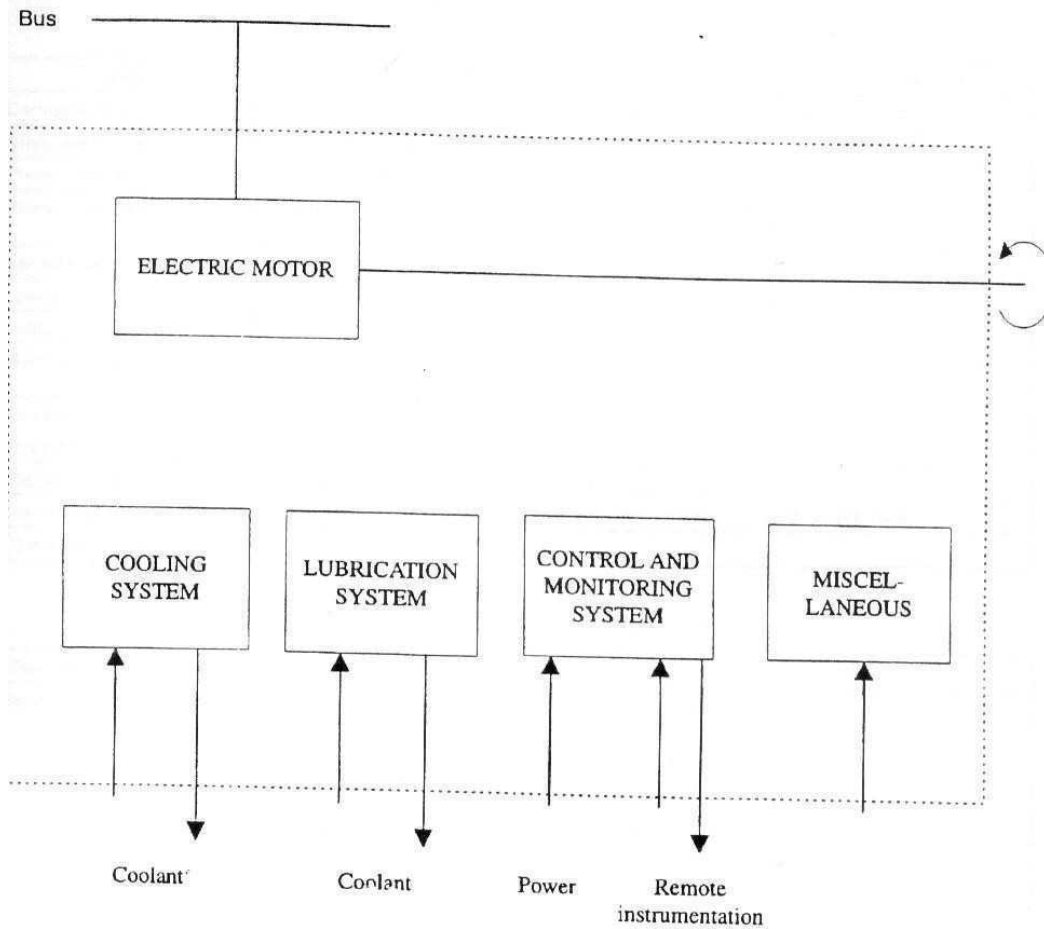


Figure A.5 — Equipment boundary — Electric motors

Tabla A.18 – Subdivisión de la unidad de equipo – Motores eléctricos

Subunidad	Motor eléctrico	Control y monitoreo ^a	Sistema de lubricación	Sistema de refrigeración	Misceláneo
Partes mantenibles	Estator Excitación Cojinete radial Cojinete de empuje Acoplamiento	Rotor Control Instrumento actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Reservorio Bomba con motor Filtro Refrigerador Válvulas Tubería Petróleo	Conmutador térmico Filtro Válvulas Tubería Bomba con motor Ventilador con motor	Capote Otros

^a Normalmente no se requiere ningún sistema de control adicional para los motores. En el caso de los motores de clase Ex (p) (presurizado) se monitorea la presión interna. La temperatura puede monitorearse en motores grandes.

Tabla A.19 – Datos específicos de la unidad de equipo – Motores eléctricos

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Unidad accionada correspondiente	Especifique el número de identificación del accionador cuando sea necesario	Numérica
Aplicación del accionador (*)	Tipo de unidad accionada	Bomba, compresor
Energía – diseño (*)	Máxima energía de salida (diseño)	kW
Energía - operación	Especifique la energía aproximada que se utilizó para operar la unidad durante la mayor parte del tiempo de inspección	kW
Velocidad variable	Especifique si se instaló o no	Si/no
Velocidad (*)	Velocidad del diseño	r/min
Voltaje (*)	Voltaje del diseño	V
Tipo de motor (*)	Tipo	Inducción, conmutador (d.c.), sincrónico
Cojinete radial (*) Cojinete de empuje	Tipo	Antifricción, chumacera, magnético
Grado de protección (*)	Clase de protección de acuerdo al CEI 60529	
Clase de seguridad (*)	Categorías de clasificación explosión/fuego, por ejemplo, Ex(d), Ex(e)	Por ejemplo: Ex(d), Ex(e)
(*) Indica información de alta prioridad		

Tabla A.20 – Modos de avería – Motores eléctricos

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Motores eléctricos	FTS	No arranca al momento de encender	Incapacidad para activar el motor
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detener el motor o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada del motor
	OWD	Opera sin accionar	Arranque no deseado
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Transmisión de energía reducida
	ERO	Energía de salida errática	Oscilante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante, refrigerante, etc.
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas, desgaste, fractura
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Aparatos flojos, decoloración, suciedad, etc.
OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

A.2.6 Detectores de incendios y gas

Tabla A.21 – Clasificación taxonómica – Detectores de incendios y gas

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Detectores de incendios y gas	FG	Humo/Combustión	BS	Detección de incendios	FD
		Calor Flama	BH BF		
		Hidrocarburo	AB	Detección de gas	GD
		H ₂ S	AS		

NOTA: en la tabla A.21, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

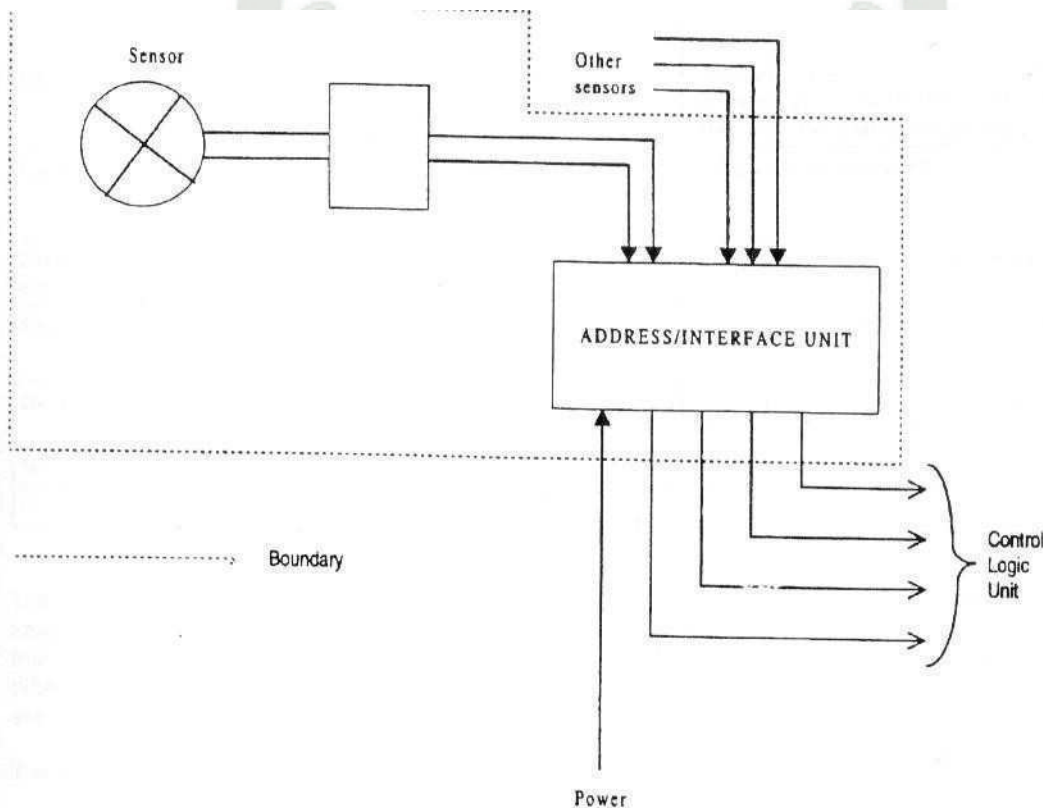


Figure A.6 — Equipment boundary — Fire and gas detectors

Tabla A.22 – Subdivisión de la unidad de equipo – Detectores de incendios y gas

Unidad de equipo	Detectores de incendios y gas		
	Sensor	Unidad de interfaz	Misceláneo
Partes mantenibles	Casquillo de montaje Cabezal de detector Cubierta	Tarjeta de control Visualización Caja Cableado	Otros

Tabla A.23 – Datos específicos de la unidad de equipo – Detectores de incendio y gas

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Ubicación en la instalación (*)	Lugar donde se instala	Cabeza de pozo, árbol de navidad, línea de flujo de cabeza de pozo, línea de inyección de cabeza de pozo, bomba, turbina, generador eléctrico, separador, intercambiador de calor, recipiente, cabecilla, motor eléctrico, turboexpansor, perforación, tubería, procesamiento de lodo, servicios, vivienda, entrada de aire, unidad de alquilización, unidades de isomerización, desintegradores catalíticos, cuarto de control, cuarto auxiliar, MCC y sala de conmutación.
Configuración del sensor, k de n	Por lo menos k de n sensores deberán emitir una señal para iniciar la acción de seguridad – deberá ingresarse k y n	k = 'nn' (número entero) n = 'nn' (número entero)
Configuración de lazos, i de j	Por lo menos i de j lazos deberán emitir una señal para llevar a cabo la acción de seguridad – deberá ingresarse i y j . Si no hay configuración de lazos, deje el espacio en blanco.	i = 'nn' (número entero) j = 'nn' (número entero)
Principio del sensor (*)	Tipo	Catalítico, electroquímico, ionización, fotoelectroquímico, bin fotoeléctrico, IR, UV, IR/UV, aumento de nivel, comp. de nivel, temperatura fija, tapón fusible.
Principio de protección en caso de avería	Normalmente activado, normalmente desactivado. Normalmente no se aplica al equipo análogo.	Activado, desactivado
Comunicación de detector †(*)	Tipo	Convencional, direccionable (una sola dirección), inteligente (dos direcciones)
Autocomprobación (*)	Grado de autocomprobación	No hay autocomprobación, prueba automática de anillo, prueba incorporada
Tiempo operativo detallado	Indica la culminación de los materiales informativos	Comentarios adicionales para la recopilación del tiempo operativo de los detectores de incendios y gas y sensores de procesos
Clase de seguridad	Ex estándar	Ex (d), Ex(e), ninguna
(*)Indica información de alta prioridad		

Este grupo de celdas de datos se incluye en el informe de existencias de detectores de incendios y gas y sensores de proceso a fin de rastrear las amplias variaciones en el uso y nivel de detalle de los datos introducidos en el sistema de administración de la información sobre instalaciones. Las celdas de datos en la Tabla A.24 indican el tiempo total de disponibilidad de las diferentes categorías de averías durante el período de inspección. Este tiempo se registra en horas con respecto al tiempo de inspección y siempre será menor o igual al tiempo de inspección.

Las celdas de datos se organizan en una matriz tal como se muestra en la Tabla A.24.

Las celdas de datos deben llenarse, en base a lo que se encuentra disponible *realmente* y no a lo que *debería* estar disponible según los procedimientos del operador.

Sin esta información, el análisis de los datos podría conllevar a la conclusión general de que el operador que presenta los informes de historia más completos, también registra la tasa de avería estimada más alta para detectores/sensores. Por ejemplo, un operador podría no registrar el cambio de un cabezal de detector si esto se realiza como parte del mantenimiento preventivo. Comparar la tasa de avería de este operador con la tasa de avería de otro operador que sí registra todos los cambios realizados podría llevar a confusiones.

Por lo tanto, a fin de comparar datos similares, debe especificarse el tiempo total que se empleó durante el período de inspección para registrar la combinación de actividad de restauración y modos de avería. En la matriz que se brinda a continuación se indican las múltiples combinaciones, por ejemplo, si el período de inspección es de 10000 h y t_R es 5000 h., esto significa que los datos de *cambio de partes* (incluyendo todos

Copyright por International Organization For Standardization

Wed Jun 07 07:19:30 2000

los modos de avería) se registraron durante la mitad del período de inspección y están a disposición de la persona que necesita los datos.

Tabla A.24 – Tiempos de registro de datos según la combinación tipo de reparación y modo de avería para detectores de incendios y gas y sensores de proceso

Actividad de mantenimiento	Modo de avería			
	FTF ^a NOO/ VLO ^b	SPO SLL/SHH	HIO/LOO/ SER/OVH OTROS	TODOS LOS MODOS
Cambio de partes (por el personal de mantenimiento)	t_R^F	t_R^S	t_R^O	t_R
Ajuste/reparación/ reajuste (por el personal de mantenimiento)	t_A^F	t_A^S	t_A^O	t_A
Verificación (reinicio) (por el personal operativo)	t_C^F	t_C^S		t_C
Todas las actividades de reparación	t^F	t^S	t^O	t

^a Modo de avería aplicable a los detectores de incendios, sensores de proceso y unidades lógicas de control.
^b Modo de avería aplicable a los detectores de gas.

Las categorías de averías se definen como:

- a) Averías t_R donde se ha reemplazado la subunidad del detector.
- b) Averías t_R^F donde se ha reemplazado la subunidad del detector debido a una muy baja (o nula) energía de salida del detector durante la condición de prueba (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento preventivo).
- c) Averías t_R^S donde se ha reemplazado la subunidad del detector debido a una señal de falsa alarma (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento correctivo).
- d) Averías t_R^O donde se ha reemplazado la subunidad del detector debido a modos de avería distintos de FTF/SPO (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento preventivo o correctivo).
- e) Averías t_A donde se ha reparado/ajustado/reajustado la subunidad del detector.
- f) Averías t_A^F donde se ha reparado/ajustado/reajustado la subunidad del detector debido a una muy baja (o nula) energía de salida del detector durante la condición de prueba. (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento preventivo).
- g) Averías t_A^S donde se ha reparado/ajustado/reajustado la subunidad del detector debido a una señal de falsa alarma (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento correctivo).
- h) Averías t_A^O donde se ha reparado/ajustado/reajustado la subunidad del detector debido a modos de avería distintos de FTF/SPO (generalmente, se registra en los informes de mantenimiento preventivo o correctivo o en cuadernos de trabajo técnico detallados).
- i) Averías t_C donde el detector no ha respondido a condiciones de fuego real o ha emitido una falsa alarma; sólo se necesita reiniciar para continuar con la operación.
- j) Averías t_C^F donde el detector no ha respondido a condiciones de fuego real; sólo se necesita reiniciar para continuar con la operación (generalmente, se registra en informes de incendios -cerca del blanco-).
- k) Averías t_C^S donde el detector ha emitido una señal de falsa alarma; sólo se necesita reiniciar para continuar con la operación (generalmente, se registra en los cuadernos de trabajo de la sala de control o en los informes de actividad diaria).
- l) t^F , t^S , t^O , t Resumen de tiempos dentro de cada categoría de modo de avería.

