

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Título del Proyecto:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MANTENIMIENTO ESTRATÉGICO APLICANDO LAS FILOSOFÍAS
RCM Y FMEA A LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE LA
EMPRESA WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC, BASE1,
FRANCISCO DE ORELLANA

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Realizado por:

SALGUERO MANOSALVAS MILTON FABIAN

Sangolquí, 14 de abril de 2010

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO ESTRATÉGICO APLICANDO LAS FILOSOFÍAS RCM Y FMEA A LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE LA EMPRESA WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC, BASE1, FRANCISCO DE ORELLANA”, fue realizado en su totalidad por Milton Fabián Salguero Manosalvas, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Juan Díaz

DIRECTOR

Ing. Javier Pozo

CODIRECTOR

Sangolquí, 14 de abril de 2010

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO ESTRATÉGICO APLICANDO LAS FILOSOFÍAS RCM Y FMEA A LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS DE LA EMPRESA WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC, BASE1, FRANCISCO DE ORELLANA”

ELABORADO POR:

SALGUERO MANOSALVAS MILTON FABIÁN

CI: 1716515232

ING. EMILIO TUMIPAMBA

DIRECTOR DE CARRERA

Sangolquí, 14 de abril de 2010

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a todas las personas que me ayudaron a lo largo de mi carrera de una u otra forma e hicieron que mi formación profesional sea menos complicada.

En especial está dedicado a mi Papi, quien siempre me supo dar la mano en los momentos que lo necesité y que es quien me impulso para seguir esta carrera.

A mi hermano, para que le sirva de ejemplo y aun que él ya está terminando sus estudios siga esforzándose para conseguir las metas que se proponga.

Para terminar, Mami aunque no estés físicamente con nosotros, se que siempre has estado presente cuidándonos y buscando nuestro bienestar, por eso este trabajo es el fruto de todas tus enseñanzas y recomendaciones, tu labor está cumplida y hoy tu hijo es un profesional que tratará de sacar al país adelante como tú lo quisiste.

Para ustedes,

Milton Junior.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC. Y como representante al Ing. Alejandro Parrado por permitirme realizar mi proyecto de grado en sus instalaciones y colaborar en mi formación profesional.

Al Ing. Nelson Vidal Coordinador de Mantenimiento en la Base 1 del Coca por brindarme las facilidades necesarias en el desarrollo del proyecto.

A todos los técnicos que me ayudaron con su experiencia y con su tiempo para contestar todas las inquietudes que surgieron en el desarrollo de la tesis.

A mis tutores de la ESPE los ingenieros Juan Díaz y Javier Pozo por colaborar de forma permanente y guiarme en el desarrollo del proyecto con todo su conocimiento.

A mi primo Jorge Ortega que fue como tener un compañero y a la vez un tutor más durante toda la preparación del proyecto.

A mis primas Clary y Erika por ayudarme a concluir el trabajo.

A mis panas los 300 con quienes pase toda esta etapa de mi vida y que siempre supieron acolitar en lo que necesité. AU.

Y a todas las demás personas que sientan que fueron parte de este trabajo y que se sienten identificadas con la realización del mismo.

Gracias a todos,

Milton Junior

INDICE

CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del Problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Justificación e importancia.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1. Marco Conceptual.....	5
2.2. Marco Teórico.....	15
2.2.1. Sistemas de Mantenimiento.....	15
2.2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	22
2.2.2.1. Concepto.....	22
2.2.2.2. Ventajas.....	23
2.2.2.3. Desventajas.....	23
2.2.3. Jerarquización de Activos. Análisis de Criticidad.....	23
2.2.4. Las 7 Preguntas del RCM.....	26
2.2.4.1. Funciones.....	27
2.2.4.2. Fallas Funcionales.....	28
2.2.4.3. Análisis FMEA.....	28
2.2.4.3.1. Modos de Falla.....	29
2.2.4.3.2. Efectos y Consecuencias de Falla.....	29
2.2.4.4. Tareas Proactivas del Mantenimiento.....	30

2.2.4.4.1.	Generalidades, Teoría del envejecimiento de maquinaria y equipos.....	30
2.2.4.4.2.	Tareas de Reacondicionamiento o Sustitución Cíclicas (Restauración o desincorporación).....	33
2.2.4.4.2.1	Tareas de reacondicionamiento cíclico.....	35
2.2.4.4.2.2	Tareas de sustitución cíclicas.....	36
2.2.4.4.3.	Tareas a Condición.....	36
2.2.4.4.4	Tareas de Búsqueda de Fallas.....	39
2.2.4.5.	Mantenimiento a la Falla (Run To Fail).....	44
CAPÍTULO III ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA.....		45
3.1.	Inventario técnico de los Activos.....	45
3.2.	Descripción de la norma ISO 14224.....	46
3.3.	Jerarquización de la maquinaria por su criticidad.....	47
CAPÍTULO IV HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS FMEA.....		52
4.1.	Descripción de la Normas SAE JA 1011, filosofía FMEA.....	52
4.2.	Definición del Entorno Operativo.....	53
4.3.	Determinación de la taxonomía.....	55
4.4.	Determinación del límite del sistema a analizar.....	56
4.5.	Definición de la Función Principal parametrizada.....	57
4.6.	Análisis de Modos de fallo asociados a la función.....	58
4.7.	Descripción de Efectos asociados a cada modo de fallo.....	60
CAPÍTULO V HOJA DE DECISIÓN: DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA.....		62
5.1	Aplicación de algoritmo de decisión SAE JA1012: Definición de las tareas de mantenimiento por modo de fallo.....	62
5.2	Estrategias y acciones derivadas.....	66

5.3	Indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad).....	67
5.4	Presentación estadística de resultados.....	69
CAPÍTULO VI		
IMPLEMENTACION EN EL SISTEMA COMPUTARIZADO DE MANTENIMIENO.		75
6.1	Módulos en el Software.....	76
6.1.1	Inventario Técnico.....	77
6.1.2	Fichas Técnicas.....	78
6.1.3	Lista base de recambios.....	79
6.1.4	Mantenimiento.....	80
CAPITULO VII		
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....		83
7.1	Análisis Económico y Financiero.....	83
CAPÍTULO VIII		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
8.1	Conclusiones.....	98
8.2	Recomendaciones.....	99
BIBLIOGRAFIA.....		100

FIGURAS

FIG.	DESCRIPCIÓN	
1.2	Comportamiento del mercado de crudo.....	2
2.2	Evolución del mantenimiento de clase mundial.....	21
2.3	Modelo Básico de Criticidad.....	25
2.4	Detalle de función de una bomba.....	27
2.5	Perspectiva tradicional de la falla.....	31
2.6	Patrones de falla actuales.....	31
2.7	Patrón B. Efecto de las fallas prematuras.....	34
2.8	Curva P-F.....	37
2.9	Intervalo P-F.....	37
2.10	Intervalo P-F neto.....	38
2.11	Acciones A Falta De.....	40
3.1	Herramienta para determinación de criticidad.....	48
4.1	Disposición de la empresa Base 1.....	53
4.2	Operaciones que realiza la empresa.....	53
4.3	Diagrama Funcional y Límite del Sistema para torno MH-01-CN.....	57
5.1	Algoritmo de Decisión Norma SAE JA 1012.....	63
5.2	Costo total de mantenimiento Tornos paralelos.....	70
5.3	Costo total de mantenimiento Tornos CNC.....	70
5.4	Costo total de mantenimiento Taladro.....	71
5.5	Costo total de mantenimiento Fresas.....	71
5.6	Costo total de mantenimiento Compresores.....	72
5.7	Costo total de mantenimiento Sierra Eléctrica.....	72
5.8	Costo total de mantenimiento Equipo Hidráulico.....	73

5.9	Costo total de mantenimiento Plasma.....	73
5.10	Costo total de mantenimiento Rectificadora.....	74
6.1	Módulos en el Software SISMAC.....	76
6.2	Niveles Jerárquicos.....	77
6.3	Sierra Eléctrica.....	77
6.4	Parámetros de la ficha técnica.....	78
6.5	Ficha técnica del torno MH-02-CN.....	78
6.6	Selección de materiales o repuesto.....	79
6.7	OIM_WEATHERFORD.....	81
7.1	Diagrama de Pareto.....	85
7.2	Relación de Costos.....	97

TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	
3.1	Inventario técnico de los Activos.....	45
3.2	Calificación general de los equipos del taller De máquinas y herramienta.....	49
3.3	Equipos críticos con calificación “B” después del análisis.....	50
3.4	Equipos críticos con calificación “C” después del análisis.....	51
4.1	Listado general de Máquinas.....	54
4.2	Taxonomía.....	55
4.3	Diagrama EPS, Torno MH-01-CN.....	56
4.4	Modos de falla del Torno KURAKI MH-08-TP.....	59
4.5	Modos y Efectos de falla del Torno KURAKI MH-08-TP.....	61
5.1	Modos de falla para analizar Torno MH-01-TP.....	62
5.2	Hoja de Decisión.....	66
5.3	Tiempos por modo de falla.....	69
5.4	Indicadores CMD para el torno MH-01-TP.....	69
7.1	Elección de modos de falla SO-02-RE.....	84
7.2	Costos de mantenimiento.....	84
7.3	Costos de mantenimiento recomendado.....	92
7.4	Periodos de análisis para la inversión.....	101

RESUMEN

En una perspectiva económica global, la confiabilidad de los sistemas es un factor clave para que las empresas sean más competitivas, por esta razón las exigencias de confiabilidad y seguridad para la empresa Weatherford en relación a las máquinas herramienta, requieren de una nueva estrategia de mantenimiento que nos ayude a cumplir con el cometido planteado.

Con este antecedente, implementar RCM a las máquinas herramienta para mejorar la disponibilidad y confiabilidad es necesario.

El presente proyecto se enfoca en implementar tareas de análisis y planificación de mantenimiento que eviten los paros de emergencia y aumente las horas de producción de cada máquina herramienta. Este estudio e implementación es realizado por el Sr. Milton Salguero egresado de la carrera de ingeniería mecánica de la ESPE con la ayuda, del coordinador de mantenimiento de la empresa auspiciante: Ing. Nelson Vidal a demás de la colaboración permanente del técnico mecánico, eléctrico y del operador de cada máquina herramienta.

La metodología que se aplicará será la siguiente: Se divide principalmente en 4 fases:

- Análisis de Criticidad de la maquinaria: Aplicando la norma ISO 14224: Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. En esta etapa se debe recolectar la información técnica de la maquinaria de campo y se debe calificar la criticidad: A (Crítico EHS), B (Crítico para la operación) o C (No crítico) para cada máquina herramienta.
- Análisis FMEA: Basándose en el procedimiento explicado en las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012, se debe determinar para equipos críticos A y B únicamente.
- Establecer el programa de mantenimiento a aplicarse a cada sistema o equipo: Este es el resultado de todo el análisis del cual se obtiene el tipo de tareas y planes de mantenimiento para cada modo de fallo en cada sistema o equipo que se analice.
- Implementar en el software existente en la empresa auspiciante.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La industria del Petróleo es una fuente amplia de ingresos económicos tanto como para el estado así como para la empresa que lo extrae. Dentro de este contexto, es primordial que durante todo el proceso de extracción, la maquinaria sea confiable y este siempre disponible para que las operaciones y el medio ambiente no se vean afectados por ningún tipo de fallo, dentro del tiempo operacional provisto.

Con la implementación del RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), se busca optimizar la gestión del mantenimiento mediante el análisis del contexto operativo, la jerarquización de activos y el cálculo del beneficio económico mediante herramientas cuantitativas y aplicación de metodologías normadas.

El RCM muestra que los conceptos del mantenimiento que hasta el momento se consideran, están implícitos en él. Se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Un ejemplo: dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes.

La implementación del RCM debe transformar a equipos en más seguros y confiables. La reducción de costos totales por la acción del mantenimiento, mejora en la calidad del producto y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente, en un proceso cíclico de mejora continua.

El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor

entendimiento entre las áreas de mantenimiento, producción, seguridad y la logística empresarial.

1.2. Definición del Problema

Con la creciente demanda del petróleo y su caída de precio, la industria hidrocarburífera se ve obligada a incrementar sus niveles de producción para satisfacer la demanda y recuperar la inversión realizada durante el proceso de extracción. (Figura 1.2 ¹)

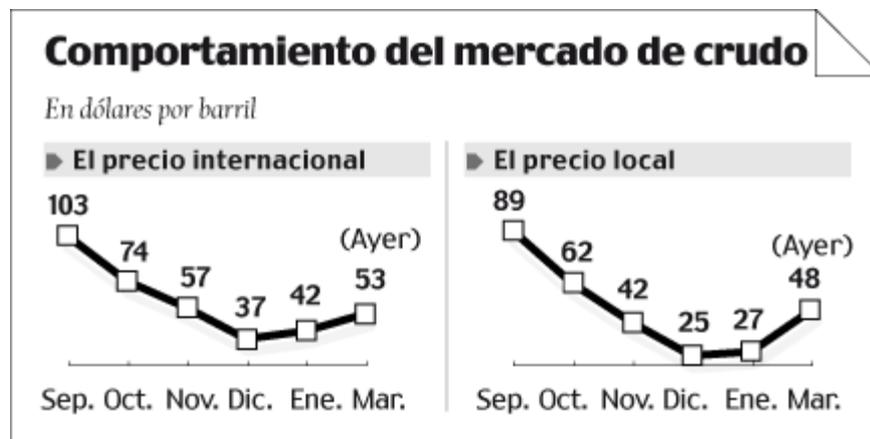


Fig. 1.2 Comportamiento del mercado de crudo (sept. 08-mar. 09)

La optimización de procesos y procedimientos en el ciclo de mejora continua, se ha convertido en el factor determinante que caracteriza a una empresa competitiva de clase mundial.

En toda empresa es fundamental que exista una sincronización, control y retroalimentación entre las distintas áreas que la conforman, especialmente entre operaciones, mantenimiento, seguridad industrial, información financiera e impacto ambiental. Este sincronismo ha generado nuevas tendencias para que el mantenimiento de maquinaria rompa los paradigmas antiguos analizando el entorno operativo y las necesidades de la empresa..

El RCM o mantenimiento centrado en la confiabilidad permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

¹ Fuente el Comercio 25 de marzo 2009

El RCM es aplicado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las más grandes fuerzas armadas utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de su maquinaria y equipos.

Por ello, se ha determinado la necesidad de desarrollar metodologías e implementar el mantenimiento estratégico en función de los modos de falla, efectos y análisis de criticidad para los equipos del taller de máquinas y herramientas de la empresa WEATHERFORD.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Analizar, optimizar y replantear los planes de mantenimiento de la empresa, recomendar la implementación de nuevas actividades de mantenimiento que eviten los paros imprevistos, los mantenimientos correctivos emergentes y optimizar las horas de trabajo de producción del taller de Máquinas-Herramienta.

1.3.2. Específicos

- 1.3.2.1. Determinar el plan adecuado que permita el mantenimiento óptimo para el equipo más crítico del taller de máquinas y herramientas.
- 1.3.2.2. Implementar las herramientas necesarias de análisis RCM y FMEA y dejar un ejemplo en la empresa auspiciante para continuar con el análisis de otros equipos.
- 1.3.2.3. Cuantificar el costo beneficio por modo de fallo.
- 1.3.2.4. Implementar el plan de mantenimiento en el software SISMAC (Sistema de mantenimiento asistido por computadora).

1.4. Alcance

La realización del presente proyecto, tiene como alcance mejorar el sistema de mantenimiento de las máquinas-herramienta de la empresa WEATHERFORD SOUTH AMÉRICA INC, Base 1. Con la aplicación de las filosofías RCM y FMEA en base a las normas: ISO 14224, SAE JA 1011 y SAE JA 1012.

1.5. Justificación e importancia

En toda empresa moderna cada vez más, la baja productividad de las maquinarias y equipos ocasiona un gran impacto económico en el negocio por la baja 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, confiabilidad 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.

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco Conceptual

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
1	SAE	Cambio a tiempo		Cualquier medida adoptada para cambiar la configuración física de un activo o un sistema (rediseño o modificación), para cambiar el método utilizado por un operador o responsable para realizar una tarea específica, para cambiar el contexto del sistema operativo, o para cambiar la capacidad de un operador o responsable (formación).
2	SAE	Capacidad inicial		El nivel de rendimiento que un activo físico o el sistema es capaz de lograr al momento que entra en servicio.
3	ISO	Causa común de fallo	Errores de los distintos elementos resultantes de la misma causa directa, que se producen en un plazo relativamente corto, donde estos errores no son consecuencias de otro. NOTA: Componentes que fallan por una causa compartida normalmente fallarán en el mismo modo funcional. El término modo común será utilizado de vez en cuando. Sin embargo, no se considera un término preciso para comunicar la característica que describen una falla de causa común.	
4	ISO	Causa de falla	Circunstancias asociadas con el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento, que han llevado a un error.	
5	ISO	Clase de equipo	Clase de tipo similar de unidades de equipo (por ejemplo, todas las bombas)	
6	ISO	Código	Número que identifica la ubicación física de los equipos	
7	ISO	Confiabilidad	Capacidad de un artículo para llevar a cabo una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de	

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
			tiempo determinado. NOTA 1: El término seguro también se utiliza como una medida del rendimiento confiable y también puede definirse como una probabilidad.	
8	SAE	Consecuencia de falla		La vía(s) en el que los efectos de un modo de avería o un caso de múltiples averías.
9	SAE	consecuencias ambientales		Una falla o múltiples fallas tienen consecuencias ambientales si podría romper cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional o el Reglamento que se aplica al activo físico o sistema bajo consideración.
10	SAE	Consecuencias no operacionales		Una categoría de las consecuencias del fracaso que no afecte negativamente la seguridad, el medio ambiente o las operaciones, pero sólo requieren reparación o sustitución de cualquier artículo (s) que puede verse afectado por la falla.
11	SAE	Consecuencias operacionales		Una categoría de las consecuencias del fracaso que afectan negativamente la capacidad operativa de un activo físico o sistema (salida, calidad del producto, servicio al cliente, capacidad militar o costos operativos además de los costos de reparación).
12	SAE	Consecuencias seguras		Un modo de avería o múltiples averías tiene consecuencias de seguridad si podía herir o matar a un ser humano.
13	SAE	Contexto operacional		Las circunstancias en que un activo físico o el sistema se espera que funcione.
14	ISO	Datos confiables	Datos fiables que cubren equipos similares o relacionados.	
15	ISO	Datos de Equipo	Parámetros técnicos, operativos y ambientales caracterizan el diseño y la utilización de una unidad de equipo.	
16	ISO	Datos de falla	Datos que caracterizan la aparición de un evento de error.	
17	ISO	Datos de mantenimiento	Datos que caracterizan las acciones de mantenimiento previstas o hechas.	
18	ISO	Demanda	Activación de la función	

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
			(incluye funcional, operacional y activación de prueba)	
19	SAE	Desempeño deseado		El nivel de rendimiento deseado por el propietario o el usuario de un activo físico o sistema.
20	ISO	Disponibilidad	Interfaz entre un elemento y sus alrededores	
21	ISO	Disponibilidad	La capacidad de un elemento para estar en un Estado que desarrolle una función requerida bajo condiciones determinadas en un momento dado de tiempo o en un intervalo de tiempo determinado, suponiendo que se proporcionan los recursos externos necesarios.	
22	SAE	Dispositivo de protección o de seguridad		Un dispositivo o sistema destinado a evitar, eliminar o reducir al mínimo las consecuencias de la falla de algún otro sistema.
23	ISO	Documentación del mantenimiento	Parte de la documentación de mantenimiento, que contiene todos los errores, información de fallas y mantenimiento relacionada a un artículo. NOTA: Este registro también puede incluir los costos de mantenimiento, la disponibilidad del artículo o hasta los datos de tiempo y cualquier otra información relevante.	
24	SAE	Dueño		Una persona u organización que puede sufrir o ser considerado responsables por las consecuencias de un modo de avería en virtud de la propiedad del activo o del sistema.
25	SAE	Edad		Una medida de la exposición a calculada desde el momento en que un elemento o componente entra en servicio cuando nueva o re-ingresa al servicio después de una tarea encaminada a restablecer su capacidad inicial y se puede medir en términos de tiempo calendario, tiempo operando, distancia viajada, ciclos de deber de las unidades de salida o rendimiento.
26	SAE	Efectos de falla		¿Qué sucede cuando se produce un modo de avería.
27	ISO	Error	Discrepancias entre un valor calculado, observado, medido	