Tabla A.25 – Modos de Avería – Detectores de incendios y gas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Detectores de incendios	FTF	No funciona al momento de activarlos	Incapacidad para activar el detector
	OWD	Opera sin previa acción	Falsa alarma
	AOL	Energía de salida anormal – baja	Tendencia a presentar averías de tipo FTF, por ejemplo, baja energía de salida
	AOH	Energía de salida anormal – alta	Tendencia a presentar averías de tipo OWD, por ejemplo, alta energía de salida
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible, por ejemplo, oscilante
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Se requieren algunas reparaciones menores
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
Detectores de gas	SHH	Falsa señal de alarma de alto nivel	Por ejemplo 60% LEL
	SLL	Falsa señal de alarma de bajo nivel	Por ejemplo 20% LEL
	HIO	Alta energía de salida	Por ejemplo lectura 10% - 20% LEL sin gas de prueba/lectura por encima del 80% con gas de prueba
	HIU	Alta energía de salida, lectura no disponible	—
	LOO	Baja energía de salida	Por ejemplo, lectura entre 31% - 50% LEL con gas de prueba ^a
	LOU	Baja energía de salida, lectura desconocida	—
	VLO	Energía de salida muy baja	Por ejemplo, lectura entre 11% - 30% LEL con gas de prueba
	NOO	Energía de salida nula	Por ejemplo, lectura menor a 10% LEL con gas de prueba
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible (por ejemplo, oscilante)
	SER	Problemas menores de funcionamiento	Se requieren reparaciones menores

^a Asumiendo un punto de referencia nominal del 65% LEL.

A.2.7 Turbinas de gas

Tabla A.26 – Clasificación taxonómica – Turbinas de gas

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Turbina de gas	GT	Industrial	IN	Manipulación de petróleo	OH
		Aero-derivada	AD	Procesamiento de gas	GP
		Industrial ligera	LI	Extracción de gas	GE
				Inyección de gas	GI
				Compresión de gas	GL
				Energía primaria	MP
				Energía esencial	EP
				Grupo electrógeno	EM
				Inyección de agua	WI
				Refrigeración	RE

NOTA: en la tabla A.26, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

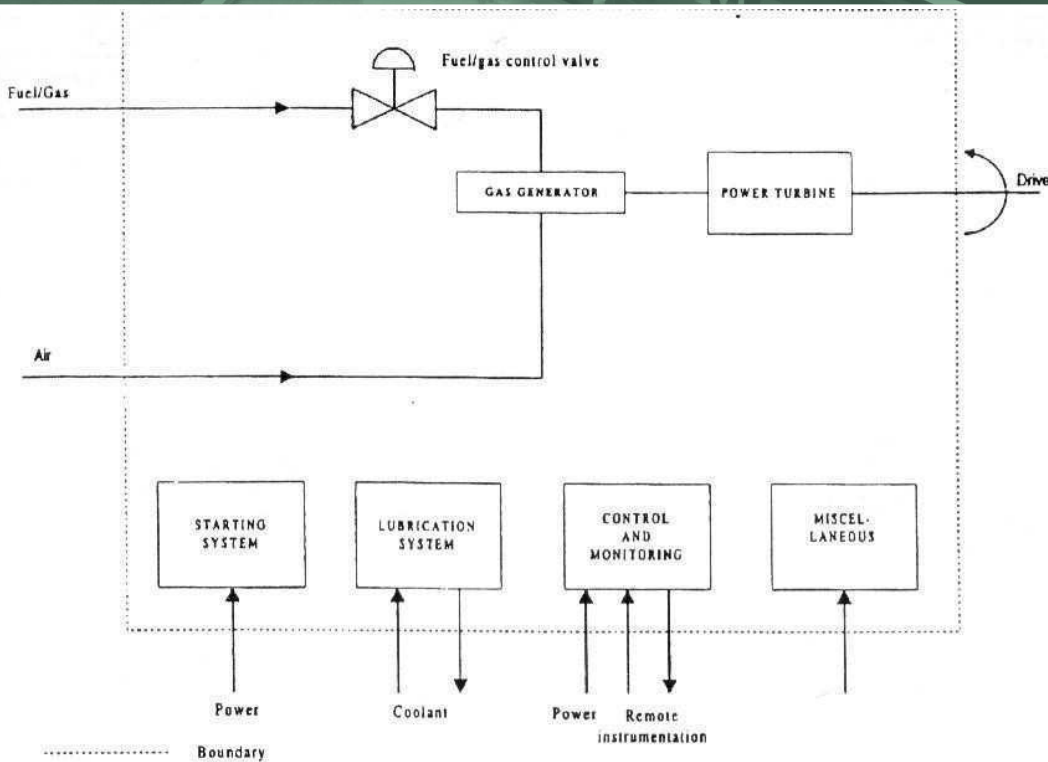


Figure A.7 — Equipment boundary — Gas turbines

Tabla A.27 – Subdivisión de la unidad de equipo – Turbinas de gas

Unidad de equipo	Turbinas de gas					
Subunidad	Sistema de arranque	Generador de gas	Turbina de potencia	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Misceláneo
Partes mantenibles	Energía de arranque (batería, aire) Unidad de arranque Control de arranque	Entrada de aire Rotor de compresor Álabe de compresor Cámaras de combustión Quemadores Control de combustible Rotor de turbina Estator de turbina Tubería de revestimiento Cojinete de empuje Cojinete radial Sellos Válvulas Tubería	Rotor Estator Tubería de revestimiento Cojinete radial Cojinete de empuje Sellos Sistema de escape Válvulas Tubería	Control Instrumento actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Reservorio Bomba con motor Filtro Refrigerador Válvulas Tubería Petróleo	Capote Aire purgado Junta de bridas Otros Sistema de lavado con agua

Tabla A.28 – Datos específicos de la unidad de equipo – Turbinas de gas

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Energía – diseño (*)	Clasificación de energía según ISO	kW
Energía – operación (*)	Especifique la energía aproximada que se utilizó para operar la unidad durante la mayor parte del tiempo de inspección	kW
Velocidad (*)	Velocidad del diseño (eje motor)	r/min
Número de ejes (*)	Especifique el número	No hay cifras
Sistema de arranque (*)	Especifique el principal sistema de arranque	Eléctrico, hidráulico, neumático
Sistema de arranque de respaldo	Especifique si es importante	Eléctrico, hidráulico, neumático
Combustible (*)	Tipo de combustible	Gas, petróleo liviano, petróleo medio, petróleo pesado, dual
Aplicación de accionador (*)	Tipo de unidad accionada	Bomba, generador eléctrico, compresor
Unidad accionada correspondiente	Especifique el número de identificación del accionador cuando sea necesario	Númerica
Tipo de filtración de entrada de aire	Tipo	Texto general

(*) Indica información de alta prioridad

Tabla A.29 – Modos de avería – Turbinas de gas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Turbinas de gas	FTS	No funcionan al momento de encender	Incapacidad para activar la turbina
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada de la turbina
	OWD	Opera sin previa acción	Arranque no deseado
	FCH	No puede cambiar de un tipo de combustible al otro	Motores de dos combustibles: no logra cambiar de un tipo de combustible al otro
	BRD	Colapso	Daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Por ejemplo, velocidad excesiva
	LOO	Baja energía de salida	Eficiencia/ energía por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Operación inestable/rpm oscilante
	ELF	Fuga externa – combustible	Gas combustible o fuga de diesel
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de procesamiento en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

A.2.8 Intercambiador de calor

Tabla A.30 – Clasificación taxonómica – Intercambiador de calor

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Conmutador térmico	HE	Carcasa y tubo	ST	Manipulación de petróleo	OP
		Placa	PL	Procesamiento de gas	GP
		Doble tubería	DP	Extracción de gas	GE
		Bayoneta	BY	Sistema de refrigeración	CW
		Circuito impreso Refrigerado por aire	CI AC	Condensación	CO

NOTA: en la tabla A.30, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

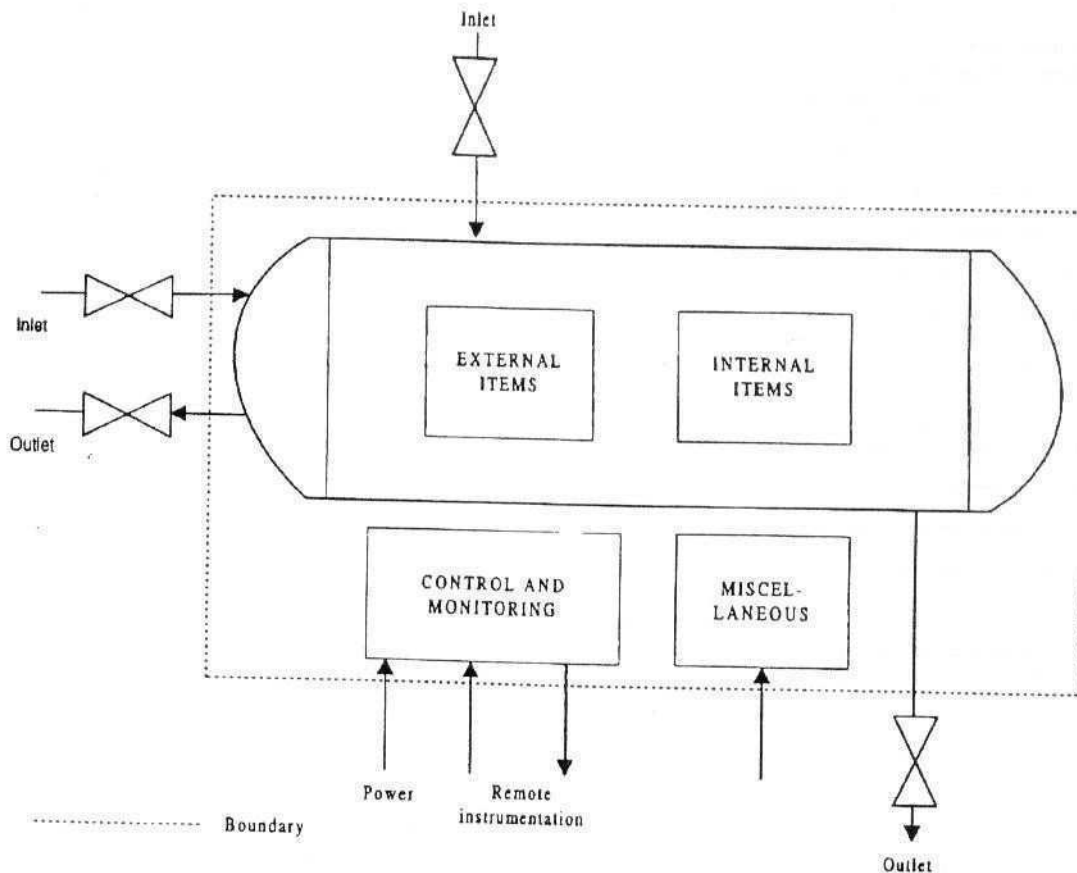


Figure A.8 — Equipment boundary — Heat exchangers

Tabla A.31 – Subdivisión de la unidad de equipo – Intercambiador de calor

Unidad de equipo	Conmutador térmico			
	Subunidad	Externo	Interno	Control y monitoreo
Partes mantenibles	Soporte Estructura/armazón	Estructura/carcasa Tubos	Control Instrumento actuador	Ventilador ^a Motor del ventilador
	Válvulas Tubería	Placas Sellos (empaques)	Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	

^a Aplicable solo a los intercambiadores de calor enfriados por aire.

Tabla A.32 – Datos específicos de la unidad de equipo – Intercambiadores de calor

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Fluido, lado caliente (*)	Tipo de fluido	Ej. petróleo, gas, condensado, agua dulce, vapor, agua de mar, petróleo crudo, agua aceitosa, gas de quema, agua/glicol, metanol, nitrógeno, químicos, hidrocarburo, aire.
Fluido, lado frío (*)	Tipo de fluido	Ej. petróleo, gas, condensado, agua dulce, vapor, agua de mar, petróleo crudo, agua aceitosa, gas de quema, agua/glicol, metanol, nitrógeno, químicos, hidrocarburo, aire.
Transferencia térmica (*)	Valor del diseño	kW
Utilización(*)	Transferencia térmica usada/nominal	%
Presión, lado caliente (*)	Presión del diseño	Pascal (bar)
Presión, lado frío (*)	Presión del diseño	Pascal (bar)
Caída de temperatura, lado caliente	Operación	°C
Aumento de temperatura, lado frío	Operación	°C
Tamaño – diámetro (*)	Externo	Mm
Tamaño – longitud (*)	Externo	Mm
Número de tubos/placas		Numérica
Material del tubo/placa (*)	Especifique el tipo de material en los tubos/placas	Texto general

(*) Indica la información de alta prioridad

Tabla A.33 – Modos de avería – Intercambiadores de calor

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Intercambiador de calor	IHT	Transferencia de calor insuficiente	Calefacción/refrigeración insuficiente
	ELP	Fuga externa – medio de procesamiento	El medio de procesamiento escapa al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Escape del refrigerante al medio ambiente
	INL	Fuga interna	Comunicación entre el lado caliente y lado frío
	PLU	Enchufado/obturado	Restricción total o parcial del flujo debido a hidratos, cera, incrustaciones, etc.
	STD	Deficiencia estructural	Fortaleza reducida debido al impacto, corrosión inaceptable, roturas, etc.
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura defectuosa
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH UNK	Otros Desconocido	Especifique en la celda de comentarios Información inadecuada/no disponible

A.2.9 Sensores del proceso

Tabla A.34 – Clasificación taxonómica – Sensores del proceso

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Sensores del proceso	PS	Presión	PS	Procesamiento de petróleo	OP
		Nivel	LS	Procesamiento de gas	GP
		Temperatura	TS	Procesamiento de condensados	CP
		Flujo	FS	Sistema de refrigeración	CW
		Velocidad	SP	Apagado de incendios con agua	FF
		Vibración	VI	Inyección de agua	WI
		Desplazamiento	DI	Tratamiento de agua aceitosa	OW
		Analizador	AN	Inyección química	CI
Peso	WE	Fluido de completación	CF		