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
			o condición y el verdadero valor real, especificado o teóricamente correcto. NOTA 1: Una falla puede ser causada por un artículo defectuoso; por ejemplo, un error informático realizado por un equipo informático defectuoso.	
28	SAE	Error en Intervalo P-F		El intervalo mínimo de probabilidad de que transcurra el descubrimiento de un posible error y la aparición de la incapacidad funcional.
29	ISO	Estado bajo	Intervalo de tiempo durante el cual un elemento está en un estado bajo. NOTA: El tiempo de para incluye todos los retrasos entre la falla del elemento y la restauración de su servicio. El tiempo de para puede ser planeado o no planeado.	
30	ISO	Estado inactivo	Estado interno desactivado de un artículo caracterizado por un fallo, o por una posible incapacidad para llevar a cabo una necesaria función durante el mantenimiento preventivo. NOTA: Este estado está relacionado a la disponibilidad de rendimiento.	
31	ISO	Estado operativo	Estado donde un elemento está realizando una función requerida.	
32	ISO	Falla	Terminación de la capacidad de un artículo para llevar a cabo una función necesaria. NOTA 1: Tras el fracaso el elemento tiene una falla. NOTA 2: "Malfuncionamiento" es un evento diferenciado como de una "falla" lo cual es un estado.	
33	ISO	Falla al activar	Falla que se produce inmediatamente cuando el artículo es solicitado para arrancar (como un equipo de emergencia stand-by).	
34	ISO	Falla crítica	Malfuncionamiento de una unidad de equipo que provoca un cese inmediato de la capacidad de realizar una función necesaria. NOTA: Incluye fallas que requieren una acción inmediata hacia el cese de realizar la función, aunque la operación real puede continuar	

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
			durante un breve período de tiempo. Una falla crítica produce una reparación no programada.	
35	SAE	Falla evidente		Un modo de falla cuyos efectos han puesto de manifiesto al grupo operativo bajo circunstancias normales si la falla ocurre por sí sola.
36	SAE	Falla funcional		Un Estado en el que un activo físico o el sistema es incapaz de realizar una función específica a un nivel deseado de rendimiento.
37	ISO	Falla gradual	Falla que no cesa la función(s) fundamental, pero compromete una o varias funciones. NOTA: La falla puede ser gradual, parcial o ambos. La función puede verse comprometida por cualquier combinación de reducción, salidas erráticas o incrementadas. Normalmente se puede retrasar una reparación inmediata, pero en el tiempo estos fallos pueden convertirse en una falla crítica si no se toman medidas correctivas.	
38	ISO	Falla incipiente	Imperfección en el Estado o condición de un elemento así una falla crítica o degradada puede (o no) eventualmente ser resultado esperado si no se toman acciones correctivas.	
39	SAE	Falla Múltiple		Es un evento que ocurre si se produce un error en una función protegida mientras su dispositivo de protección o sistema de protección está en un estado de error.
40	ISO	Falla no crítica	Fallo de una unidad de equipo la cual no causa un cese inmediato de la capacidad de realizar su función requerida. NOTA: Las fallas no críticas pueden ser clasificadas como degradadas o incipientes.	
41	ISO	Falla oculta	Error que no es inmediatamente evidente para las operaciones y personal de mantenimiento. Equipos que no puede llevar a cabo la demanda de esta función caen dentro de esta categoría. Tales fallas necesitan ser detectadas para ser reveladas.	Un modo de falla cuyos efectos no han puesto de manifiesto al grupo operativo bajo circunstancias normales si la falla ocurre por sí sola.
42	SAE	Falla potencial		Una condición identificable que indica que un fallo funcional

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
				está por ocurrir o en el proceso de que se produzca.
43	ISO	Fault	Estado de un elemento que se caracteriza por la incapacidad para llevar a cabo una función necesaria, con exclusión de dicha incapacidad durante el mantenimiento preventivo o de otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos	
44	SAE	Función		Lo que el propietario o el usuario de un activo físico o un sistema quieren que haga.
45	SAE	Función evidente		Una función que falla por sí sola resulta evidente al grupo operativo en circunstancias normales.
46	SAE	Función oculta		Una función cuyo malfuncionamiento por sí solo no se convierta en aparente para el grupo operativo en circunstancias normales.
47	ISO	Función requerida	Función o la combinación de funciones, de un elemento que se considera necesario para proporcionar un servicio determinado.	
48	SAE	Funciones Primarias		La función o funciones que constituyen las principales razón o razones por qué un activo físico o el sistema es adquirido por su propietario o el usuario.
49	SAE	Funciones Secundarias		Funciones que un activo físico o el sistema debe cumplir aparte de su principal función (s), tales como las que se necesitan para cumplir los requerimientos regulatorios y las que se refieren a cuestiones tales como la protección, control, contención, comodidad, apariencia, eficiencia energética e integridad estructural.
50	ISO	Hombre hora de mantenimiento	Duración acumulada de los tiempos de mantenimiento individuales, expresada en horas, utilizado por todo el personal de mantenimiento para un determinado tipo de acción de mantenimiento o a través de un intervalo de tiempo determinado.	
51	ISO	Impacto de la falla	Impacto de una falla en el funcionamiento(s) de un equipo o en la planta.	

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
			NOTA: El nivel de impacto de equipos puede clasificarse en tres clases (críticas, degradadas, incipientes)	
52	ISO	Impacto del mantenimiento	Impacto del mantenimiento en la planta o en las funciones del equipo. NOTA: En el nivel de equipos, dos clases de gravedad son definidas, críticas y no críticas. En la planta tres niveles de clases son definidos, total, y parcial o cero impacto.	
53	SAE	Intervalo P-F		El intervalo entre el punto en que se haga detectable un posible error y el punto en el que se degrada hacia un fracaso funcional (también conocido como "fracaso del período de desarrollo" y "tiempo de dirección al fracaso").
54	ISO	Mantenibilidad	Capacidad de un elemento bajo condiciones de uso, que se conserve en, o a restaurar un Estado en el que puede realizar una función requerida, cuando se realiza mantenimiento bajo determinadas condiciones y el uso de adecuados procedimientos y recursos.	
55	ISO	Mantenimiento	Combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluidas las acciones de control, destinados a mantener un artículo, o restaurar a, un estado en el que puede realizar una función requerida.	
56	ISO	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento realizado después del reconocimiento de una falla y pretende colocar un elemento en un estado en el que puede realizar una función requerida.	
57	ISO	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos y destinado a reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento de un elemento	
58	SAE	Mantenimiento proactivo		Mantenimiento realizado antes de que se produzca un error, a fin de impedir que el elemento pueda entrar en un estado errático (restauración)

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
				programada, descarte programado y mantenimiento bajo condición).
59	ISO	Mecanismo de falla	Físicos, químicos u otro proceso que ha conducido a una falla	
60	ISO	Modificación	Combinación de todas las acciones técnicas y administrativas destinadas a cambiar un elemento.	
61	ISO	Modo de falla	Efecto por el cual se observa un fallo sobre el artículo que ha fallado	Un solo evento, que ocasiona un fallo funcional.
62	ISO	Oportunidad de mantenimiento	Mantenimiento de un elemento que ha sido aplazado o avanzado en tiempo cuando una no planificada oportunidad resulta disponible.	
63	ISO	Parte	Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede ser considerado individualmente	
64	ISO	Parte mantenible	Elemento que constituye una parte, o un conjunto de partes, que normalmente es el nivel más bajo en la jerarquía del equipo durante el mantenimiento	
65	ISO	Periodo de toma de datos	Intervalo de tiempo (tiempo calendario) entre la fecha de inicio y la fecha de finalización de recopilación de datos.	
66	SAE	Política para el manejo de fallas		Un término genérico que abarca las tareas en condición, restauración programada, programa de descarte, detección de falla, ejecución-a-falla y cambios de una sola vez.
67	SAE	Probabilidad condicional de fallo		La probabilidad de que se produzca una falla en un período específico provisto, que el concerniente artículo ha sobrevivido al principio de ese período.
68	SAE	Programación de tarea		Efectuar una tarea a intervalos fijos, predeterminados, incluida la "supervisión continua" (donde el eficaz intervalo es cero).
69	SAE	Programación de tarea de tarea descartada		Una tarea programada que implica descartar un artículo en o antes de su límite de vida determinada independientemente de su condición en el momento.

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
70	ISO	Redundancia	Existencia de más de un medio para realizar una función requerida de un artículo.	
71	SAE	Restauración de tarea programada		Una tarea programada que restaura la capacidad de un artículo en o antes de un intervalo de tiempo especificado (tiempo de vida), independientemente de su condición en el momento, a un nivel que proporciona una tolerable probabilidad de supervivencia al final del intervalo especificado.
72	ISO	Retraso logístico	Ese tiempo acumulado durante el cual mantenimiento no se puede llevar a cabo debido a la necesidad de adquirir recursos de mantenimiento, con exclusión de cualquier retraso administrativo. NOTA: Retrasos logísticos pueden ser debido ha, por ejemplo, viajar a las instalaciones desatendidas, esperando la llegada de piezas de repuesto, especialista, equipos de prueba y la información y retrasos debido a inadecuadas condiciones ambientales (por ejemplo, esperando que suba el nivel de agua).	
73	SAE	Run-To-Failure		Una política de gestión de fallas que permite que un modo de error específico se produzca sin prever o cualquier intento para prevenirlo.
74	ISO	Subdivisión	Nivel de la Subdivisión de un artículo desde el punto de vista de la acción de mantenimiento.	
75	ISO	Subunidad	Montaje de elementos que proporcionan una función específica que es requerida por la unidad de equipo dentro del límite principal para lograr su rendimiento previsto.	
76	SAE	Tarea apropiada		Una tarea que es técnicamente factible y vale la pena hacer (aplicable y efectiva)
77	SAE	Tareas a condición		Una tarea programada utilizada para detectar un posible error.
78	SAE	Tares de búsqueda de falla		Una tarea programada que se utiliza para determinar si se ha producido un error específico oculto.

No.	CODE	TÉRMINO	ISO 14224	SAE JA 1012
79	ISO	Taxonomía	Clasificación sistemática de artículos en grupos genéricos sobre la base de factores posiblemente comunes a varios de estos.	
80	ISO	Tiempo activo de mantenimiento	Esa parte del tiempo del mantenimiento durante el cual una acción de mantenimiento se realiza en un elemento, ya sea automática o manualmente, con exclusión de retrasos logísticas. Nota 1 El mantenimiento podrá llevarse a cabo mientras el elemento realiza una función necesaria.	
81	ISO	Tiempo Fuera	Parte del tiempo en que un elemento no está funcionando.	
82	ISO	Tiempo operativo	Intervalo de tiempo durante el cual un elemento está en estado de funcionamiento. NOTA: El tiempo operativo incluye el real funcionamiento del equipo o del equipo listo para operar y desarrollar su función requerida según la demanda.	
83	ISO	Unidad de equipo	Unidad de equipo específico dentro de una clase de equipos definida por su límite (por ejemplo, una bomba)	
84	ISO	Up state	Estado de un artículo caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, suponiendo que los recursos externos, si es necesario, se proporcionarán. NOTA: Esto se relaciona a disponibilidad de rendimiento.	
85	ISO	Up time	Intervalo de tiempo durante el cual un artículo está en funcionamiento.	
86	SAE	Usuario		Una persona u organización que opera un activo o un sistema y que puede sufrir o ser considerado responsable.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Sistemas de Mantenimiento

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo, Moubray (1997), explica en su texto que desde el punto de vista práctico del mantenimiento, se diferencian enfoques de mejores prácticas aplicadas cada una en épocas determinadas. Para una mejor comprensión de la evolución y desarrollo del mantenimiento desde sus inicios y hasta nuestros días, Moubray distingue tres generaciones a saber (figura 2.1.²):

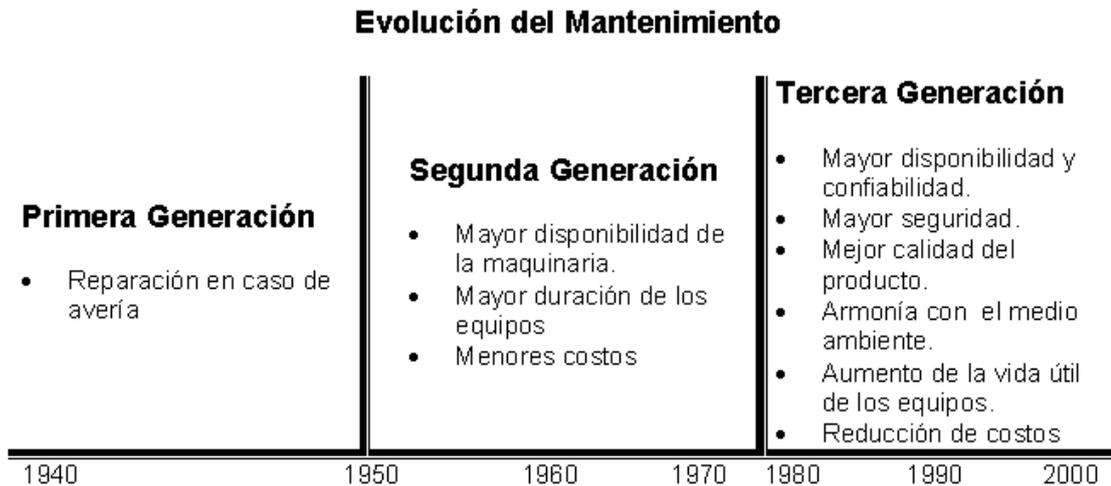


Fig. 2.1. Evolución del Mantenimiento

- **Primera generación:**

Cubre el período hasta el final de la II Guerra Mundial, en ésta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial, y solo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

² Moubray, J., "Applying and Implementing Risk-based Inspection Programs. Maintenance & Reliability. Hydrocarbon processing", 1997

- **Segunda generación:**

Nació como consecuencia de la guerra, se incorporaron maquinarias más complejas, y el tiempo improductivo comenzó a preocupar ya que se dejaban de percibir ganancias por efectos de demanda, de allí la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían prevenir, idea que tomaría el nombre de mantenimiento preventivo. Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea las revisiones a intervalos fijos.

- **Tercera generación:**

Se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumenta la mecanización y la automatización en la industria, se opera con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzan mayor complejidad las maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo de mantenimiento preventivo.

Según el **estado activo**, el mantenimiento se clasifica en dos grandes grupos:

- **Mantenimiento Operacional:**

Se define como la acción de mantenimiento aplicada a un equipo o sistema a fin de mantener su continuidad operacional, el mismo es ejecutado en la mayoría de los casos con el activo en servicio sin afectar su operación natural. La planificación y programación de este tipo de mantenimiento es completamente dinámica, la aplicación de los planes de mantenimiento rutinario se efectúa durante todo el año con programas diarios que dependen de las necesidades que presente un equipo sobre las condiciones particulares de operación,

en este sentido el objetivo de la acción de mantenimiento es garantizar la operatividad del equipo para las condiciones mínimas requeridas en cuanto a eficiencia, seguridad e integridad. El mantenimiento operacional en la industria petrolera es manejado por personal de dirección de la organización con un stock de materiales para consumo constante y los recursos de equipos, herramientas y personal artesanal para la ejecución de las tareas de campo son obtenidos de empresas de servicio.

- **Mantenimiento Mayor:**

Es el mantenimiento aplicado a un equipo o instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, nivel de inversión o costo del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación son de elevada magnitud, dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones de servicio del activo, bien desde el punto de vista de diseño o para satisfacer un periodo de tiempo considerable con la mínima probabilidad de falla o interrupción del servicio y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos.

La diferencia entre ambos tipos de mantenimiento se basa en los tiempos de ejecución, los requerimientos de inversión, la magnitud y alcance de los trabajos, ya que el mantenimiento operacional se realiza durante la operación normal de los activos, y el mantenimiento mayor se aplica con el activo fuera de servicio. Por otra parte, la frecuencia con que se aplica el mismo es sumamente alta con respecto a la frecuencia de las actividades del mantenimiento operacional, la misma oscila entre cuatro y quince años dependiendo del grado de severidad del ambiente en que está expuesto el componente, la complejidad del proceso operacional, disponibilidad corporativa de las instalaciones, estrategias de mercado, nivel tecnológico de componentes y materiales, políticas de inversiones y disponibilidad presupuestaria.

Según las actividades realizadas, el mantenimiento se clasifica en:

- **Mantenimiento Correctivo:**

También denominado mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia de tareas de mantenimiento y, a requerimientos de producción que generan políticas como la de “repara cuando falle”. Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta esta condición, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si se hubiera inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas.

- **Mantenimiento Preventivo:**

El que consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que optimizamos las frecuencias de realización de las actividades de mantenimiento logramos aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

- **Mantenimiento Predictivo:**

Es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuenta con sistemas de vibraciones

mecánicas, análisis de aceite, análisis de termografía infrarrojo, análisis de ultrasonido, monitoreo de condición, entre otras.

- **Mantenimiento Proactivo:**

Es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo que tienen por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se ubican, disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos. En capítulo 5 se profundizará más en este sistema de mantenimiento.

- **Mantenimiento Productivo Total TPM (Total Productive Maintenance):**

Actualmente, los dos sistemas que están dando resultados más eficaces para el logro de un rápido proceso de optimización industrial son el TPM (Mantenimiento Productivo Total), que busca el mejoramiento continuo de la productividad industrial con la participación de todos y el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), que optimiza la implementación del mantenimiento preventivo, basado en la determinación de la confiabilidad de los equipos.

El TPM es un moderno sistema gerencial de desarrollo de la industria que permite tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada en un buen número de técnicas de gestión, establece estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad, con miras a afrontar con éxito y competitividad el proceso de Globalización y apertura de la economía.

TENDENCIAS ACTUALES DE MANTENIMIENTO

La gestión de mantenimiento implica al personal que labora en el área, no únicamente conocer las técnicas y aprenderlas, sino también aprender a decidir cuáles son útiles en consideración las necesidades específicas de la empresa y a sus características particulares. La elección adecuada permitirá mejoras en la práctica del mantenimiento y la optimización de costos. Por el contrario, si la elección de la técnica no corresponde a las necesidades y problemas determinados, se contribuirá a agudizar las dificultades y al aumento de los costos, y en última instancia, afectará la producción del bien o la prestación del servicio.

Es importante determinar que las nuevas tendencias en mantenimiento implican un cambio radical de la dirección de las empresas y del personal responsable del mantenimiento. Por tal razón, los caminos, estrategias, herramientas y métodos para cambiar y dejar esas “viejas prácticas” o el “old fashion” son numerosos, diversos y a veces contradictorios; y este hecho incide en que se asuman actitudes divergentes en el personal de mantenimiento: Muchos insisten que lo mejor es usar “de todo un poco” y otros que es mejor usar pocas opciones, pero rigurosas, exigentes y responsables.

- **Mantenimiento de Clase Mundial (MCM):**

La figura 2.2 ³ muestra la cuesta para llegar a un mantenimiento de clase mundial, esto a partir de prácticas que llevan a la excelencia.

³ Pérez, C., “Evolución del mantenimiento”, Soporte y Cia. Ltda., 2003

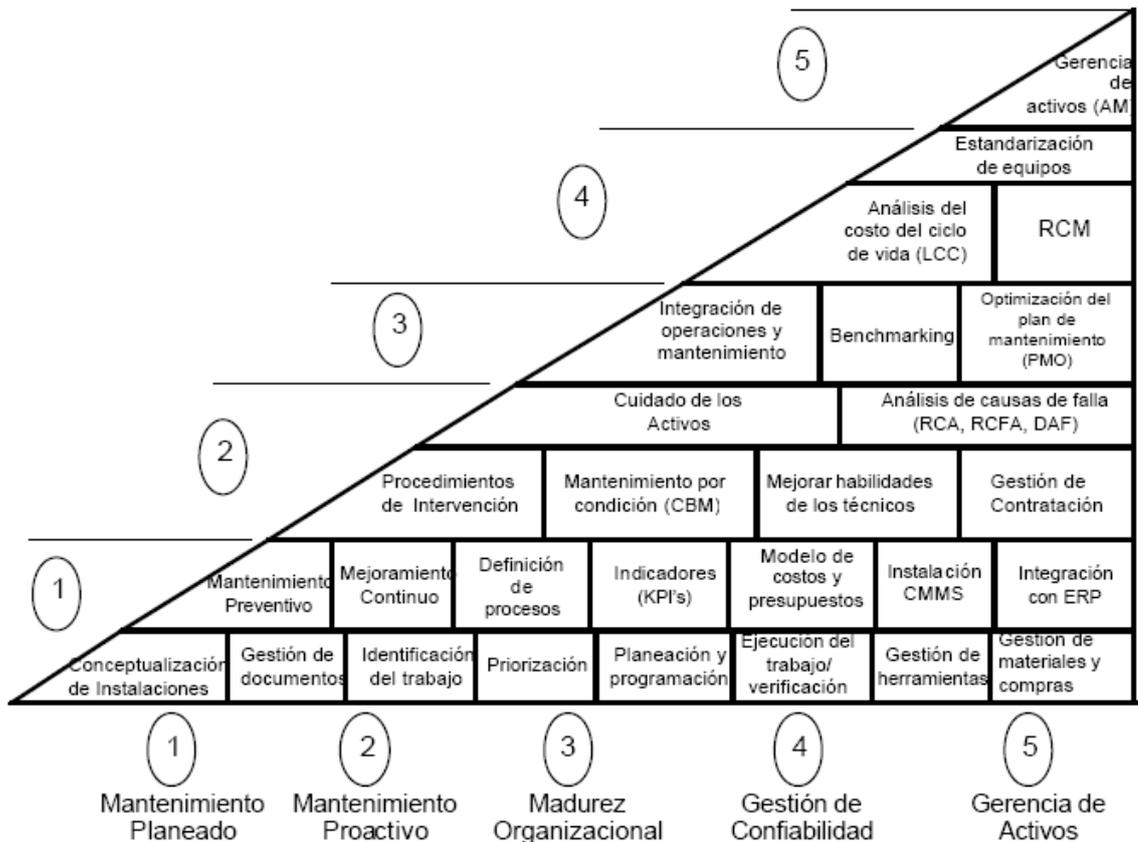


Fig.2.2. Evolución del mantenimiento de clase mundial.