NOTA: en la tabla A.34, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

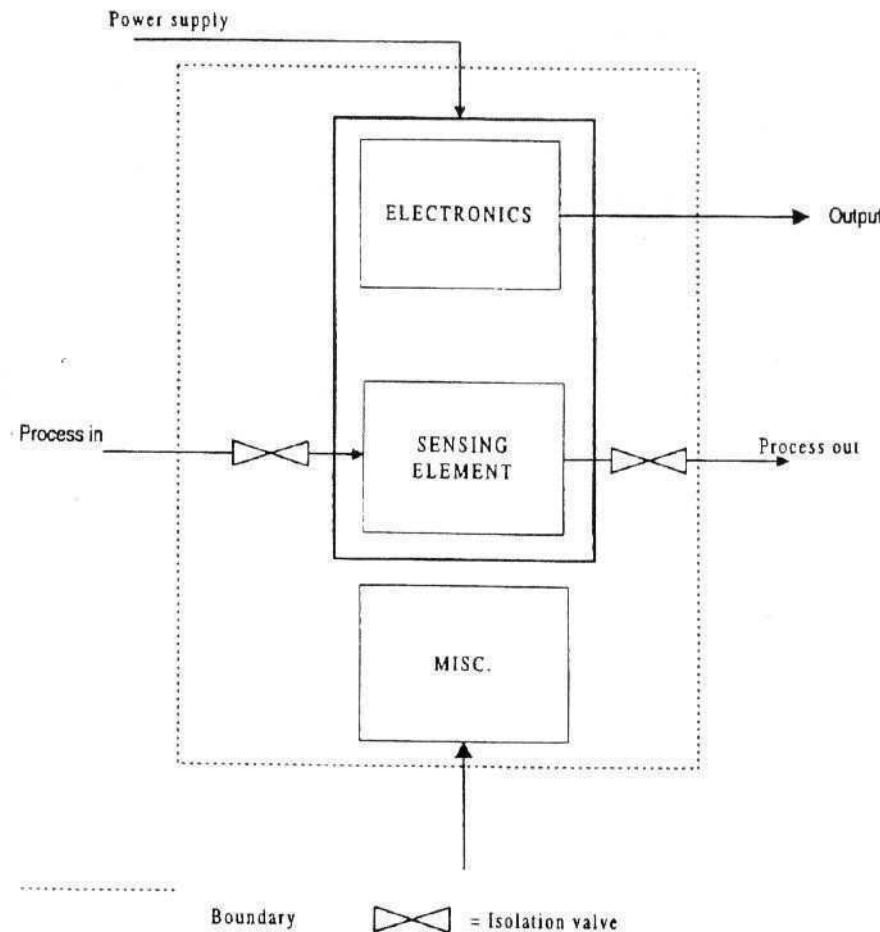


Figure A.9 — Equipment boundary — Process sensors

Tabla A.35 – Subdivisión de la unidad de equipo - Sensores del proceso

Unidad de equipo	Sensores del proceso	
Subunidad	Sensor y electrónica	Misceláneo
Partes mantenibles	Elemento sensor Electrónica	Válvula de aislamiento Tubería Otros

Tabla A.36 – Datos específicos de la unidad de equipo – Sensores de proceso

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Ubicación en la instalación (*)	Lugar donde se instala	Cabeza de pozo, árbol de navidad o conexiones, línea de flujo de cabeza de pozo, línea de inyección de cabeza de pozo, bomba, turbina, generador eléctrico, separador, intercambiador de calor, recipiente, cabecilla, motor eléctrico, turboexpansor, perforación, tubería, procesamiento de lodo, servicios, vivienda, entrada de aire, unidad de alkilización, unidades de isomerización, desintegradores catalíticos.
Aplicación (*)	Lugar donde se aplica	Interrupción, control de proceso, interrupción de emergencia, interrupción del proceso, detección de incendios y gas, sin retorno, desfogue, reducción de la presión, by-pass, purgación, monitoreo, combinado
Presión - operación	Presión operativa normal	Pascal (bar)
Temperatura - operación	Temperatura operativa normal	°C
Configuración del sensor, k de n	Por lo menos k de n sensores deberán emitir una señal para iniciar la acción de seguridad/control – deberá ingresarse k y n ; si no hay configuración, deje el espacio en blanco	$k = 'nn'$ (número entero) $n = 'nn'$ (número entero)
Presión – referencia (*)	Aplicable sólo para los sensores de presión	Diferencial, absoluto, escala
Principio del sensor de presión (*)	Aplicable sólo para sensores de presión	"Bonded strain", semiconductor, tensión, piezoeléctrico, electromecánico, capacitancia, reluctancia
Principio sensible al nivel (*)	Aplicable sólo para sensores de nivel	Celda de presión diferencial, capacitancia, conductivo, desplazamiento, diafragma, sónico, óptico, microondas, frecuencia de radio, nuclear
Principio de sensor de temperatura (*)	Aplicable sólo para los sensores de temperatura	Detector de temperatura de resistencia (PT), termopar, capilar
Principio de sensor de flujo (*)	Aplicable sólo para los sensores de flujo	Desplazamiento, cabeza diferencial (conducto/tubería cerrada, canal abierto), velocidad, masa
Tipo – sensor de proceso (*)	Transmisor (convierte el parámetro del proceso, por ejemplo, la presión, en las señales eléctricas proporcionales – 4mA a 20 mA o 0 V a 10 V (ref. CEI 60381-2); Transductor (convierte los parámetros del proceso, por ejemplo, la presión, en señales eléctricas proporcionales – energía de salida no amplificada); Conmutador (convierte los parámetros del proceso, por ejemplo, la presión, en señales eléctricas de conexión/desconexión)	Transmisor, transductor, conmutador
Principio de protección en caso de avería (*)	Tipo	Normalmente activado, desactivado. Normalmente no se aplica al equipo análogo.
Comunicación del detector (*)	Tipo	Convencional, direccionable (en una sola dirección), inteligente – <i>smart</i> - (en dos direcciones)
Autocomprobación (*)	La misma que se consignó para los detectores de incendios y gas	Ninguna, "auto-loop", incorporado, (<i>built-in</i>) combinación de prueba de bucle automática y prueba incorporada (<i>automatic loop-test/built-in test</i>).
Tiempo operacional detallado	El mismo que se consignó para los detectores de incendios y gas	
Clase de seguridad	Ex estándar	Ex(d), Ex(e), ninguna
(*) Indica información de alta prioridad		

Tabla A. 37 – Modos de avería – Sensores de proceso

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Sensores de proceso	FTF	No funciona al momento de encender	Sensor “atascado”
	OWD	Opera sin previa demanda	Falsa alarma
	AOL	Energía de salida anormal - baja	Tendencia a presentar averías de tipo FTF, por ejemplo, baja energía de salida
	AOL	Energía de salida anormal – baja	
	AOH	Energía de salida anormal – alta	Tendencia a presentar averías de tipo OWD, por ejemplo, alta energía de salida
	ERO	Energía de salida errática	Lectura ininteligible, por ejemplo, oscilante
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Se requieren algunas reparaciones menores
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible
OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios	
UNK	Desconocido	Desconocido	Información inadecuada/no disponible

A.2.10 Bombas

Tabla A.38 – Clasificación taxonómica – Bombas

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Bomba	PU	Centrífuga	CE	Extinción de incendios con agua	FF
		Recíproca De hélice	RE RO	Inyección de agua	WI
		Rotatoria		Manipulación de petróleo	OH
				Tratamiento de gas	GT
				Procesamiento de gas	GP
				Inyección química	CI
				Aspiración de agua de mar	SL
				Extracción de NGL	NE
				Utilitario	UT

NOTA: en la tabla A.38, las columnas “Tipo” y “Aplicación” muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

Tabla A.39 – Subdivisión de la unidad de equipo - Bombas

Unidad de equipo	Bombas				
Subunidad	Transmisión de energía	Unidad de la bomba	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Misceláneos
Partes mantenibles	Caja de cambios/accionamiento o regulable Cojinete Sellos Lubricación Acoplamiento accionador Acoplamiento a la unidad accionada	Soporte de tubería revestimiento Propulsor Eje Cojinete radial Cojinete de empuje Sellos Válvulas Tubería Camisa de cilindro Pistón Diafragma	Control Instrumento actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Reservorio Bomba con motor Filtro Refrigerador Válvulas Tubería Petróleo	Aire purgado Sistema de refrigeración/ calefacción Filtro, ciclón Amortiguador de pulsación Juntas de bridas Otros

Copyright por International Organization For Standarization
Wed Jun 07 07:19:30 2000

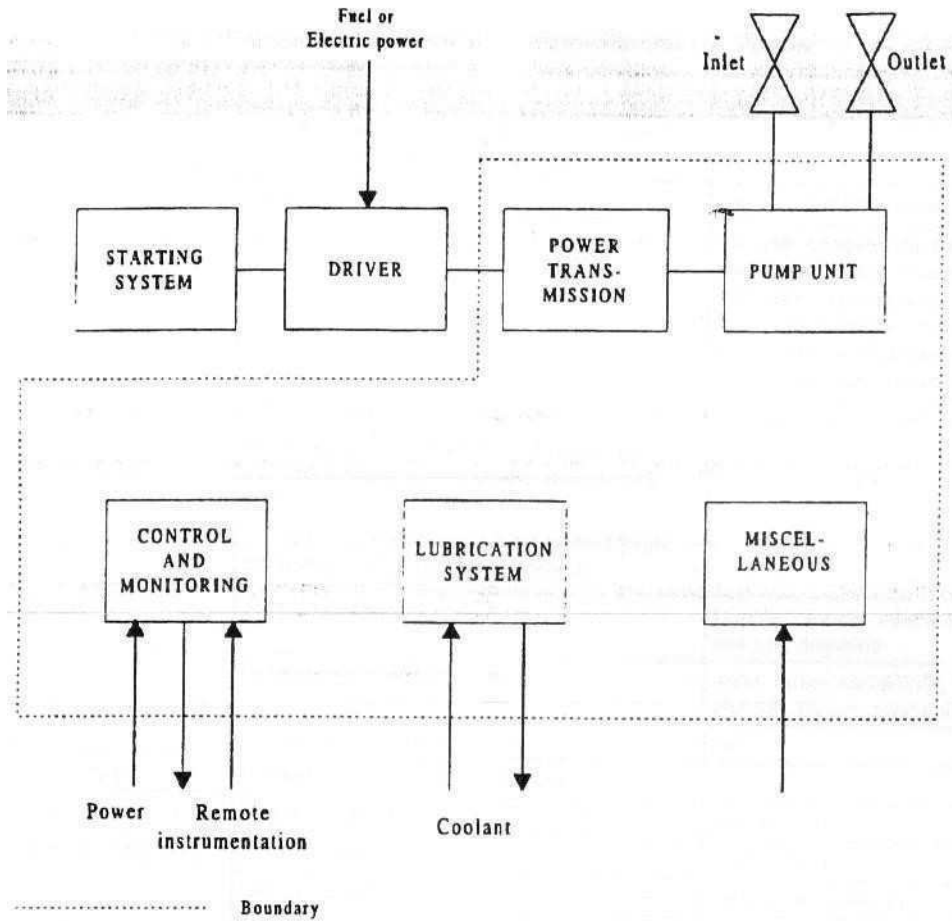


Figure A.10 — Equipment boundary — Pumps

Tabla A.40 – Datos específicos de la unidad de equipo – Bombas

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Accionador correspondiente (*)	Especifique el número de identificación cuando sea necesario. Es obligatorio para el uso de bombas contra incendio.	
Tipo de accionador (*)	Tipo	Motor eléctrico, de turbina, diesel, a gas
Fluido manipulado (*)	Tipo	Petróleo, gas, condensado, agua dulce, vapor, agua de mar, petróleo crudo, agua grasosa, gas de quema, gas combustible, agua/glicol, metanol, nitrógeno, químicos, mezcla con hidrocarburo, gas/petróleo, gas/condensado, petróleo/agua, gas/petróleo/agua
Corrosivo/erosivo de fluidos (*)	Benigno (fluidos limpios, por ejemplo, aire, agua, nitrógeno) Moderadamente corrosivo/erosivo (petróleo/gas no definido como severo, agua de mar, ocasionalmente, partículas) Severamente corrosivo/erosivo [gas/petróleo sulfuroso (H ₂ S alto), CO ₂ alto, alto contenido de arena]	Benigno, moderado, severo
Aplicación – bomba (*)	Lugar donde se aplica	Elevador de potencia, suministro, inyección, transferencia, elevación, dosificación, dispersa
Diseño de bomba	Característica del diseño	Axial, radial, compuesto, diafragma, pulsador, pistón, tornillo, paleta, engranaje, lóbulo
Energía – diseño (*)	Diseño/energía nominal de bomba	kW
Utilización de la capacidad (*)	Operación normal/capacidad del diseño	%
Presión de succión – diseño (*)	Presión del diseño	Pascal (bar)
Presión de descarga – diseño (*)	Presión del diseño	Pascal (bar)
Velocidad	Velocidad del diseño	r/min o golpes/minuto
Número de fases	Centrífugo Número de propulsores (en todas las fases) Recíproco Número de cilindros Rotatorio Número de rotores	Numérico
Tipo de estructura	Barril, cámara partida, etc.	Barril, cámara partida, cámara axial, cartucho
Orientación del eje		Horizontal, vertical
Sello de ejes	Tipo	Mecánico, sello de aceite, gas seco, empaquetado, casquillo, sello seco, laberinto, combinado
Tipo de transmisión	Tipo	Directo, engranaje, integral
Acoplamiento	Acoplamiento	Fijo, flexible, hidráulico, magnético, desacoplado
Medio ambiente (*)	Sumergido o coladura en seco	
Refrigeración de la bomba	Especifique si se ha instalado un sistema de refrigeración independiente	Si/no
Cojinete radial Cojinete de empuje	Tipo Especifique en la celda de comentarios si el regulador de la presión de empuje está instalado	Antifricción, chumacera, magnético
Soporte del cojinete	Tipo	Suspendido entre cojinetes, caja de bomba, mango hendido
(*) Indica información de alta prioridad		

Tabla A.41 – Modos de avería – Bombas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Bombas	FTS	No se activan al momento de encender	Incapacidad para activar la bomba
	STP	No se detiene al momento de apagar	Incapacidad para detenerse o proceso incorrecto de interrupción
	SPS	Falsa parada	Interrupción inesperada de la bombas
	BRD	Colapso	Daños graves (incautación, roturas, explosión, etc.)
	HIO	Alta energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado
	LOO	Baja energía de salida	Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado
	ERO	Energía de salida errática	Presión/flujo oscilante o inestable
	ELP	Fuga externa - medio de procesamiento	Escape del medio de procesamiento al medio ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ejemplo, medio de elaboración en aceite lubricante
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	PDE	Desviación del parámetro	Parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea
	STD	Deficiencia estructural	Por ejemplo, roturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el funcionamiento	Partes sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especifique en la celda de comentarios.
UNK	Desconocido	Información inadecuada/no disponible	

A.2.11 Turboexpansores

Tabla A.42 – Clasificación taxonómica – Turboexpansores

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Turboexpansor	TE	Centrífugo	CE	Procesamiento de gas	GP
		Axial	AX	Tratamiento de gas	EG GT
				Generación de electricidad	

NOTA: en la tabla A.42, las columnas "Tipo" y "Aplicación" muestran ejemplos típicos que se encuentran en las industrias de gas natural y petróleo. Esta relación de ejemplos no debe considerarse exhaustiva.