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, define esta filosofía como “el conjunto de las mejores prácticas operacionales y de mantenimiento, que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas”. La categoría Clase Mundial, exige la focalización de los siguientes aspectos:

- Excelencia en los procesos medulares.
- Calidad y rentabilidad de los productos.
- Motivación y satisfacción personal y de los clientes.
- Máxima confiabilidad.
- Logro de la producción requerida.
- Máxima seguridad personal.
- Máxima protección ambiental.

2.2.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

2.2.2.1. Concepto

“Proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”⁴.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se desarrolló durante un período de 30 años. Uno de los acontecimientos principales de su desarrollo fue un reporte comisionado por el departamento de Defensa de los Estado Unidos para United Airlines y preparado por Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978. El reporte brindó una descripción integral del desarrollo y la aplicación del RCM, en la industria de la aviación civil y sentó las bases de la mayoría del trabajo hecho en este campo fuera de la industria aeronáutica en los últimos 20 años.

En una realidad cambiante con tendencia a la globalización, los gerentes de todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al mantenimiento con el objeto de evitar arranques fallidos y trabas que provienen de estos cambios. *“Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía”⁵.* Si es aplicado correctamente, el RCM transforma y conecta las relaciones existentes entre los activos físicos, sus usuarios, operadores y mantenedores. De igual manera, permite que nuevos bienes o activos sean integrados con gran efectividad, precisión y rapidez al contexto operacional en análisis.

^{4,5} J. Moubray, “RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, Ed. 2004

El RCM permite determinar la forma más efectiva de manejar el mantenimiento. Su objetivo central es el aumento de la Confiabilidad con el costo más efectivo posible. **Costo efectivo no significa el menor costo:** es el menor costo necesario para alcanzar la confiabilidad deseada y podría ser mayor que el que se tenía al principio.

Tomando un enfoque de ingeniería, el manejo de activos físicos se basa en dos acciones: debe ser mantenido y periódicamente quizás necesite ser modificado. Mantener, en general, significa preservar algo. Entonces, surgen las preguntas obvias: ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿cuál es el estado existente que deseamos preservar? La respuesta a estas interrogantes se centra en el hecho lógico de que todo activo es puesto en funcionamiento porque alguien desea que cumpla una función determinada. Por lo tanto, mantener un activo significa preservar el estado en el que continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga. Los requerimientos del usuario dependen de dónde y cómo se utilice el activo: lo cual se define como contexto operacional.

2.2.2.2. Ventajas

- **Mayor seguridad e integridad ambiental:**
El RCM reduce o elimina los riesgos identificables concernientes a seguridad de los activos y el medio ambiente, incorporándolos a la toma de decisiones de mantenimiento.
- **Mayor funcionamiento operacional:**
El RCM permite asociar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para cada activo y también las acciones derivadas en caso que no se pueda aplicar el mantenimiento.
- **Mayor costo-eficacia del mantenimiento:**
El RCM centra su atención en las acciones de mantenimiento de mayor impacto en el desempeño de la planta lo que asegura que

toda inversión se realice en áreas donde se obtengan los mejores resultados.

- **Mayor vida útil de componentes costosos:**

Reducción de los costos de mantenimiento por unidad producida.

- **Mayor motivación del personal y trabajo en equipo:**

El proceso de implementación del RCM requiere del involucramiento e interacción del personal de las distintas áreas que conforman a la empresa, incrementando el sentido de pertenencia y fomentando el trabajo en equipo.

2.2.2.3. Desventajas:

- Debido a la complejidad del proceso de implementación, se requiere de personal con el conocimiento necesario para la aplicación de la metodología y el desarrollo de procedimientos.
- Los resultados generalmente son a mediano y largo plazo lo cual puede ser un motivo de descontento por parte de las jefaturas que exigen, en su mayoría, resultados inmediatos.
- Los paradigmas antiguos de mantenimiento son difíciles de cambiar en el personal cuya mentalidad se enfoca en un mantenimiento tradicional, siendo insensibles al cambio. En nuestro país esta es la mayor desventaja.

2.2.3. Jerarquización de Activos. Análisis de Criticidad.

El análisis de criticidad es “una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis”⁶. Matemáticamente, la criticidad se puede expresar como:

⁶ Huerta Rosendo, EL ANALISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGIA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL, Venezuela

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 2.3⁷. El establecimiento de criterios se basa en los seis criterios fundamentales nombrados anteriormente. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

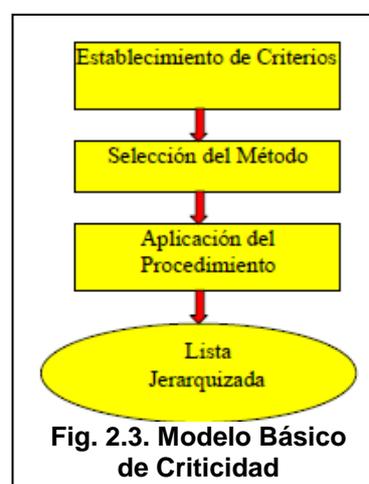


Fig. 2.3. Modelo Básico de Criticidad

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

⁷ Huerta Rosendo, EL ANALISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGIA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL, Venezuela

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento e inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

2.2.4. Las 7 Preguntas del RCM

Cualquier proceso RCM debe responder satisfactoriamente a siete (7) preguntas en la secuencia indicada⁸:

- 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 o RTF**)

⁸ J. Moubray, "RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad", Ed. 2004

2.2.4.1. Funciones

Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer se divide en dos categorías:

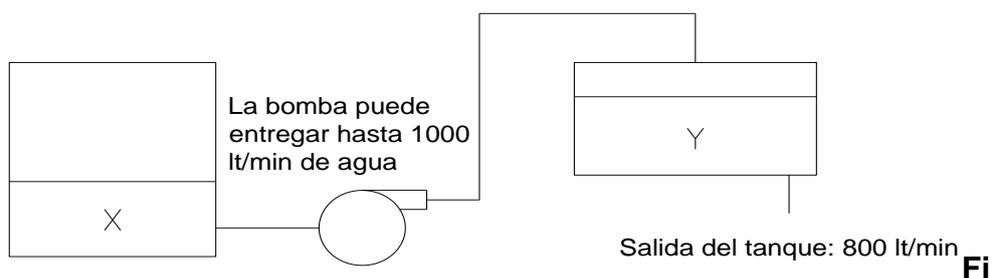
1- Funciones Primarias:

“La razón por la cual cualquier organización adquiere cualquier activo o sistema para que cumpla una función o funciones específicas”⁹.

2- Funciones Secundarias:

“Reconocen qué se espera de cada activo que haga más que 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 regulaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo”¹⁰.

Normativamente, se requiere que cada función sea detallada en su contenido con un verbo, un objeto y un estándar de desempeño parametrizados en cada caso de ser posible. Ej. En la figura 2.4 se muestra una bomba que transporta agua de un tanque al otro.



g. 2.4. Detalle de función de una bomba

La función primaria de esta bomba se describe como **“bombear agua del tanque X hacia el tanque Y a no menos de 800 lt/min”**.

⁹ SAE JA 1012, A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, 2002

¹⁰ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

En este caso, el verbo es “**bombear**”, el objeto es “**agua**” y el estándar de desempeño parametrizado es “**del tanque X al tanque Y a no menos de 800 lt/min**”.

2.2.4.2. Fallas Funcionales

“Es el estado en el cual el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable”¹¹. Tomando el ejemplo anterior, se puede tener como función secundaria el “contener agua sin fugas”. Al analizar los distintos escenarios de falla se puede tener un estado en el que la bomba sea capaz de transportar la cantidad requerida de agua (cumple la función principal) con una fuga considerable (no cumple la función secundaria). Por ello, es más preciso definir la falla en función de la pérdida de una función específica en lugar de la falla del activo en conjunto. Para esto, deben considerarse dos puntos adicionales:

1- Falla Total:

Estado de falla en el cual el activo pierde su función principal en su totalidad (negación del verbo). En el ejemplo anterior, la falla total se produce cuando la bomba no transporta agua en lo absoluto, es decir, no bombea.

2- Falla Parcial:

Estado de falla en el cual el activo cumple con su función principal fuera de los parámetros de desempeño especificados. Para ello, deben también definirse los límites superior e inferior de desempeño del activo. En el ejemplo, una falla parcial de la bomba se daría cuando transporta agua a menos de 800 lt/min (incumplimiento de parámetros de desempeño).

¹¹ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

2.2.4.3. Análisis FMEA

El mantenimiento cumple con sus objetivos cuando se adopta una política correcta de manejo de fallas. Previo a esto, debe identificarse qué fallas deben ocurrir. El RCM propone dos niveles:

- 1- Identificar las circunstancias que llevaron a la falla (modos de falla).
- 2- Identificar qué eventos pueden provocar que el activo falle (efectos y consecuencias de falla).

2.2.4.3.1. Modos de Falla

“Un evento simple que causa una falla funcional”¹². Deben detallarse todos los hechos que de manera razonable pueden haber causado cada estado de falla. Los modos de falla “razonablemente posibles” son aquellos que han sucedido en equipos similares o iguales en el mismo contexto operativo, toda falla que están siendo prevenidas con programas de mantenimiento existentes y todas aquellas que no han ocurrido pero que tienen alta probabilidad de ocurrencia en el contexto operativo en análisis. Para optimizar el análisis, es necesario incluir fallas por error humano y/o de diseño. Adicionalmente, debe detallarse con la mayor precisión la causa de la falla sin profundizar en exceso.

2.2.4.3.2. Efectos y Consecuencias de Falla

El efecto de falla describe qué es lo que ocurre cuando se suscita cada modo de falla. Para ello, se necesita recolectar toda la información necesaria para el posterior análisis de la consecuencia de falla correspondiente, tales como:

¹² SAE JA 1012, A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, 2002

- ¿Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido?
- ¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)?
- ¿De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)?
- ¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

El RCM reconoce que las consecuencias de falla son más importantes que sus características técnicas y que la única razón para realizar cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es el evitar las fallas *per se* sino el minimizar o evitar las consecuencias de la falla. Se clasifican a las consecuencias de falla en:

- **Consecuencias de fallas ocultas:**
Exponen fallas múltiples con consecuencias serias o catastróficas. Se asocian a sistemas de protección si seguridad inherente
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:**
Se considera una consecuencia para la seguridad si afecta a la integridad física de las personas. Se tienen consecuencias ambientales, si se infringe alguna regulación o estatuto medioambiental.
- **Consecuencias Operacionales:**
Si afecta a la producción
- **Consecuencias No-Operacionales:**
Sólo infringen al costo directo de reparación. No tienen impacto ni en la producción ni en la seguridad o medioambiente.

2.2.4.4. Tareas Proactivas del Mantenimiento

2.2.4.4.1. Generalidades, Teoría del envejecimiento de maquinaria y equipos

El enfoque tradicional sugería que los equipos operan confiablemente durante un período X y luego se desgastan (fig. 2.5)¹³. Con ello, se podría planear acciones preventivas un tiempo antes de que ocurra la falla.

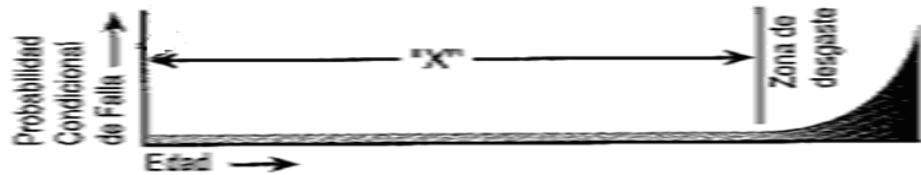


Fig. 2.5. Perspectiva tradicional de la falla.

Esto era aplicable para equipos simples y algunos componentes complejos con modos de falla dominantes. Actualmente, los equipos son mucho más complejos y sus patrones de falla son diferentes. En la figura 2.6 se muestran algunos patrones de falla para componentes mecánicos y eléctricos.

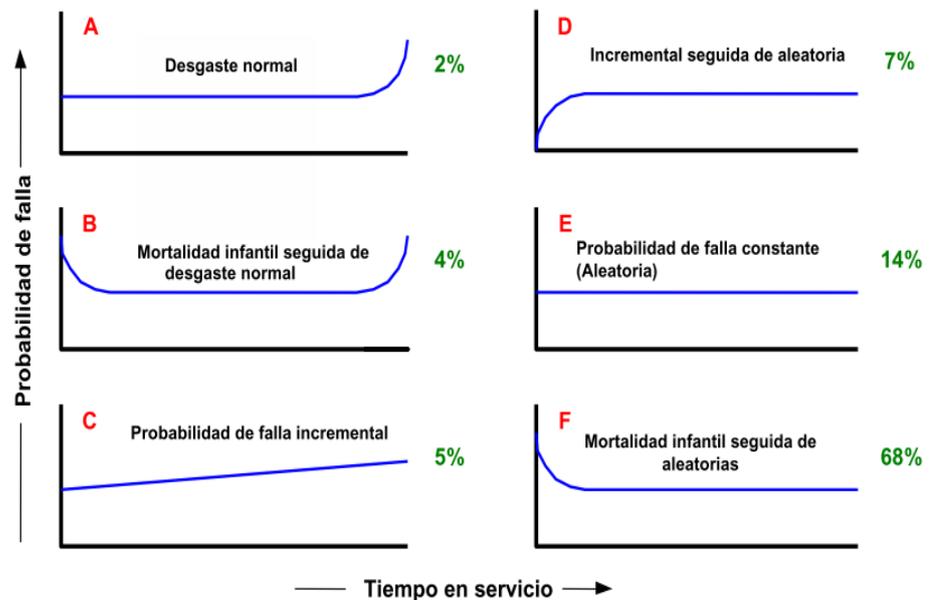


Fig. 2.6. Patrones de falla actuales

¹³ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

- **Patrón A:** Muestra una probabilidad constante o de lento incremento, terminando en la zona de desgaste. Abarca el 2% de elementos.
- **Patrón B:** Muestra la tradicional curva de la “bañera”. Comenzando con un alto índice de falla (“mortalidad infantil”). Se estima que un 4% de elementos se ajustan a este patrón.
- **Patrón C:** Muestra un crecimiento lento de la probabilidad condicional de falla sin un período de desgaste identificable. Abarca el 5% de elementos.
- **Patrón D:** Muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo con un crecimiento rápido hasta un nivel constante. Abarca el 7% de elementos.
- **Patrón E:** Muestra una probabilidad constante en todas las edades (falla al azar). Abarca el 14% de elementos.
- **Patrón F:** Muestra una alta probabilidad de falla en su inicio (mortalidad infantil) decreciendo hasta una probabilidad de falla constante o de crecimiento muy lento. Abarca el 68% de elementos.

Con estos nuevos conceptos, se rompe el paradigma antiguo que conectaba a la confiabilidad con la edad operacional del activo, que daba a lugar a la creencia de que “mientras más se interviene a un activo, menos probabilidades tiene de fallar”. Actualmente, poco o nada incide la cantidad de intervenciones que se realicen a un activo y, de hecho, puede incrementar el índice de mortalidad infantil. Esto nos lleva a retomar el concepto de tareas proactivas. El RCM las divide en 3 grupos:

- 1- Tareas de Reacondicionamiento Cíclicas
- 2- Tareas de Sustitución Cíclica
- 3- Tareas a Condición

Para evaluar si vale la pena realizar tareas proactivas, éstas deben reducir las consecuencias de la falla en tal grado que justifique los costos directos e indirectos de realizarlas.

Adicionalmente, debe analizarse si es técnicamente factible realizarlas, lo que se define como:

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca la consecuencia del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptado por el dueño o usuario del activo”¹⁴.

Técnicamente, existen dos puntos a considerar para la selección de tareas proactivas:

- 1- Relación entre la edad del componente que se está considerando y la probabilidad de que falle.
- 2- Qué sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.

En el siguiente punto se analizan las tareas en las que si existe la relación edad – falla (tareas de reacondicionamiento o sustitución cíclicas o preventivas); en el punto subsecuente se detallarán los casos cuando no existe esta relación (tareas a condición o predictivas)

2.2.4.4.2. Tareas de Reacondicionamiento o Sustitución Cíclicas (Restauración o desincorporación)

Los paradigmas antiguos exponían que todo equipo tenía un patrón de falla tipo B expuesto anteriormente en la figura 2.6 y en mayor detalle en la figura 2.7¹⁵:

¹⁴, ¹⁴ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

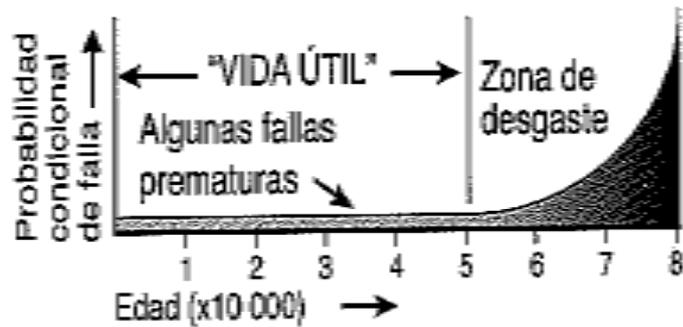


Fig.2.7. Patrón B. Efecto de las fallas prematuras

Actualmente, todavía se asume que los componentes que realizan tareas similares se desgastaran de manera similar en un periodo de tiempo con fallas prematuras durante su utilización. Los patrones de falla asociados con la edad aplican para componentes simples o componentes complejos con modos de falla dominantes; además de otros factores como fatiga, corrosión, evaporación y oxidación. Las características del desgaste ocurren generalmente cuando el equipo entra en contacto con el producto. Ej. Impulsores de bombas, tolvas, asientos de válvulas, sellos, etc.

Las tareas de reacondicionamiento cíclico indican sustituir o reacondicionar la capacidad de un componente antes de un límite de edad específica, sin importar la condición del activo en ese momento.

Las tareas de sustitución cíclicas consisten en descartar un componente o elemento de un límite de edad específica, sin importar la condición del activo en ese momento.

Cabe tomar en cuenta que los dos términos: reacondicionamiento y sustitución pueden envolver una misma tarea por lo cual es necesario, determinar el nivel de análisis para aplicar el término correspondiente.

Ej. El impulsor de un bomba se desgasta de manera predecible por lo cual se lo puede cambiar en intervalos fijos, la tarea de reacondicionamiento puede transformarse en una de sustitución, siendo así, la sustitución cíclica del impulsor y el reacondicionamiento cíclico de la bomba.

Por ello, se consideran al reacondicionamiento a la sustitución dentro del mismo enfoque pero su diferencia se vuelve importante cuando se encuentran a un mismo nivel de análisis. Ej. **El sello mecánico puede sufrir desgaste en sus caras cada cierto tiempo. En este caso es aplicable realizarse la tarea de lapeado de las caras (reacondicionamiento cíclico) o el cambio total del sello mecánico (sustitución cíclica).**

La frecuencia de este tipo de tareas se determina por la edad en la que el componente o elemento presenta un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla, es decir, cada componente tiene una vida-límite que el RCM la divide en dos, con especial énfasis en la seguridad:

- 1- Límite de vida – segura.
- 2- Límite de vida – económica.

Factibilidad Técnica

Las tareas de reacondicionamiento o sustitución cíclicas son técnicamente factibles si:

2.2.4.4.2.1 Tareas de reacondicionamiento cíclico

- 1- Existe un intervalo (edad) identificable en el que el elemento muestre un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla.

- 2- La mayoría de elementos sobreviven a este intervalo (en el caso de consecuencias a la seguridad o ambiente, deben ser todos los elementos).
- 3- Se recupera la condición original (100%) del elemento o componente.

2.2.4.4.2 Tareas de sustitución cíclicas:

- 1- Existe un intervalo (edad) identificable en el que el elemento muestre un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla.
- 2- La mayoría de elementos sobreviven a este intervalo (en el caso de consecuencias a la seguridad o ambiente, deben ser todos los elementos).

2.2.4.4.3. Tareas a Condición

El incremento de los nuevos tipos de manejo de falla se debe a la continua necesidad de prevenirlas dejando de lado las técnicas clásicas para hacerlo. La gran parte de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de ellas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. *“Estas advertencias se denominan fallas potenciales y se define como condiciones físicas identificables que indican que una falla potencial esta por ocurrir o en proceso de ocurrir”*¹⁶.

A este tipo de tareas se la asocia con el mantenimiento predictivo ya que los componentes se dejan en servicio a *condición* de que continúen cumpliendo parámetros de desempeño deseados. La aplicación de este tipo de tareas es una excelente opción para el manejo de fallos pero debe ser analizada su factibilidad ya que puede resultar en una pérdida de tiempo y dinero.

¹⁵ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

Cuando se habla de tareas a condición, se tiene que analizar el rango P-F (falla: potencial – funcional). Para ello, se debe empezar con el hecho de que existe poca o ninguna relación entre la edad (tiempo en funcionamiento) de un activo y la probabilidad de que este falle. Aunque esto es cierto, también es verdad que la mayoría de modos de falla dan indicios de que están en proceso o a punto de ocurrir. A este estado, se lo denomina falla potencial. En la figura 2.8¹⁷ se muestra la curva P-F que detalla las instancias finales de la falla.