Tabla A.43 – Subdivisión de la unidad de equipo – Turboexpansores

Unidad de equipo	Turboexpansor					
Partes mantenibles	Turbina expansora	Control monitoreo	y	Sistema de lubricación	Sistema de sello de eje	Misceláneo
	Rotor con impulsores	Control Instrumento		Reservorio Bomba con motor	Equipo de gas sellador	Otros
	Paletas de entrada	actuador		Filtro	Gas sellador	
	Tubería de revestimiento	Monitoreo		Refrigerador		
	Cojinete radial	Válvulas		Válvulas		
	Cojinete de empuje	Suministro de energía interna		Tubería petróleo		
	Sellos					
	Pantalla de entrada					
	Válvulas					

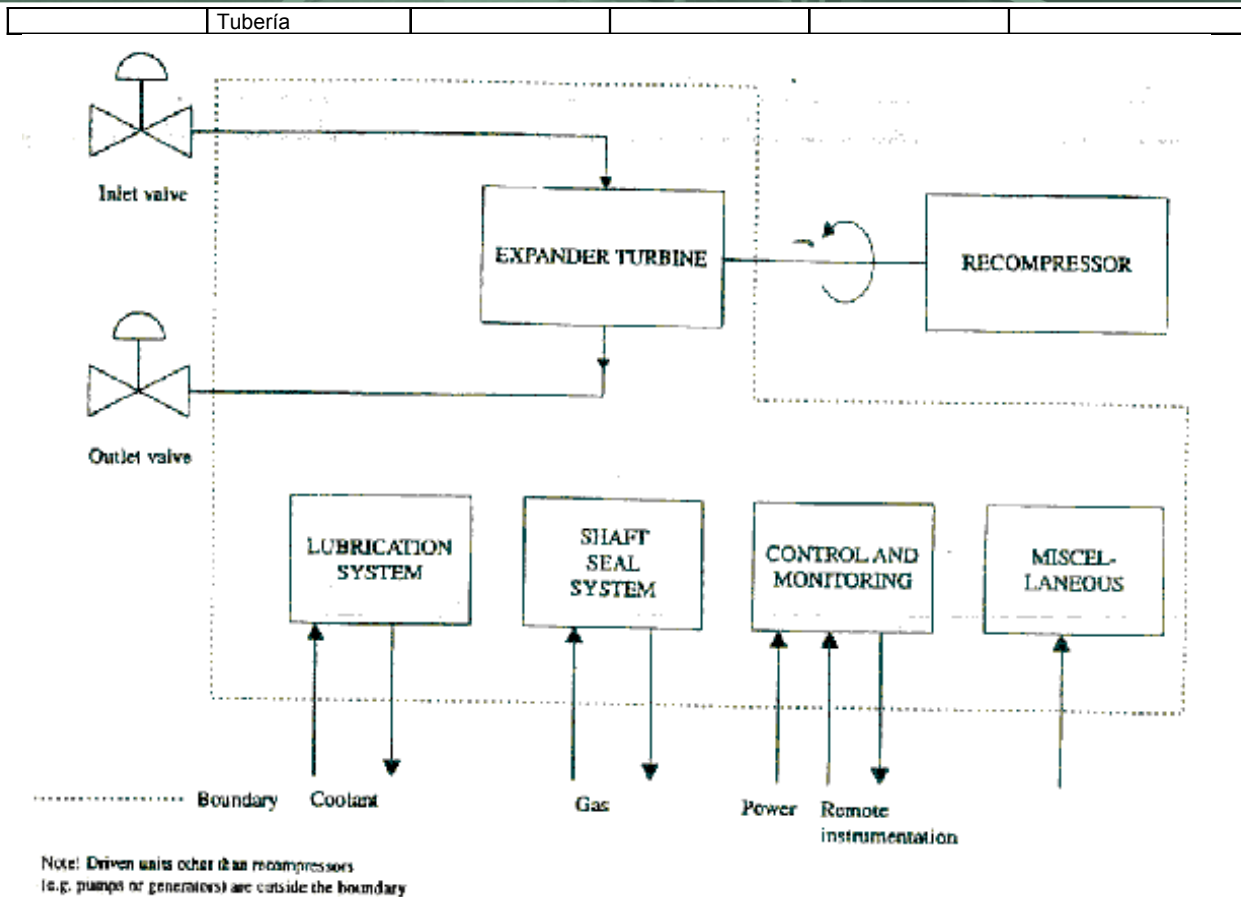


Tabla A.44 – Datos específicos de la unidad de equipo – Turboexpansores

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Aplicación del motor	Tipo de unidad accionada	Bomba, generador eléctrico, compresor
Potencia – diseño (*)	Potencia máxima de salida diseñada	kW
Potencia - operativa	Especificar la potencia aproximada en la cual la unidad ha sido operada durante la mayor parte del tiempo de vigilancia	kW
Velocidad (*)	Velocidad diseñada	r/min
Flujo de entrada (*)	Flujo diseñado de entrada, turbina	Kg/h
Temperatura de entrada (*)	Temperatura diseñada de entrada , turbina	°C
Presión de entrada (*)	Presión diseñada de entrada, turbina	Pascal (bar)
Gas manejado	Masa molar promedio (gravedad específica x 28.96)	G/mol
Gas corrosivo/erosivo	Benigno (gas limpio y seco) Moderadamente corrosivo/erosivo (algunas partículas o gotas, cierta corrosividad) Altamente corrosivo/erosivo (gas ácido, alto contenido de CO ₂ , alto contenido de partículas)	Benigno, moderado, severo
Tipo de diseño (*)	Tipo	Centrífuga, axial
Número de fases	Número de fases (en series)	Numérico
Tipo de hendidura del casing (revestimiento)	Tipo	Horizontal/vertical
Sello del eje	Tipo	Mecánico, petróleo, sello, gas seco, empaquetado, casquillo, sello seco, laberinto, combinado
Turbina de control de flujo	Tipo	Varias boquillas, válvulas para grupos de boquillas, válvula de estrangulación, entrada fija
Cojinete radial Cojinete de empuje	Tipo de cojinete Especificar en el campo para comentarios si se instaló un regulador de presión de empuje	Antifricción, magnético antifricción o chumacera

(*) Indica la información de alta prioridad

Copyright por International Organization For Standarization
Wed Jun 07 07:19:30 2000

Tabla A.45 – Modos de avería – Turboexpansores

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Turboexpansor	FTS	No arranca cuando se enciende	No se puede activar el turboexpansor
	STP	No se detiene cuando se apaga	No se puede detener, o el proceso de apagado es incorrecto
	SPS	Falsa parada	Parada inesperada del turboexpansor
	BRD	Falla	Daño serio (agarrotamiento, ruptura, explosión, etc.)
	HIO	Energía de salida alta	Demasiada velocidad/energía de salida fuera de especificación
	LOO	Energía de salida baja	Energía de salida por debajo de la especificación
	ERO	Energía de salida errática	Operación inestable/fluctuación en las rpm
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	ELP	Fuga externa – medio de elaboración	El medio de elaboración escapa al ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite lubricante/sellante/hidráulico, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Por ej. medio de elaboración en el aceite lubricante
	PDE	Desviación del parámetro	El parámetro monitoreado excede las tolerancias
	AIR	Lectura anormal de un instrumento	Por ej. falsa alarma, lectura defectuosa
	STD	Deficiencia estructural	Por ej. rupturas en el soporte o suspensión
	SER	Problemas menores durante el servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad, etc.
OTH	Otros	Especificar en campo para comentarios	
UNK	Desconocido	Información inadecuada/faltante	

A.2.12 Válvulas

Tabla A.46 – Clasificación taxonómica – Válvulas

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Válvulas	VA	Bola	BA	Procesamiento de petróleo	OP
		Compuerta	GA	Exportación de petróleo	OE
		Globo	GL	Procesamiento de gas	GP
		Tipo aleta	FL	Exportación de gas	GE
		Mariposa	BP	Tratamiento de agua aceitosa	
		Macho	PG	Inyección de gas	GI
		Orificio múltiple	MU	Inyección de agua	WI
		Aguja	NE	Inyección química	CI
		Check	CH	Tratamiento NGL	NT
		Diafragma	DI	Tratamiento LPG	LT
		Corredera	SL	Agua de enfriamiento	CW
		Disco excéntrico	ED	Vapor	ST
		Triple	WA		
		Convencional PSV	SC		
		Convencional PSV con fuelle	SB		
		PSV operada con piloto	SP		
		PSV con alivio de vacío	SV		
Intermitente	SH				

NOTA: En la Tabla A.46, las listas bajo las columnas tituladas “Tipo” y “Aplicación” son ejemplos típicos que pueden encontrarse en las industrias del petróleo y el gas natural. Estas no deben ser consideradas como listas detalladas.

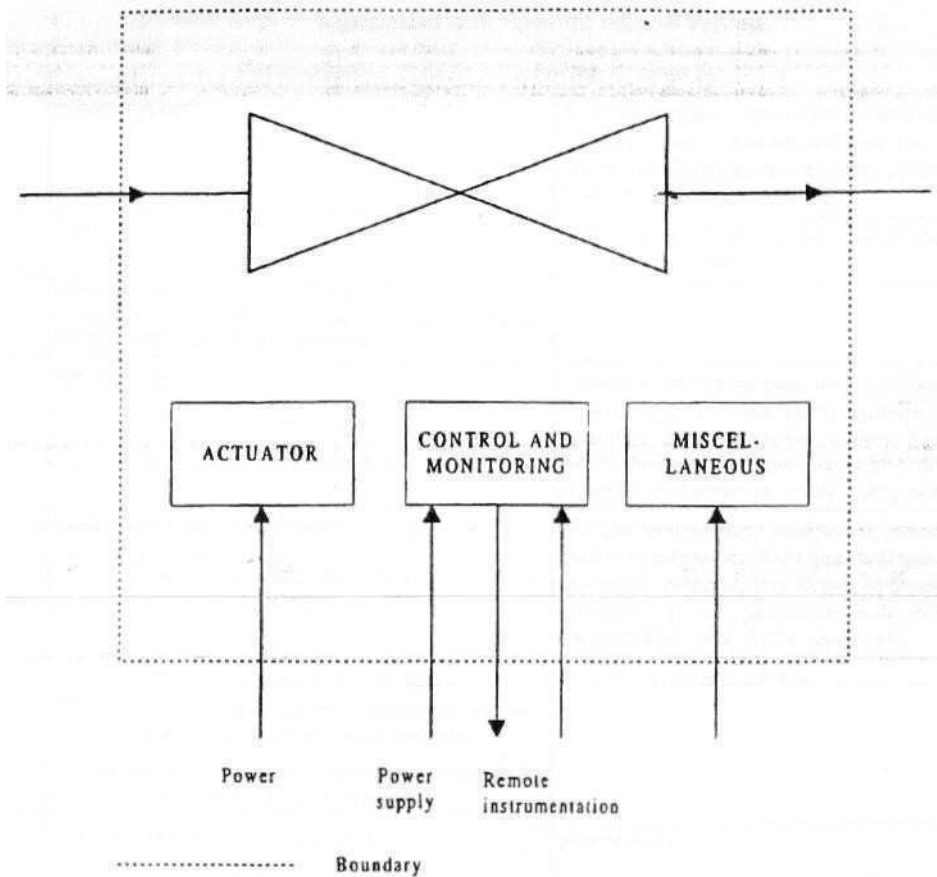


Figure A.12 — Equipment boundary — Valves

Tabla A.47 – Subdivisión de unidades de equipo – Válvulas

Unidad de equipo	Válvulas			
Subunidad	Válvulas	Actuador	Control y monitoreo	Varios
Partes mantenibles	Cuerpo de válvula Casquete Anillos del asiento Empaque Sellos Miembro de cierre	Diafragma Resorte Caja Pistón Vástago Indicador Sellos/Empaqueta- duras Válvula piloto ^a Posicionador Motor eléctrico ^b Engranaje Solenoides	Control Dispositivo actuador Monitoreo Válvulas Suministro de energía interna	Uniones de brida Otros
^a Aplicable a las válvulas hidráulicas/con actuador neumático				
^b Sólo con actuador de motor eléctrico				

Tabla A.48 – Datos específicos de la unidad de equipo – Válvulas

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Aplicación (*)	Donde se aplique	Apagado, control del proceso, cierre de emergencia/cierre de proceso, detección de incendios y gas, verificación, retención, alivio, reducción de presión, by-pass, evacuación de agua, monitoreo, combinado.
Actuación (*)	Tipo	Motor, hidráulico, neumático, auto-actuado, auto-actuado/piloto, manual
Configuración de la válvula piloto	Especificar: por ej. 1x3/2 (=una sola válvula piloto 3/2), 2x 4/3 (= dos válvulas piloto 4/3). Sólo aplicable a las válvulas piloto/mandado por solenoide	
Ubicación en la instalación (*)	Donde esté instalado	Cabeza de pozo, árbol de navidad, línea de flujo en cabeza de pozo, línea de inyección en la cabeza de pozo, bomba, turbina, generador, separador, intercambiador de calor, recipiente, cabezal, motor eléctrico, motor diesel, turboexpansor, perforación, tubería, procesamiento de lodo, servicios, vivienda, toma de aire
Fluido manejado (*)	Sólo fluido principal	Petróleo, gas, condensado, agua dulce, vapor, agua de mar, petróleo crudo, agua aceitosa, gas de quema, gas combustible, agua/glicol, metanol, nitrógeno, químicos, combinado de hidrocarburos, gas/petróleo, gas/condensado, petróleo/agua, gas/petróleo/agua, NGL, LPG, lechada, etc.
Fluido corrosivo/erosivo (*)	Benigno (fluidos limpios, por ej. aire, agua, nitrógeno) Moderadamente corrosivo/erosivo (petróleo/gas no definido como severo, agua de mar, ocasionalmente partículas) Severamente corrosivo/erosivo (gas /petróleo agrio (alto contenido de H ₂ S), alto contenido de CO ₂ , alto contenido de arena)	Benigno, moderado, severo
Presión de flujo (*)	Presión normal de operación (toma)	Pascal (bar)
Presión de cierre	Presión diferencial máxima al momento de cierre de la válvula (diseño) Para válvulas con alivio de presión de seguridad: establecer presión de apertura	Pascal (bar)
Temperatura de fluidos		°C
Tamaño (*)	Diámetro interno	Mm
Tipo de extremo de válvula	Especificar	Soldada, bridada
Sello del vástago	Especificar	
(*) Indica la información de alta prioridad.		

Tabla A.49 – Modos de avería – Válvulas

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Válvulas	FTC	No cierra cuando se da la orden	Se atasca abierta o no cierra completamente
	FTO	No abre cuando se da la orden	Se atasca cerrada o no abre completamente
	FTR	No regula	Válvula "atascada", sólo para válvulas de control
	OWD	Funciona sin activarla	Cierre/apertura no deseados
	DOP	Operación retardada	Tiempo de apertura/cierre diferente al de la especificación
	HIO	Energía de salida alta	Regulación defectuosa, sólo para válvulas de control
	LOO	Energía de salida baja	Regulación defectuosa, sólo para válvulas de control
	ELP	Fuga externa – medio de elaboración	El medio de elaboración escapa al ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Fluido de actuación, lubricación, etc.
	INL	Fuga interna	Fuga interna del fluido de actuación, o comunicación válvula-actuador
	LCP	Fuga en la posición cerrada	Fuga en la válvula en posición cerrada
	PLU	Atascado/estrangulado	Restricción parcial o total del flujo
		STD	Deficiencia estructural
	AIR	Lectura anormal de los instrumentos	Por ej. indicación de posición defectuosa
	SER	Problemas menores durante el servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especificar en el campo para comentarios
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/faltante

A.2.13 Contenedores

Tabla A.50 – Clasificación taxonómica – Contenedores

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Contenedores	VE	Extractor	SP	Procesamiento de petróleo	OP
		Separador	SE	Tratamiento de agua aceitosa	OW
		Conglutinador	CA	Procesamiento de gas	GP
		Cámara de destilación	FD	Tratamiento de gas	GT
		Depurador	SB	Exportación de gas	GE
		Contactador	CO	Quema, desfogue, purgación	FL
		Tanque de compensación	SD	Tratamiento NGL	NT

Copyright por International Organization For Standardization
Wed Jun 07 07:19:30 2000

		Hidrociclón	HY	Tratamiento LPG Almacenamiento químico	LT CS
--	--	-------------	----	---	----------

NOTA: En la Tabla A.50, las listas bajo las columnas tituladas “Tipo” y “Aplicación” son ejemplos típicos que pueden encontrarse en las industrias del petróleo y el gas natural. Estas no deben ser consideradas como listas detalladas.

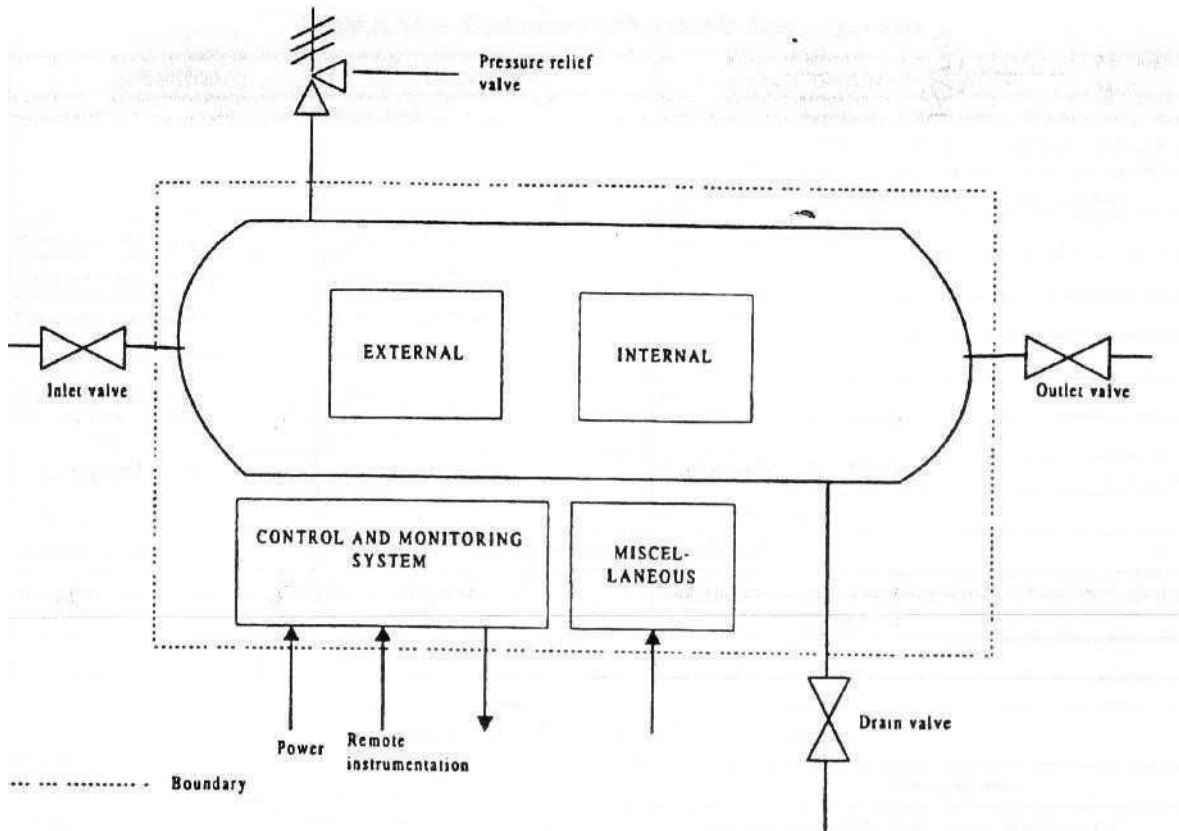


Figure A.13 — Equipment boundary — Vessels

Tabla A.51 – Subdivisión de unidades de equipo – Contenedores

Unidad de equipo	Contenedores			
	Aparatos externos	Aparatos internos	Control y monitoreo	Varios
Subunidad	Soporte	Cuerpo/Casco	Control	Otros
Partes mantenibles	Cuerpo/Casco	Placas, bandejas, paletas, cojines	Dispositivo de actuación	
	Válvulas	Sistema de trampa de arenas	Monitoreo	
	Tubería	Calentador	Válvulas	
		Protección contra corrosión	Suministro de energía interna	
		Distribuidor		
		Bobina		

Tabla A.52 – Datos específicos de la unidad de equipo – Contenedores

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Fluidos (*)	Fluido principal	Petróleo, gas, condensado, agua fresca, vapor, agua de mar, petróleo crudo, agua aceitosa, gas de quema, gas combustible, agua/glicol, metanol, nitrógeno, químicos, combinado de hidrocarburos, gas/petróleo, gas/condensado, petróleo/agua, gas/petróleo/agua
Presión – diseño (*)	Presión diseñada	Pascal (bar)
Temperatura – diseño (*)	Temperatura diseñada	°C
Presión – operaciones (*)	Presión operativa	Pascal (bar)
Temperatura - operaciones	Temperatura operativa	°C
Tamaño - diámetro	Externo	Mm
Tamaño – longitud (*)	Externo	Mm
Material del cuerpo	Especificar tipo o código	Texto libre
Orientación		Horizontal/vertical
Número de ramas	Sólo conexiones presurizadas	Número
Internos	Principio de diseño	Deflectores, bandejas, placa en cuadrícula, extractor de neblina, bobina térmica, desviador, desarenador, combinado

(*) Indica la información de alta prioridad

Tabla A.53 – Modos de avería – Contenedores

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Contenedores	ELP	Fuga externa – medio de elaboración	Fuga del fluido primario al ambiente
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Fuga del fluido secundario al ambiente
	PLU	Atascado/estrangulado	Restricción parcial o total del flujo
	PDE	Desviación del parámetro	El parámetro monitoreado excede las tolerancias
	AIR	Lectura anormal del instrumento	Por ej. falsa alarma, lectura defectuosa
	STD	Deficiencia estructural	Menor resistencia debido a impacto, corrosión inaceptable, grietas, etc.
	SER	Problemas menores durante el servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Especificar en campo para comentarios
	UNK	Desconocido	Información inadecuada/faltante

A.3 Equipos submarinos

A.3.1 Cabeza de pozo y árboles de navidad

Tabla A.54 – Clasificación taxonómica – Cabeza de pozo y árboles de navidad

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Cabeza de pozo y árboles de navidad	WC	Arbol convencional	CT	Pozo de inyección	Inyección
		Arbol horizontal	HZ	Pozo de producción	Producción

NOTA: En el Tabla A.54, las listas bajo las columnas tituladas “Tipo” y “Aplicación” son ejemplos típicos que pueden encontrarse en las industrias del petróleo y el gas natural. Estas no deben ser consideradas como listas detalladas.

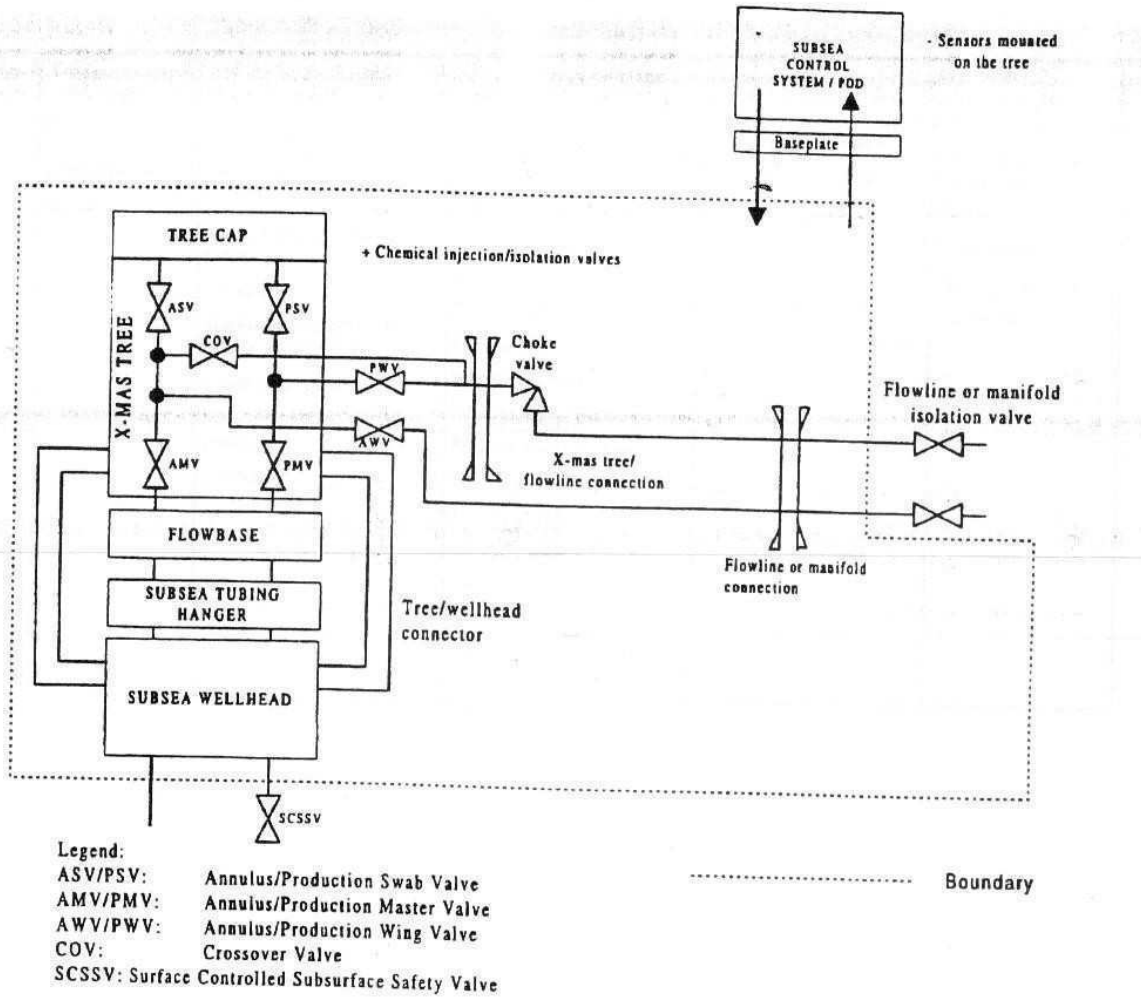


Figure A.14 — Equipment boundary — Wellhead and Xmas trees



Tabla A.55 – Subdivisión de unidades de equipos – Cabezas de pozo y árboles de navidad

Unidad de equipo	Cabezas de pozo y árboles de navidad			
Subunidad	Cabeza de pozo submarina	Arbol de navidad submarino	Suspensores del <i>tubing</i>	Base de flujo
Partes mantenibles	Base guía permanente (PGB)	Carrete de flujo	Cuerpo de los suspensores del <i>tubing</i>	Carrete de flujo
	Base guía temporal (TGB)	Tubería (tubería dura)	Acople de inyección química	Marco
	Carcasa del conductor	Mangueras (tubería flexible)	Acoplador de hidratos	Campana/mandril
	Carcasa de la cabeza de pozo (carcasa de alta presión)	Tapa de residuos	Acoplador de energía/señales	Suspensores del <i>casing</i>
	Suspensores del <i>casing</i>	Conector	Tapón de aislamiento de los suspensores del <i>tubing</i>	Conector
	Ensamblajes del sello del espacio anular (<i>packoffs</i>) Desconocido	Tapa de aislamiento interno Válvula de la tapa del árbol interno Tapón de la tapa del árbol interno Tapa del árbol Válvula, retención Válvula, estrangulador Válvula, control Válvula, otros Válvula, aislamiento de proceso Válvula, aislamiento de servicio		

Tabla A.56 – Datos específicos de la unidad de equipo – Cabeza de pozo y árboles de navidad

Nombre	Descripción	Lista de unidad o código
N° de identificación de pozo (*)	Descripción del operador	
Disposición de la instalación (*)	Definir la disposición de pozos	Satélite sencillo, <i>cluster</i> , plantilla distribuidora de múltiples pozos, otros
Guía de instalación/recuperación (*)	Líneas guía/Sin líneas guía	Líneas guía, sin líneas guía
Estrategia de intervención	Intervenciones con ayuda de buzos/sin ayuda de buzos	Con ayuda de buzos, sin buzos
Tipo de protección (*)	"Overtrawable", pesca de arrastre, etc.	Pesca de arrastre, desviación por arrastre, ninguno
Profundidad del agua (*)		M
Presión diseñada del árbol de navidad (*)	Especificar la presión diseñada del árbol de navidad	Pascal (bar)
Temperatura diseñada del árbol de navidad (*)	Especificar la temperatura diseñada del árbol de navidad	°C
Diámetro interior de producción del árbol de navidad	Especificar el diámetro interior de producción	Mm
Diámetro interior del espacio anular del árbol de navidad	Especificar el diámetro interior del espacio anular	Mm
Presión diseñada de la cabeza de pozo (*)	Especificar la presión diseñada de la cabeza del pozo	Pascal (bar)
Temperatura de diseño de la cabeza de pozo (*)	Especificar la temperatura diseñada de la cabeza del pozo	°C
Tamaño de la cabeza de pozo (*)	Especificar	Mm
Sistema de suspensión en el fondo marino	Definir si existe un sistema de suspensión para el fondo marino	Si, no
Pozo multilateral	Definir	Si, no
Fluido producido/inyectado (*)	Sólo fluido principal: petróleo, gas, condensado, agua de inyección	Petróleo, gas, condensado, agua de inyección, petróleo y gas, gas y condensado, petróleo/gas/agua, CO ₂ , gas y agua, agua producida
Corrosividad del fluido (*)	Neutral – fluidos limpios sin efectos corrosivos Dulce – moderadamente corrosivo/erosivo (petróleo/gas no definido como severo, agua cruda de mar, partículas ocasionales) Acido – severamente corrosivo/erosivo [gas/petróleo agrio (alto contenido de H ₂ S), alto contenido de CO ₂ , y de arena]	Neutral, dulce, agrio
Asfaltenos		Si, no
Formación de incrustaciones		Si, no
Formación de ceras		Si, no
Formación de hidratos		Si, no
Producción de arena		Si, no