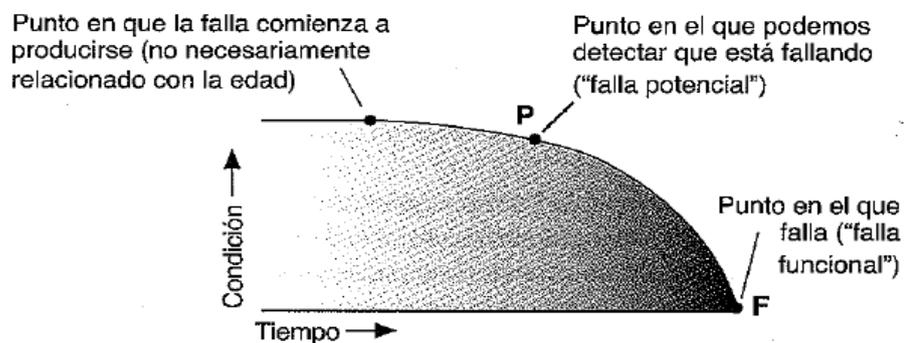


Fig. 2.8. Curva P-F

Las tareas a condición consisten en inspeccionar o verificar la existencia de fallas potenciales para actuar en función de prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la misma. Adicionalmente es necesario determinar el intervalo de tiempo desde la detección de la falla potencial hasta la ocurrencia de la falla funcional, al que se lo denomina intervalo P-F (figura 2.9¹⁸).

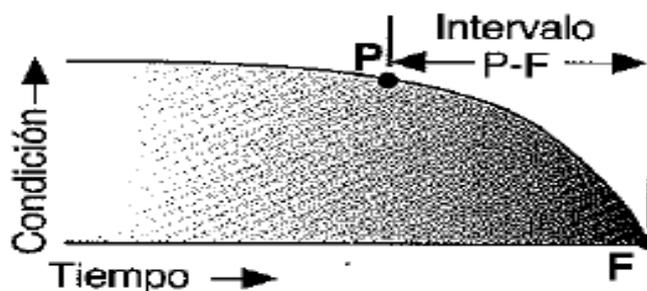


Fig. 2.9. Intervalo P-F

¹⁶ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

Dicho intervalo regula la frecuencia de realización de las tareas a condición que debe ser a intervalos menores al P-F. Ahora, existe el punto en el que se *descubre* la falla potencial con una técnica de monitoreo específica. El tiempo transcurrido desde el descubrimiento de la falla potencial hasta la ocurrencia de la falla funcional se conoce como intervalo P-F neto. En la figura 2.10¹⁹ se muestra un ejemplo cuya frecuencia de inspección es mensual, obteniendo un intervalo P-F neto de 8 meses, siendo el intervalo P-F de nueve meses:

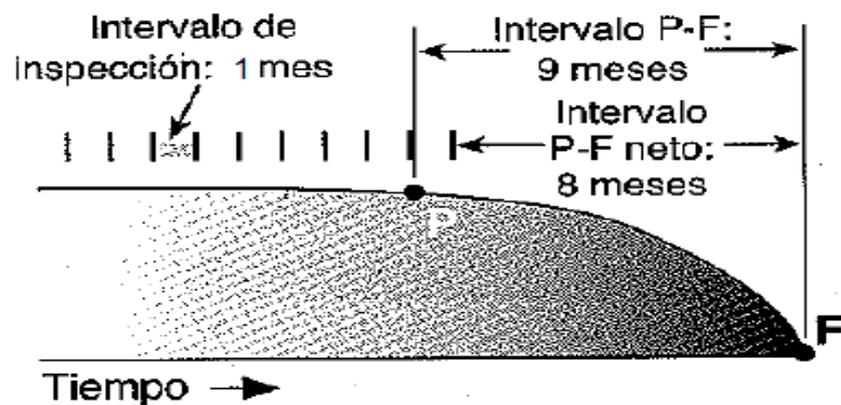


Fig.2.10. Intervalo P-F neto

Factibilidad Técnica:

Una tarea a condición es técnicamente factible si:

- 1- Es posible definir una condición clara de una falla potencial.
- 2- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- 3- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al P-F.
- 4- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de utilidad.

^{17,19} Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

2.2.4.4.4 Tareas de Búsqueda de Fallas

Involucra revisar periódicamente funciones ocultas para ver si han fallado.

Sí con la consecución de una tarea proactiva no podemos asociarlo a un modo de falla, las acciones “a falta de” están regidas por las consecuencias de fallo de la siguiente manera:

Acciones “a falta de”

- Si la tarea proactiva asociada a la “función oculta” no presenta una solución a la falla, entonces es necesario realizar una tarea de búsqueda de fallas periódico. Si no se encuentra una la solución con la búsqueda de fallas, la acción “a falta de” una solución sería el rediseño.
- Si no se puede encontrar una tarea proactiva que reduzca el daño potencial al medio ambiente, necesaria mente se debo considerar obligatoriamente el rediseño del componente o el cambio del proceso.
- Si no se puede encontrar una tarea proactiva que cueste menos en el periodo de una falla operacional, la acción a falta de primaria seria: no realizar un mantenimiento programado. Si esto ocurre y las consecuencia operacionales siguen siendo inaceptables, la acción secundaria a falta de seria nuevamente el rediseño.

Las acciones a falta de en el marco de análisis del RCM, responden a la 7ma pregunta de la ejecución del proceso.

Es importante y necesario mencionar que en el proceso de decisión del RCM, las tareas de rediseño del sistema analizado no están contempladas, sin embargo las tareas de rediseño de los procesos de operación (Procedimiento

escrito) si pueden ser contemplados de acuerdo a la falla que produzca.

La ubicación de las tareas “a falta de” una solución en el marco de decisión se muestran en la figura 2.11²⁰

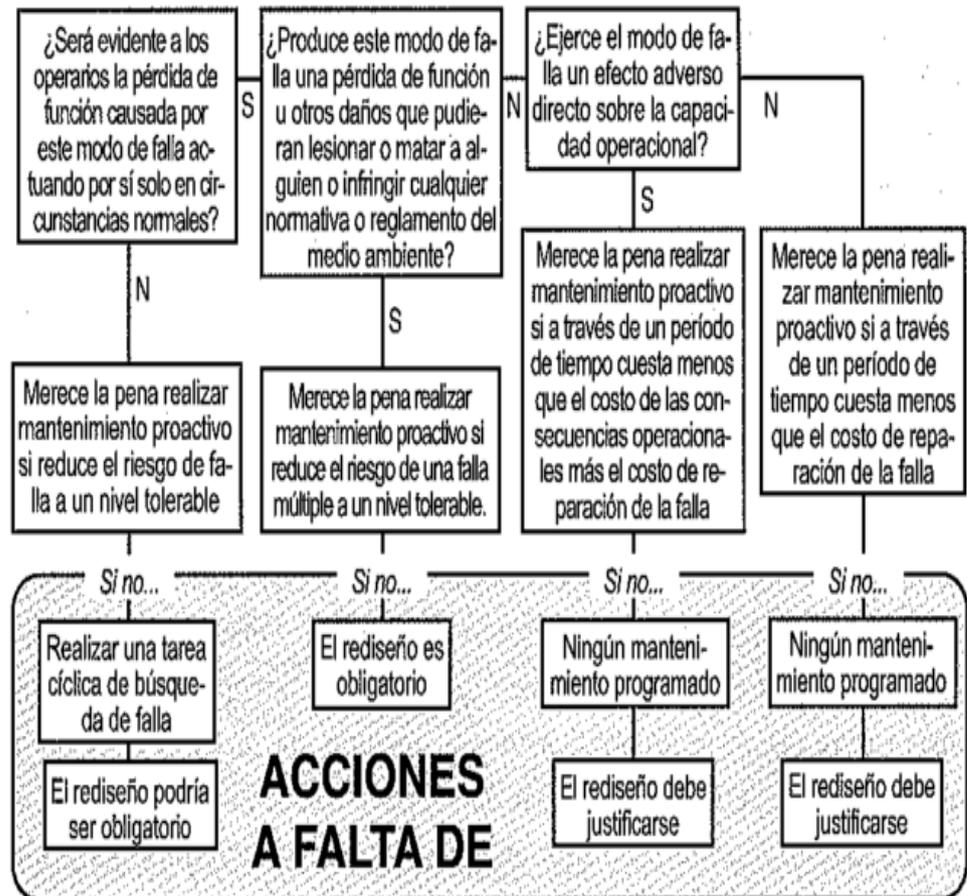


Fig.2.11. Acciones “A Falta De”

Con la aplicación de la herramienta de la fig. 2.11 se escoge la tarea que se debe realizar, si las tareas de mantenimiento basadas en condición, reacondicionamiento o sustitución no son aplicables, en este caso la solución recae en el rediseño de elementos o procesos dependiendo del caso.

En el presente proyecto solo se reconoce el rediseño de procesos.

²⁰ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

Búsqueda de falla.

En casi todos los análisis estamos considerando únicamente las acciones para los 3 tipos de mantenimiento más comunes: Predictivo, correctivo y preventivo. Sin embargo, existe algunas tareas que no están contempladas dentro de estos contextos, a esas tareas las llamamos *tareas de búsqueda de fallas*.

Estas tareas son simplemente las que realizamos para ver si algo sigue en funcionamiento, por ejemplo: las alarmas contra incendios, nadie las cheque periódicamente o se tiene un plan para cambiarle alguna pieza, solo se las activa para ver si están funcionando aun.

La búsqueda de fallas aplica únicamente a las fallas ocultas o no reveladas, a su vez, estas afectan únicamente a los equipos de protección.

De hecho si en la industria moderna se aplicara correctamente el RCM, nos daríamos cuenta de que el 40% de los modos de falla caen dentro de esta categoría.

Fallas múltiples y búsqueda de fallas.

Ocurre una falla múltiple cuando falla una función protegida y un dispositivo de protección se encuentra en modo de falla.

Por ejemplo:

En un vehículo no vamos a saber cuándo se ha quemando al luz del faro mientras no tengamos un dispositivo que nos indique el problema, por lo cual la vamos a revisar si todavía está funcionando hasta notar que ha fallado y poder reemplazarla.

Las tareas cíclicas de búsqueda de fallas consisten en chequear una función oculta en intervalos regulares para ver si ha fallado.²¹

²¹ Moubray, John, RCM II Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Ed. 2004

Aspectos técnicos de la búsqueda de fallas.

El objetivo de la búsqueda de fallas es darnos la certeza de que el dispositivo de seguridad va a funcionar cuando sea requerido. En otras palabras no estamos analizando si se bien sino estamos comprobando si todavía funciona como debería por esta razón, también se conoce esta tarea como: *Chequeos Funcionales*.