(*) Indica la información de alta prioridad

Tabla A.57 – Modos de avería – Cabezas de pozo y árboles de Navidad

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Cabeza de pozo y árboles de Navidad	ELP	Fuga externa –medio de elaboración	Medio de elaboración fuga hacia el mar
	ELU	Fuga externa del medio de servicio	Fluido hidráulico, metanol, etc.
	INL	Fuga interna – medio de elaboración	Por ej. comunicación entre el espacio anular y el diámetro interno de producción
	LCP	Fuga interna – medio de servicio	Por ej. fuga interna del fluido hidráulico o químicos
	PLU	Atascado/estrangulado	Restricción parcial o total del flujo debido a hidratos, costra, ceras, etc.
	STD	Deficiencia estructural	Menor integridad debido a impacto, corrosión inaceptable, grietas, etc.
	OTH	Otros	Especificar en el campo para comentarios
	UNK NON	Desconocido Sin efecto inmediato	Información inadecuada/faltante

Los modos de avería deben ser especificados en los tres niveles en la jerarquía de equipos, de modo que la información sea más útil al momento de aplicarla más adelante. Los modos de avería en la Tabla A.57 se relacionan con el nivel del equipo, es decir, cabeza de pozo y árbol de Navidad.

A.4 Equipo de completación de pozos

A.4.1 Datos del equipo

A.4.1.1 Categorías de aparatos

El equipo de completación de pozos, en este contexto, se refiere a aquel equipo ubicado por debajo de la cabeza de pozo. Se incluyen todos los aparatos de completación de pozos más importantes, desde el suspensor del *tubing* en el extremo superior hasta el equipo ubicado en la parte inferior del pozo.

Las siguientes categorías de aparatos se definen como equipo de completación de pozos:

a) Aparatos en sarta

Los aparatos en sarta se definen como aquellos que son parte integral del conducto (“sarta”) utilizado para la producción o inyección de efluentes del pozo. La sarta se construye al ensamblar varios aparatos del equipo.

b) Accesorios

Los accesorios son aquellos aparatos que deben estar unidos a un aparato “huésped” de la sarta a fin de definir un sistema. Esto se hace para poder representar de manera lógica a aquellos aparatos de la sarta que son demasiado complejos como para ser aparatos independientes de una sarta. Hasta el momento, sólo se han definido dos aparatos de sarta “huésped” o *sarta con accesorios*. Estos son los sistemas de bombas electrosumergibles (ESP) y de calibrador permanente pozo abajo (DHPG).

c) Aparatos insertados

Los aparatos insertados se definen como aquellos que pueden ser pegados (colocados) dentro de los aparatos en sarta. Un ejemplo típico es la combinación de una válvula de seguridad con seguro recuperable por cable de acero colocada dentro de un niple de la válvula de seguridad.

d) Línea/cable guía

La categoría de línea/cable guía permite que la información sea almacenada para las líneas y cables de control, y para varias otras partes que normalmente están asociadas con las líneas o cables guía. Ejemplos de dichas partes son los penetradores del *packer*, conectores eléctricos para los calibradores, conectores eléctricos de la cabeza de pozo, etc. Esta categoría de la oportunidad de construir “sistemas” de líneas/cables de control que consistan de la línea o cable de control hidráulico misma y todas sus partes asociadas.

Copyright por International Organization For Standardization

Wed Jun 07 07:19:30 2000

En el momento en que el sistema haya sido unido a un aparato específico de la sarta en una completación, se podrá realizar una análisis de confiabilidad para el sistema de la línea de control.

Cada línea/cable de control deberá siempre estar conectado a uno o más aparatos de la sarta.

e) *Casing* (tubería de revestimiento)

La categoría de *casing* se incluye para almacenar información en cada sección individual de sarta de *casings* y averías asociadas al mismo. La categoría de *casing* representa las longitudes totales de las secciones individuales de *casings* y no representa los aparatos individuales ensartados al mismo, como sí se hace en la sarta de producción/inyección.

No se incluyen aquellos elementos sellantes que están diseñados para sellar contra cualquier fuga de hidrocarburos entre diversas secciones de la sarta del *casing* (tapones o *pack-offs* del *casing*).

A.4.1.2 Especificaciones del equipo estándar

Tabla A.58 – Formato de la base de datos de aparatos y especificación del nombre

Categoría del aparato	Formato de recolección de datos	Nombre predefinido del aparato		
Aparato de la sarta	Válvula de seguridad del espacio anular	Válvula de seguridad de subsuperficie del espacio anular recuperable a través del <i>tubing</i> , controlada en superficie (TR-SCASSV)		
	Por defecto	Unión ajustable		
		Niple de asiento		
		<i>Millout extension</i>		
		Pata de mula		
		Niple para SCSSV con cable de acero		
		Malla con empaque de grava		
		Unión perforada del tubo corto		
		Unión del tubo corto		
		Manga corrediza		
		Ancla del <i>tubing</i>		
		Guía de re-entrada por cable de acero		
		Sistema de bombas electrosomergibles con accesorios	Unidad de bomba electrosomergible (recta)	
			Unidad de bomba electrosomergible (herramienta en Y)	
	Unión de expansión	Unión de expansión		
	Cople para flujo	Cople para flujo		
	Mandril calibrador con accesorios	Mandril calibrador permanente		
	Tipo de packer	Packer de producción		
		Packer/suspensor pozo abajo		
	Ensamblaje del sello	Ensamblaje del sello (convencional)		
		Ensamblaje del sello (excesiva)		
	Mandril del bolsillo lateral	Mandril del bolsillo lateral (para válvula)		
	Tipo de espaciador	Espaciador		
	Tipo de <i>tubing</i>	<i>Tubing</i>		
	Válvula de seguridad del <i>tubing</i>	Válvula de seguridad subsuperficial recuperable a través del <i>tubing</i> , controlada en superficie (TR-SCSSV)(bola)		
		Válvula de seguridad subsuperficial recuperable con <i>tubing</i> , controlada en superficie (TR-SCSSV) (aleta)		
	X-over (Curva de paso)	X-over (Curva de paso)		
Bloque en Y	Bloque en Y			

Tabla A.58 – Formato de la base de datos de aparatos y especificación del nombre

Accesorios	Por defecto	No hay ninguno definido	
	Calibrador pozo abajo	Calibrador permanente	
	Sección de la toma	Sección de la toma	
	Motor	Extensión plomada del motor	
	Sistema sellante del motor	Sistema sellante del motor	
	Bomba	Bomba con empuje eléctrico	
Aparato insertado	Válvula de seguridad del espacio anular	Válvula de seguridad subsuperficial controlada en superficie con cable de acero (SCSSV)	
	Por defecto	"Brain" (resguardo lateral) Seguro para la válvula de seguridad subsuperficial del espacio anular controlada en superficie (SCASSV)	
	Válvula de elevación por presión de gas	Válvula de elevación por presión de gas Válvula de inyección química	
	Válvula de seguridad	SCSSV con cable de acero	
Línea/cable de control	Por defecto	No definido	
	Conector eléctrico, calibrador	Calibrador pozo abajo del conector eléctrico	
	Conector eléctrico, suspensor	Suspensor del <i>tubing</i> del conector eléctrico	
	Línea hidráulica	Línea hidráulica de control	
	Penetrador		Penetrador de cabeza de pozo
			Penetrador del suspensor
			Penetrador del <i>packer</i>
	Cable de energía	Cable de energía	
Cable de señal	Cable de señal/instrumentos		
Controlador de superficie	Controlador de superficie		
<i>Casing</i>			

Un ejemplo del formato de recopilación de datos con definiciones asociadas en los campos de información y alternativas de registro se muestra en la Tabla A.59 acerca de un *tubing*.

Tabla A. 59 – Formato de recolección de datos para un ejemplo de aparato en sarta – Tubing

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Fabricante (*)	Lista genérica de códigos del fabricante del <i>tubing</i> aplicada	
Modelo	Designación del modelo o número de parte	
Longitud efectiva	Longitud real del <i>tubing</i> cuando está integrado en la sarta de completación	M
Tamaño nominal	Tamaño nominal del <i>tubing</i>	M
Diámetro externo máximo	Diámetro externo máximo del tubo, no de la unión	M
Diámetro interno mínimo	Diámetro interno mínimo del tubo, no de la unión	M
Material (*)	Material del <i>tubing</i> en la sección del tubo	Texto libre
Tipo de unión (*)		Texto libre
Tipo de conexión (*)		Texto libre
Calidad	Resistencia a punto cedente y tipo del material	
Masa nominal	Masa por longitud unitaria	Kg/m
Revestimiento plástico (*)	Indicar si el <i>tubing</i> tiene un revestimiento interno de plástico o no	Con revestimiento plástico Sin revestimiento plástico
Material del revestimiento(*)		Texto libre
Observaciones	Información adicional que se considere relevante	

NOTA Los campos de información marcados con un asterisco (*) son campos alternativos codificados.

A.4.2 Información de averías

El formato de reporte de averías para un aparato que forme parte del equipo de completación de pozos se muestra en la Tabla A.60. El formato de reporte de averías es virtualmente idéntico para todas las categorías de aparatos. En el caso de líneas/cables de control y aparatos en sarta con accesorios, se deberá citar las partes averiadas o accesorios averiados, según corresponda.

Generalmente, los campos *Fecha de acciones de saneamiento* y *Detalles de acciones de saneamiento* se dejan en blanco cuando se reporta una avería, a menos que se disponga de la información acerca de la acción de saneamiento al momento de reportar la avería. Es importante llenar estos campos cuando se realiza una reparación pozo abajo de manera satisfactoria, ya que esto influenciará los cálculos de confiabilidad.

Para aquellos aparatos en sarta con accesorios se debe observar que una sola avería de la sarta huésped podría implicar la avería de más de un componente; es decir, una avería del sistema de bombas electrosumergibles (ESP) podría ser causado por la avería de un penetrador y del cable de energía.

La avería de la línea/cable de control se podría especificar independientemente del/de los aparato(s) conectado(s).

NOTA: si la avería en la línea/cable de control causa una falla de tipo “*knock-on*” (golpeteo) de un aparato de sarta convencional o un aparato insertado, se debe almacenar adicionalmente un registro de averías para este aparato. Cuando se reporta la avería del aparato mismo, se debe hacer referencia de la avería de la línea de control en el campo para averías del(los) aparatos (s) servido(s) por la línea/cable de control.

Tabla A.60 – Reporte de información sobre averías – Equipo de completación de pozos

Información	Descripción	Códigos/comentarios
Modo de avería	Modo de avería específica al aparato según la definición previa (Ref. ejemplo <i>tubing</i> , siguiente columna)	<i>Tubing</i> quemado <i>Tubing</i> colapsado Restricción en el <i>tubing</i> <i>Tubing</i> roto/fraccionado Fuga de <i>tubing</i> Otros
Efecto de avería	Efecto directo observado de la avería en la seguridad y/o producción	Producción afectada Seguridad afectada Seguridad y producción afectadas Retraso operativo Sin efecto inmediato en seguridad/producción
Fecha de avería	Fecha de detección de la avería del equipo	
Clase de avería		Avería relacionada al aparato Avería no relacionada al aparato Otros
Método de detección de averías		Pruebas periódicas Pruebas antes de intervención en pozo Interferencia en producción
Causa de la avería	Utilizada para especificar detalles acerca de las causas subyacentes o directas de la avería	Información con texto libre
Acción de saneamiento		Aparato reemplazado por operación con cable de acero Aparato reemplazado por <i>work-over</i> completo Aparato reemplazado por <i>work-over</i> parcial Aparato abierto y se insertó aparato Aparato reparado por manipulación de presión Aparato reparado a través del <i>tubing</i> No se planearon/realizaron acciones de saneamiento Aparato aún yace pozo abajo averiado
Fecha de acción de saneamiento	Utilizada para identificar la fecha en que se realizó la acción de saneamiento <i>pozo abajo</i>	
Detalles de acción de saneamiento		Información con texto libre
Partes de la línea/cable de control averiada	Sólo aplicable al momento de reportar averías en la línea/cable de control. Una o más partes podrían haber causado las averías individuales de la línea o cable de control	
Accesorios averiados	Sólo aplicable a los aparatos en sarta con accesorios	

A.4.3 Información ambiental

La información ambiental que debe ser recolectada para el equipo de completación de pozos se enumera en la Tabla A.61. La información es específica a cada pozo, y dará una referencia general del ambiente de funcionamiento para todo el equipo en el pozo. La información ambiental de pozos se recopila periódicamente y se ofrece como promedios mensuales.

Tabla A.61 - Información ambiental – Promedio mensual

Información	Descripción	Lista de unidades o códigos
Año		
Mes		
Presión de cabeza de pozo	Presión de flujo en cabeza de pozo	Pascal (bar)
Temperatura de cabeza de pozo	Temperatura en cabeza de pozo bajo condiciones de flujo	°C
Flujo diario, gas	Flujo representativo diario de gas	SCM/día
Flujo diario, petróleo	Flujo representativo diario de petróleo	SCM/día
Flujo diario, condensado	Flujo representativo diario de condensado	SCM/día
Flujo diario, agua	Flujo representativo diario de agua	SCM/día
Concentración de H ₂ S	Concentración representativa diaria de H ₂ S	Cantidad x 10 ⁻⁶ (ppm) o mol %
Concentración de CO ₂	Concentración representativa diaria de CO ₂	Cantidad x 10 ⁻⁶ (ppm) o mol %
Observaciones	Información adicional sobre la información que se considera relevante	

A.4.4 Datos de mantenimiento

El equipo de completación de pozos instalado de manera permanente normalmente se deja en operación hasta que falle. Se podría realizar un reemplazo preventivo de algunas partes de la sarta, tales como las válvulas de seguridad subsuperficiales controladas en superficie, recuperadas mediante cable de acero (SCSSV).

En algunas ocasiones, algunos aparatos podrían repararse pozo abajo. Esto generalmente podría ser el caso de las válvulas de seguridad subsuperficiales controladas en superficie, recuperables a través del *tubing* o *casing* (SCSSV).

De realizarse una acción de reparación pozo abajo para restaurar el funcionamiento de una parte, esto puede reportarse identificando el registro de averías de la parte que se averió inicialmente. Dependiendo de esta categoría, el registro de averías de aparatos o partes puede ser llenado como se describió anteriormente. La acción de reparación pozo abajo se reporta mediante el cambio del código de la acción de saneamiento y la fecha de la acción de saneamiento. De ocurrir una avería de la misma parte en otra fase, se deberá llenar un nuevo registro de averías tal como se describió previamente.

Se debe recopilar información sobre las pruebas realizadas pozo abajo a las válvulas, ya que esto proporciona información valiosa con respecto a la interpretación de futuras tendencias pozo abajo.

A.4.5 Comentarios sobre términos, definiciones y abreviaturas

Los siguientes comentarios a los Términos, definiciones y abreviaturas (cláusula 3) son aplicables al equipo de completación de pozos:

A.4.5.1 Avería crítica (3.14): avería que causa pérdida de la función protectora del equipo de completación de pozos, es decir, aquel equipo que no puede mantener su capacidad de contener los hidrocarburos dentro de los criterios de aceptación predefinidos y, por ende, requiere una acción correctiva. La definición de avería crítica se puede inferir según los criterios de aceptación establecidos ya sea en las normas relevantes (ISO/API) o en concordancia con los criterios de aceptación propios del usuario del equipo. En caso que el usuario del equipo aplique sus propios criterios de aceptación, esto debe ser claramente señalado al momento de reportar las averías críticas.

A.4.5.2 Avería no crítica (3.1.22): las otras averías del equipo de completación que no caigan dentro de la categoría de "críticas" según la definición anterior:

En la Tabla A.62, se indica la relación entre las averías críticas/no críticas y los modos de averías, usando las válvulas TR-SCSSV como un ejemplo. En general, la relación entre el efecto de la avería (ver Tabla A.62) y las averías críticas/no críticas para el equipo de completación de pozos es que las averías que se encuentran dentro del código "afectan la seguridad" o "afectan la producción y seguridad" son críticas, mientras que las restantes no son críticas.

Tabla A. 62 – Averías críticas y no críticas – Ejemplo de la válvula de seguridad subsuperficial controlada en superficie, recuperable a través del *tubing* (TR-SCSSV)

Tipo de avería	Modo de avería
Avería crítica	No cierra cuando se da la orden (FTC)
	Fuga en posición cerrada (LCP)
	Comunicación desde el pozo hacia la línea de control (WCL)
Avería no crítica	Cierre prematuro (PCL)
	No abre cuando se da la orden (FTO)
	Comunicación desde el pozo hacia la línea de control (WCL)

A.4.5.3 Clase de equipo: el término correspondiente aplicado para el equipo de completación de pozos es “categoría de aparato”, ref. A.4.1.1

A.4.5.4 Tiempo de operación: el término equivalente utilizado para el equipo para completación de pozos es “tiempo de funcionamiento”. Este término es utilizado actualmente para los sistemas de Bombas Electrosumergibles (ESP) y denota el tiempo durante el cual el equipo ha estado en operación activa, impulsado por una fuente de energía externa.

A.5 Equipo de perforación

A.5.1 Acoplamientos superiores (*Top drives*)

A.5.1.1 Clasificación taxonómica

Tabla A. 63 - Clasificación taxonómica – Acoplamiento superior

Clase de equipo		Tipo		Aplicación	
Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción	Código
Equipo de perforación	DE	Impulsado hidráulicamente	HD	Perforación de exploración	DE
		Impulsado eléctricamente	ED	Perforación de producción <i>Work-over</i>	DP DW

A.5.1.2 Definición del límite

El acoplamiento superior (comúnmente conocido también como eslabón giratorio mecánico) es una pieza del equipo que desempeña diversas funciones. Estas son:

- Rotar la sarta de perforación (anteriormente desempeñado por la mesa rotatoria).
- Servir de conductor para el lodo de perforación (anteriormente desempeñado por el eslabón rotatorio).
- Desconectar/conectar la tubería (anteriormente desempeñado por el ayudante de perforación de hierro).
- Cerrar la tubería de perforación (anteriormente desempeñado por la válvula cuadrada de transmisión).
- Levantar/bajar la sarta de perforación (anteriormente desempeñado por el gancho).

Los acoplamientos superiores pueden ser impulsados tanto hidráulica como eléctricamente. Si son impulsados hidráulicamente, generalmente se usan varios motores hidráulicos.

Las cucharas (*bails*) y los elevadores no son considerados como parte del acoplamiento superior.

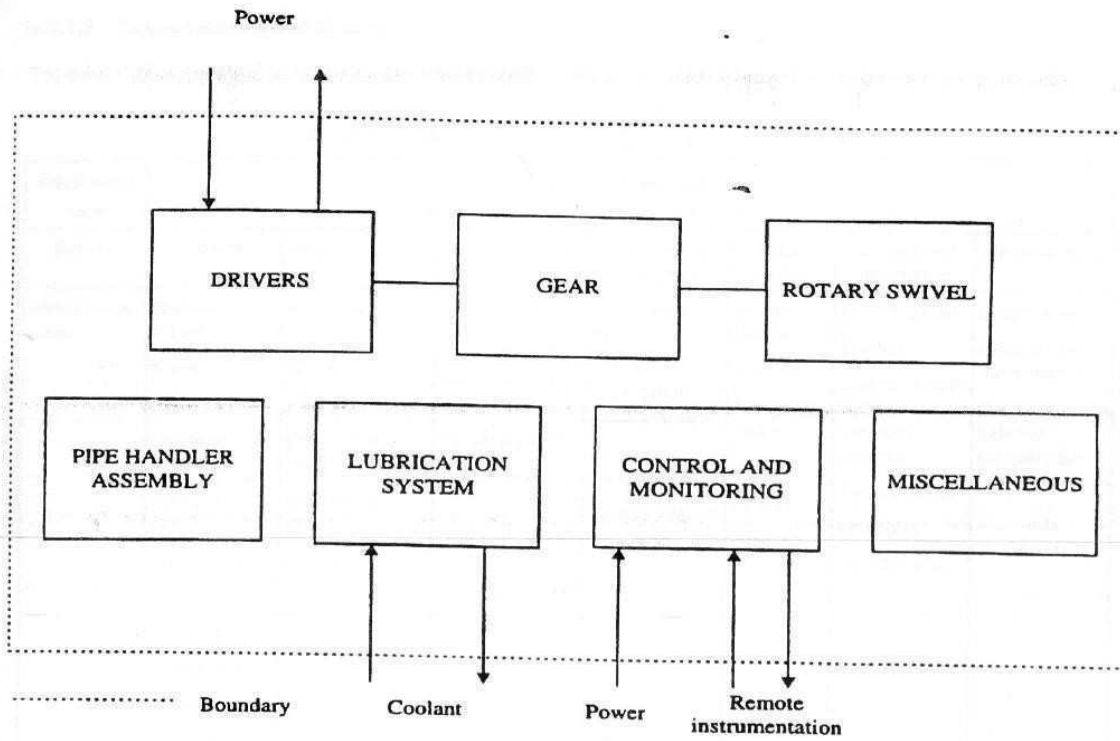


Figure A.15 — Equipment boundary — Top drives



A.5.1.3 Subdivisión de las unidades de equipos

Los acoplamientos superiores se subdividen en subunidades y aparatos mantenibles como se aprecia en la Tabla A.64.

Tabla A.64 – Subdivisión de unidades de equipos – Acoplamientos superiores

Unidad de equipos	Acoplamiento superior/eslabón giratorio mecánico						
Subunidad	Impulsores	Engranajes	Eslabón rotatorio	Ensamblaje del sujetador de tubería	Lubricación	Control y monitoreo	Varios
Parte mantenible	<p>Impulsor eléctrico:</p> <p>Estator</p> <p>Rotor</p> <p>Protección contra sobrecarga</p> <p>Impulsor hidráulico:</p> <p>Sellos externos</p> <p>Engranaje</p> <p>Pistón angulado</p> <p>Tubería/ mangueras</p> <p>General:</p> <p>Acoples</p> <p>Cojinetes radiales, de empuje y axiales</p>	<p>Cojinetes</p> <p>Bomba de lubricación de engranajes</p> <p>Empaque/ sellos</p> <p>Acople al impulsor</p> <p>Acople al eslabón giratorio</p> <p>Piñón</p>	<p>Cuello de ganso</p> <p>Empaque/ Sellos</p> <p>Cojinete radial, de empuje y axial</p> <p>Carcasa del eslabón giratorio</p> <p>Vástago del eslabón giratorio</p>	<p>Suspensor del eslabón incluy. los actuadores de inclinación</p> <p>Motor de posición del sujetador de tubería</p> <p>Acople del eslabón giratorio</p> <p>Llave de torsión</p>	<p>Calentadores del tanque de petróleo</p> <p>Enfriadores</p> <p>Bomba con motor</p> <p>Válvulas</p> <p>Filtros</p> <p>Aceite lubricante</p>	<p>Panel de control</p> <p>Control</p> <p>Gabinete solenoide eléctrico y/o hidráulico</p> <p>Circuito de servicio</p> <p>Distribuidores</p> <p>Caja de empalmes</p>	<p>“Dolly frame”</p> <p>Impide reventón interno</p> <p>Compensador de contrapesos</p>

A.5.1.4 Datos específicos de la unidad de equipo

La Tabla A.65 enumera los datos específicos del equipo que deben ser recolectados para los acoplamientos superiores.

Tabla A.65 – Datos específicos de la unidad de equipo – Acoplamiento superior

Nombre	Descripción	Lista de unidades o códigos
Tipo de impulsor (*)	Especificar tipo	Eléctrico Hidráulico
Número de motores (*) (sólo aplicable a los motores hidráulicos)	Especificar número	Numérico
Requerimientos de energía hidráulica (*) (sólo aplicable a los motores hidráulicos)	Presión	Pascal(bar)
	Frecuencia de flujo	l/min
Categoría de motor (*) (sólo aplicable a los motores eléctricos)	Especificar tipo	Inducción Síncrono
Requerimientos del suministro eléctrico (*) (sólo aplicable a los motores eléctricos)	Voltaje	Voltios
	Corriente	Amperios
Potencia nominal (*)	Máx. energía de salida	kW
Potencia operativa normal (*)	Potencia	kW
Velocidad (*)	Velocidad max.	r/min
	Velocidad normal	r/min
Torsión (*)	Max. Torsión	N – m
	A velocidad normal	N – m
	A máx. velocidad	N – m
Instalaciones de presión	Presión hidráulica	Pascal (bar)
	Presión de aire	Pascal (bar)
Instalaciones de flujo	Flujo hidráulico	l/min
	Flujo de aire	l/min
"Dolly frame" replegable	Especificar	Si/no
Capacidad de presión del lodo	Presión	Pascal (bar)
Presión interna del diseño BOP (punto de operación de diseño óptimo)	Presión	Pascal (bar)
Capacidad de llave de torsión	Diámetro	Mm
	Torsión	N – m
Capacidad del suspensor del elevador (*)	Capacidad	Kg (métrico)
(*) Indica la información de alta prioridad		

A.5.1.5 Modos de avería

Tabla A.66 – Modos de avería

Unidad de equipo	Código	Definición	Descripción
Equipo de perforación	FTS	No inicia cuando se da la orden	No se puede activar el motor superior
	STP	No se detiene cuando se da la orden	No se puede detener o el proceso de parada es incorrecto
	SPS	Falsa parada	Parada inesperada del motor superior
	HIO	Energía de salida alta	Torsión de salida por encima de la especificación
	LOO	Energía de salida baja	Torsión de salida por debajo de la especificación
	ERO	Energía de salida errática	Operación oscilante o inestable
	ELU	Fuga externa – medio de servicio	Aceite hidráulico, lubricante, aceite, refrigerante, etc.
	INL	Fuga interna	Similar al anterior
	VIB	Vibración	Vibración excesiva
	NOI	Ruido	Ruido excesivo
	OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	AIR	Lectura de instrumentos anormal	Por ej. falsa alarma, lecturas defectuosas de instrumentos
	STD	Deficiencia estructural	Por ej. rupturas en el soporte o en aparatos que llevan cargas
	SER	Problemas menores durante el servicio	Aparatos sueltos, decoloración, suciedad, etc.
	OTH	Otros	Ninguno de los anteriores se aplica. Especificar
	UKN	Desconocido	Información inadecuada/faltante

**Anexo B
(Informativo)**

Anotaciones de averías y mantenimiento

Tabla B.1 – Descriptor de averías

No.	Anotación	Descripción
1.0	Avería mecánica - general	Avería relacionada con algún defecto mecánico, pero no se conocen los detalles
1.1	Fuga	Fugas externas e internas, ya sean líquidos o gases. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica una fuga, se debe usar un descriptor de averías más orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible.
1.2	Vibración	Vibración anormal. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica vibración, se debe usar un descriptor de averías más orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible
1.3	Avería por espacio libre/alineamiento	Avería causada por espacio libre o alineamiento deficientes
1.4	Deformación	Distorsión, dobladura, pandeo, abolladura, deformación, encogimiento, etc.
1.5	Aflojamiento	Desconexión, aparatos sueltos
1.6	Atascamiento	Atascamiento, agarrotamiento, atoramiento debido a otras razones que no sean deformación o averías por espacio libre o alineamiento deficientes
2.0	Averías materiales – general	Avería relacionada con un defecto material, pero no se conocen los detalles
2.1	Cavitación	Aplicable a equipos tales como bombas y válvulas
2.2	Corrosión	Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca (química)
2.3	Erosión	Desgaste erosivo
2.4	Desgaste	Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo, arañazos, ludimiento, arrastre, fisuración, etc.
2.5	Ruptura	Fractura, ruptura, rajadura
2.6	Fatiga	Si la causa de la ruptura es la fatiga, se debe usar este código
2.7	Sobrecalentamiento	Daño material debido a sobrecalentamiento/quemadura
2.8	Estallido	Estallido, voladura, explosión, implosión de aparato
3.0	Avería de instrumentos – gener.	Avería relacionada con la instrumentación, pero no se conocen los detalles
3.1	Avería por control	
3.2	Sin señal/indicación/alarma	Sin señal/indicación/alarma cuando se espera
3.3	Señal/indicación/alarma defectuosa	La señal/indicación/alarma no funciona correctamente en relación al proceso en curso. Puede ser indebida, intermitente, oscilante, arbitraria
3.4	Desajuste	Error de calibración, desviación del parámetro
3.5	Falla del software	Control/monitoreo/operación defectuosos o inexistentes
3.6	Avería en modo normal	Diversos aparatos con instrumentos fallan simultáneamente, por ejemplo, detectores de incendio y gas redundantes
4.0	Avería eléctrica - general	Averías relacionadas con el suministro y transmisión de energía eléctrica, pero no se conocen los detalles
4.1	Corto circuito	Corto circuito
4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, línea/cable roto
4.3	Sin energía/voltaje	Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente
4.4	Energía/voltaje defectuosos	Suministro de energía eléctrica defectuoso, por ej., sobrevoltaje
4.5	Falla en conexión a tierra/aislamiento	Falla en conexión a tierra, baja resistencia eléctrica

No.	Anotación	Descripción
5.0	Influencia externa – general	Avería causada por eventos externos o sustancias fuera del límite, pero no se conocen los detalles
5.1	Bloqueo/atascamiento	Flujo restringido/bloqueado debido a suciedad, contaminación, congelamiento, etc.
5.2	Contaminación	Fluido/gas/superficie contaminado, por ejemplo, aceite lubricador contaminado, cabeza del detector de gas contaminado
5.3	Influencias externas varias	Objetos extraños, impactos, ambientales, influencia de sistema colindantes
6.0	Varios – general^a	Descriptor que no caen en ninguna de las categorías descritas anteriormente
6.1	Desconocido	No hay información disponible relacionada al descriptor de averías

^a La persona a cargo de recoger los datos debe juzgar cuál es el descriptor más importante de existir más de uno, y tratar de evitar los códigos 6.0 y 6.1

Tabla B.2 – Causas de averías

No.	Anotación	Descripción
1.0	Causas relacionadas con el diseño – general	Avería relacionada con un diseño inadecuado para la operación y/o mantenimiento, pero no se conocen los detalles
1.1	Capacidad inadecuada	Capacidad/dimensión inadecuadas
1.2	Material inadecuado	Selección de material inadecuada
1.3	Diseño inadecuado	Diseño o configuración del equipo inadecuado (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad, etc.)
2.0	Causas relacionadas con la fabricación/instalación – general	Avería relacionada con la fabricación o instalación, pero no se conocen los detalles
2.1	Error de fabricación	Falla de fabricación o procesamiento
2.2	Error de instalación	Falla en instalación o ensamblaje (no se incluye ensamblaje después de mantenimiento)
3.0	Avería relacionada con la operación/mantenimiento – general	Avería relacionada con operación/uso o mantenimiento del equipo, pero no se conocen los detalles
3.1	Servicio fuera de diseño	Condiciones de servicio no diseñadas o no planeadas, por ejemplo, operación del compresor fuera de la envoltura, presión por encima de la especificación, etc.
3.2	Error operativo	Error, mal uso, negligencia, inadvertencia, etc. durante la operación
3.3	Error de mantenimiento	Confusión, error, negligencia, inadvertencia, etc. durante el mantenimiento
3.4	Desgaste esperado	Avería causada por el desgaste que resulta de la operación normal de la unidad de equipo
4.0	Avería relacionada con la administración – general	Avería relacionada con algún sistema administrativo, pero no se conocen los detalles
4.1	Error de documentación	Avería relacionada con procedimientos, especificaciones, dibujos, reportes, etc.
4.2	Error de administración	Avería relacionada con planeamiento, organización, control/certificación de calidad, etc.
5.0	Varios – general^a	Causas que no caen dentro de ninguna de las categorías arriba descritas
5.1	Desconocido ^a	No hay información disponible con respecto a la causa de la avería

^a La persona a cargo de recoger los datos debe juzgar cuál es el descriptor más importante de existir más de uno, y tratar de evitar los códigos 5.0 y 5.1.

Tabla B.3 – Método de detección

No.	Anotación	Descripción
1	Mantenimiento preventivo	Avería descubierta durante el servicio preventivo, reemplazo o rehabilitación de un aparato al momento de ejecutar el programa de mantenimiento preventivo
2	Pruebas funcionales	Avería descubierta al activar una función programada y comparar la respuesta con un estándar predefinido
3	Inspección	Avería descubierta durante una inspección planeada, por ej. inspección visual, prueba no destructiva
4	Monitoreo periódico de condición	Averías reveladas durante el monitoreo de condición planeado y programado de un modo predefinido de averías, ya sea manual como automáticamente, por ejemplo, termografía, medición de vibraciones, análisis de petróleo, muestreo
5	Monitoreo continuo de condición	Averías detectadas durante el monitoreo continuo de condición de un modo predefinido de averías.
6	Mantenimiento correctivo	Avería observada durante el mantenimiento correctivo
7	Observación	Observación durante inspecciones rutinarias o casuales y no rutinarias realizadas por el operador principalmente con los sentidos (oído, olfato, humo, fuga, apariencia, indicadores locales)
8	Combinación	Uso de varios de los métodos arriba descritos. Si uno de los métodos es el predominante, este deberá ser codificado.
9	Interferencia con la producción	Avería descubierta debido a interrupción, reducción, etc. en la producción
10	Otros	Otros métodos de observación

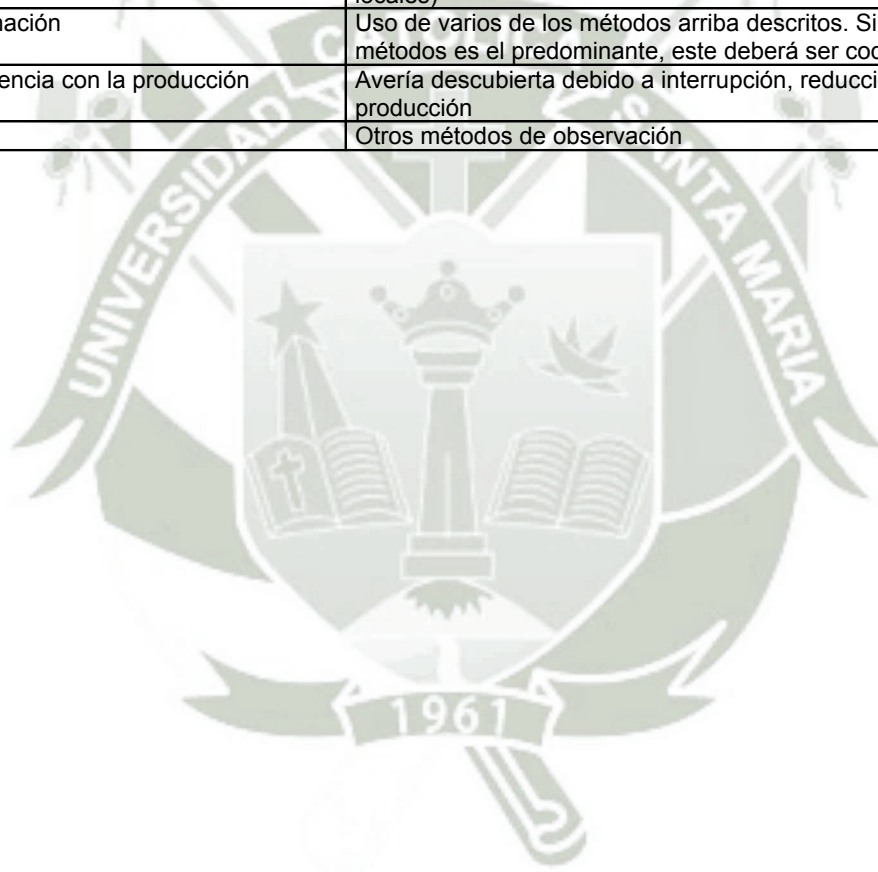


Tabla B.4 – Actividad de mantenimiento

No.	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso ^a
1	Reemplazar	Reemplazo del aparato por uno nuevo, o repotenciado, del mismo tipo y marca	Reemplazo de un cojinete desgastado	C,P
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un aparato a su apariencia y estado originales	Volver a empacar, soldar, taponear, reconectar, rehacer, etc.	C
3	Modificar	Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de él, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño	Instalar un filtro con un diámetro de malla más pequeño, reemplazar una bomba para aceite de lubricación con otro tipo de bomba, etc.	C
4	Ajustar	Hacer que alguna condición que está fuera de tolerancia se encuentre dentro del rango de tolerancia	Alinear, programar y reprogramar, calibrar, balancear	C
5	Reparar	Actividades de reparaciones/servicios menores para mejorar la apariencia interna y externa de un aparato	Pulir, limpiar, esmerilar, pintar, revestir, lubricar, cambiar aceite, etc.	C
6	Verificar ^b	La causa de una avería es investigada, pero no se realiza ninguna acción de mantenimiento, o se posterga la acción. Es posible que pueda funcionar nuevamente con acciones simples como, por ejemplo, reiniciar o reprogramar	Reiniciar, reprogramar, etc. particularmente para averías funcionales como por ejemplo en los detectores de incendios y gas	C
7	Dar servicio	Tareas periódicas de servicio. Normalmente no es necesario desmantelar el aparato	Por ejemplo, limpieza, reabastecimiento de insumos, ajustes y calibraciones	P
8	Probar	Pruebas periódicas de la disponibilidad de funciones	Prueba de funciones de la bomba contra incendios, detectores de gas, etc.	P
9	Inspeccionar	Inspecciones/verificaciones periódicas. Cuidadoso escrutinio de un aparato con o sin desmantelamiento, normalmente con el uso de los sentidos	Todos los tipos de verificaciones generales. El mantenimiento general se incluye como parte de tareas de inspección	P
10	Acondicionamiento	Acondicionamiento integral	Inspección/reacondicionamiento integral con desensamblaje y reemplazo de aparatos según se especifique o requiera	P(C)
11	Combinar	Se incluyen varias de las actividades arriba descritas	Si una actividad es la que domina, esta podría ser registrada	C,P
12	Otros	Actividad de mantenimiento que no sea la especificada anteriormente		C,P

^a C = usada típicamente en mantenimiento correctivo, P = usada típicamente en mantenimiento preventivo

^b 'Verificación' incluye aquellas circunstancias donde se reveló la causa, pero no se consideró necesario tomar una acción, y aquellas donde no se encontró una causa para la avería.

**Anexo C
(Informativo)**

Lista de cotejo (verificación) para control de calidad

C.1 Control de calidad antes y durante la recolección de datos

El recolector de datos deberá realizar un procedimiento de control de calidad para cada nueva instalación para las cuales se recopilan y documentan datos en un formato apropiado. Dicha evaluación debe ser una actividad continua durante el planeamiento y ejecución del proceso de recolección de datos y generalmente puede ser dividido en tres fases principales:

- a) Antes de iniciar la recolección de datos, a saber:
 - ¿Se han preparado y aprobado los planes de recolección de datos?
 - ¿Se han establecido las especificaciones relevantes para los datos a ser recolectados y ha comprendido todo el personal involucrado los procedimientos para el control de calidad de la información disponible?
 - ¿Hay disponibilidad de los recursos necesarios (personal capacitado, software, fuentes de datos, etc.)?
- b) Durante la recolección de datos y finalización:
 - ¿Es la información de suficiente calidad y consistencia? Por ejemplo:
 - ¿Se cumplen con las definiciones de límites y eventos de avería?
 - ¿Se codifica y comenta la información correctamente para su posterior análisis?
 - ¿Se recopila la información únicamente para los períodos de tiempo y unidades de equipo especificados?
 - ¿Se siguen los siguientes procedimientos?
 - Reporte de desviaciones y problemas de interpretación.
 - Requisito de confidencialidad, seguridad y almacenamiento/transporte de datos.

C.2 Verificación de los datos recopilados

Una inspección típica para verificar la calidad de los datos recopilados sería:

- Análisis de frecuencia para detectar información faltante, interpretaciones incorrectas, codificación adecuada, consistencia de datos, distribuciones irregulares.
- Inspecciones in-situ sobre los datos según se indica en C.1 b).

Los resultados de estas inspecciones deben ser documentados y los errores, corregidos. En la Tabla C.1 se muestra un ejemplo de formato de control de calidad.

Anexo D (Informativo)

Requerimientos típicos de datos

La recolección de información RM debe considerarse cuidadosamente a fin de que el tipo de dato sea consistente con el propósito programado. Existen cinco áreas principales de aplicación de datos RM (ver también Tabla D.1).

- a) Alto desempeño de prevención – confiabilidad de las funciones preventivas más importantes, por ejemplo, los sistemas de agua contra incendios pueden ser demostrados tomando como referencia la información RM real de la instalación, cuando sea aplicable.
- b) Optimización de la configuración de planta – contar con información RM exacta de las clases de equipos puede ayudar a determinar los requerimientos de repuestos de una instalación equilibrando los mayores costos con un mayor rendimiento de planta.
- c) Mantenimiento centrado en la confiabilidad – se puede mejorar la estrategia de mantenimiento de una instalación tomando como referencia la información RM apropiada de la instalación misma.
- d) Establecimiento de referencias (“*benchmarking*”) – al recopilar datos RM consistentes, se pueden realizar comparaciones entre los subgrupos de equipos.
- e) Análisis del costo del ciclo de vida – al obtener datos integrales durante la fase operativa (horas de mantenimiento, tiempo de inactividad), se puede estimar y comparar el verdadero costo del ciclo de vida.

Debido a la variedad de los diferentes usos de los datos RM, se enfatiza que para cada programa de recolección de datos se debe poner especial atención al nivel apropiado de datos requeridos.

Se piensa que las diferentes partes interesadas, incluyendo operadores, propietarios, consultores, proveedores, aseguradores, etc. pueden utilizar los datos RM para comparar el desempeño operativo entre las diferentes partes de los equipos ubicados en diferentes lugares y compañías.

Tabla D.1 – Requerimientos de datos para diversas aplicaciones

Requerimientos de datos		Categoría de análisis				
		QRA	RAM	RCM	BEN	LCC
Datos del equipo	Identificación: - ubicación del equipo - clasificación - información de instalación	x	x	x	x	x
	Diseño: - información del fabricante - características de diseño	x	x	x	x	x
	Aplicación: - período de vigilancia - tiempo operativo acumulado - número de órdenes - modo operativo	x x x x	x x x x	x x x x	x x x x	x
Datos de averías	Aparato averiado: - unidad de equipo - subunidad - aparato mantenible	x	x x x	x x x	x	x
	Modo de avería	x	x	x		
	Clase de severidad	x	x	x	x	
	Descriptor de averías		x	x		
	Causa de la avería	x	x	x		
	Método de observación		x	x		
	Impacto de la avería en la operación	x	x	x		
Datos de mantenimiento	Categoría de mantenimiento	x	x	x		x
	Actividad de mantenimiento			x		
	Tiempo de inactividad		x	x		x
	Tiempo de mantenimiento activo		x	x		
	Recursos de mantenimiento: - horas-hombre de mantenimiento, por cada disciplina - horas-hombre de mantenimiento, total		x	x	x	x
Datos adicionales	Descripción de la avería/evento de mantenimiento	x	x	x		x