Para cumplir con este objetivo, debemos seguir los siguientes pasos:

- *Chequeare el sistema de protección completo:* esto significa que vamos a detectar todos los modos de falla que puedan hacer que el dispositivo de seguridad falle.
- *No perturbarlo:* muchas veces al realizar un chequeo debemos desarmar el dispositivo y esto puede llevar a un mal armado, donde la falla oculta no será visible hasta el próximo chequeo o hasta que se necesite de él, es decir lo dejaremos en estado de falla. Por esta razón si no es necesario desarmar el equipo para chequearlo es mejor que no lo perturbemos para que su funcionamiento siga siendo el adecuado.
- *Debe ser físicamente posible chequear la función.*
- *Minimizar el riesgo mientras la tarea está siendo realizada:* Si una tarea de búsqueda de fallas va a resultar en una consecuencia de falla múltiple o si el sistema a analizar representa un riesgo contra la seguridad, la tarea debe ser suspendida y buscar otra alternativa para corregirla.
- *La frecuencia debe ser práctica:* En la tarea de búsqueda de fallas, el intervalo se lo debe realizar de acuerdo a las necesidades que se presenten.

Intervalo de búsqueda de fallas, Disponibilidad y Confiabilidad.

Para ser practico en este análisis y entender de mejor forma los pasos a seguir, este intervalo se lo explicará con el siguiente ejemplo:

Tenemos 10 tornos paralelos que han funcionado durante 4 años, los 2 rodamientos del motor eléctrico al menos han fallado una vez al año y se los chequea cada año (sin que sea en el intervalo del chequeo general del torno).

¿Cuál es mi disponibilidad?

Si tengo una disponibilidad del 99% cual es mi intervalo de búsqueda de fallas?

Tiempo total de vida en servicio de la flota de taxis:

No. De tornos X años de servicio

10 tornos x 4 años de servicio c/u

Entonces: 40 años en servicio

Tiempo medio entre falla de los rodamientos (TMEF) o en ingles (MTBF)

$$\frac{\text{Años_de_servicio}}{\text{Fallas_en_el_periodo}}$$

40 años en servicio/ 2 fallas por año

Entonces: 20 años en servicio real

Como no sabemos exactamente cuándo fallo el rodamiento, asumimos que en promedio cada uno falló a medio año por lo cual:

Estado de falla= No. De fallas X promedio de fallas

Estado de falla= 2 X ½ año por falla

Entonces: 1 año en estado de falla.

Por lo cual el promedio de NO-DISPONIBILIDAD (N-D) de los rodamientos viene dado por:

$$N - D = \frac{\text{Años_en_estado_de_falla}}{\text{Años_en_servicio_real}} = 1 / 20 \quad \text{Entonces}$$

s: 5%

Lo que significa que la disponibilidad de los rodamientos fue del 95%

Si tengo una disponibilidad del 99%, quiere decir que mi no disponibilidad es del 1% por lo cual el FFI (Failure Finding Interval) o intervalo de búsqueda de fallas viene dado por

$$FFI = 2 \times N - D \times M_{TOR}$$

Donde:

M_{TOR} = Tiempo medio entre fallas del dispositivo.

Entonces:

$$FFI = 2 \times 1\% \times 2 \text{ años} = 2\% \text{ de } 24 \text{ Meses} \approx 1/2 \text{ mes}$$

Por lo tanto para obtener un disponibilidad del 99% los mantenedores de los tornos deben revisar si sus rodamientos están funcionando correctamente, dos veces al mes.

2.2.4.5. Mantenimiento a la Falla (Run To Fail)

Esta filosofía de "bombero" se conoce en la actualidad como mantenimiento reactivo o reparativo. ²² Es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia tareas de mantenimiento y, a requerimientos de producción que generan políticas como la de "repara cuando falle" (Run To Fail).

RTF, simplemente responde a los fallos cuando estos ocurren.

En un primer estudio, podría considerarse como el sistema más económico, pero las empresas pueden tener grandes dificultades a la hora de sustituir o reparar un equipo sin ninguna previsión.

Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente sin acciones de mantenimiento predictivo o preventivo, los tiempos medios entre fallos (MTBF) se acortan, resultando en más paradas, más reparaciones los costos por impacto total son mayores que si se hubiera inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas.

²² www.preditec.com/aplicaciones/filosofias-mantenimiento/mantenimiento-reactivo

CAPÍTULO III

ANALISIS DE CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA

3.1. Inventario técnico de los Activos (Tabla 3.1)

INVENTARIO TALLER DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS_BASE1				
NOTA:El presente inventario aplica unicamente a los equipos que van ser analizados con las filosofias RCM, FMEA				
AREA DE TORNOS				
#	CODIGO	DESCRIPCION	MOTOR CONDUCTOR	VARIOS
1	<u>MH-01-TP</u>	Tomo Paralelo SUMMIT, Apertura Maxima de husillo 12"	20 HP-220/440 V-22/1500 rpm	Sin referencia
2	<u>MH-02-TP</u>	Tomo Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	25 HP-500 rpm-220/440 V	Sin referencia
3	<u>MH-03-TP</u>	Tomo Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	25 HP-500 rpm-220/440 V	Sin referencia
4	<u>MH-05-TP</u>	Tomo Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	10HP-220/440 V	Sin referencia
5	<u>MH-07-TP</u>	Tomo Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	10HP-220/440 V	Sin referencia
6	<u>MH-08-TP</u>	Tomo Paralelo KURAKI, Apertura Maxima de husillo 12 1/2"	30HP-220/440 V	Sin referencia
7	<u>MH-09-TP</u>	Tomo Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 10"	25 HP-1750 rpm-220/440 V	Sin referencia
8	<u>MH-01-CN</u>	Tomo control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 10"	24 HP-60hz-1460 rpm-220/440 V	Tomo de precision.
9	<u>MH-02-CN</u>	Tomo control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 13"	18kw-60hz-1460 rpm-220/440 V	Tomo de precision.
10	<u>MH-01-TR</u>	Taladro Radial CARLTON, Diametro de columna 15"	15HP-220/440 V	Sin referencia
11	<u>MH-01-FR</u>	Fresadora Vertical CINCINATI	30HP-1800rpm-220V	Sin referencia
12	<u>MH-02-FR</u>	Fresadora Universal LAGUN	3HP-2940rpm-220V	Sin referencia
13	<u>MH-01-CO</u>	Compresor AIR MACHINE	2HP-60hz-7.5/15A-110V	Para tomo KURAKI
14	<u>MH-02-CO</u>	Compresor De Aire INGERSOLL RAND	3HP-60hz.1200rpm-230V	Para tomo MH-01-CN (CNC)
15	<u>MH-03-SI</u>	Sierra Eléctrica KALAMAZOO	5HP-75rpm-230/460V	Sin referencia
16	<u>MH-01-EH</u>	Equipo hidráulico para alinentación de CNC-01	15HP-1500rpm-220V	Diseño propio de la empresa
17	<u>MH-01-PG</u>	Tecele Eléctrico, 3 Toneladas	60hz-3420 rpm-230/460V	Sin referencia
18	<u>MH-02-PG</u>	Tecele Eléctrico, 2 Toneladas	60hz-2280 rpm-230/460V	Sin referencia
19	<u>MH-03-PG</u>	Tecele Eléctrico, 3 Toneladas	60hz-3420 rpm-230/460V	Sin referencia
20	<u>MH-04-PG</u>	Tecele Eléctrico, 2 Toneladas	60hz-2280 rpm-230/460V	Sin referencia
AREA DE SUELDA				
#	CODIGO	DESCRIPCION	MOTOR CONDUCTOR	VARIOS
1	<u>SO-02-HB</u>	Equipo Hard Band	60 hz-1600 rpm-230/460V	Automática.
2	<u>SO-03-HB</u>	Equipo Hard Band con Soldadora LINCOLN	Generador de combustion interna	Semiautomática.
3	<u>SO-01-PA</u>	Maquina de Plasma	1/2 HP-230V	Sin referencia
4	<u>SO-02-RE</u>	Rectificadora, BRIDGEFORD	15-HP-60 hz-1600 rpm-230/460V	Sin referencia
5	<u>SO-03-RE</u>	Rectificadora horizontal, NORTON GRINDING MACHINE	30 HP-60hz-1165rpm-230/460V	Diseño propio de la empresa
6	<u>SO-01-PG</u>	Tecele Eléctrico, 2 Toneladas	60hz-2280 rpm-230/460V	Sin referencia
7	<u>SO-02-PG</u>	Tecele Eléctrico, 3 Toneladas	60hz-3420 rpm-230/460V	Sin referencia

3.2. Descripción de la norma ISO 14224

Esta norma internacional nos da las pautas para desarrollar de mejor forma la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural, que pueden extenderse a otras actividades e industrias con su correcta aplicación.

Esta norma toma los parámetros del mantenimiento RCM y presenta los lineamientos para la recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan **cuantificar la confiabilidad de equipos** y compararlos con otros de características similares.

Los parámetros de confiabilidad pueden utilizarse en las fases de:

- Diseño y montaje
- Operación
- Mantenimiento

Los principales objetivos de la norma son:

A) Especificar los datos que será recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y plantas
- Costo del ciclo de vida
- Planteamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

B) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio entre plantas
- Asegurar que los datos sean de calidad suficiente para el análisis que se desea realizar.

Si bien la norma está orientada al riesgo de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de operación, como también la

calificación de la jerarquía de las fallas. Parte desde el modo de falla, (pérdida de la función) hasta el detalle de la **causa de falla** y el componente que provoca el evento.

Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad en detalle de análisis, acotando el nivel al que llega el técnico mecánico y las que quedan para un especialista, como metalografía y fractomecánica, etc.

3.3. Jerarquización de la maquinaria por su criticidad

Nueve preguntas ISO 14224²³:

EHS (Environment, healthy saifty):

- ¿Es un equipo de soporte de vida?
- ¿La falla o falta del equipo afecta la seguridad del personal, la comunidad o eficiencia de los planes de evacuación?
- ¿La falla o falta del equipo puede resultar en un daño significativo al ambiente?

NEGOCIO:

- ¿Tiene el equipo respaldo o reserva (back up)?
- ¿La falla o falta del equipo afectaría al 5 % de la producción total del campo?
- ¿La falla o falta del equipo afectaría a la producción de una o varias máquinas y herramientas?
- ¿La falla o falta del equipo puede causar un significativo impacto a través del proceso, residuos o inconformidades en las especificaciones del proceso?
- ¿Es un equipo sujeto a códigos y/o regulaciones que puede resultar en una violación contractual o una inconformidad con el cliente o un ente regulador, está sujeto a auditorias?
- ¿Es el equipo vital para la integridad del proceso?

²³ Norma: ISO/DIS 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries: Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

HERRAMIENTA PARA DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE MAQUINARIA

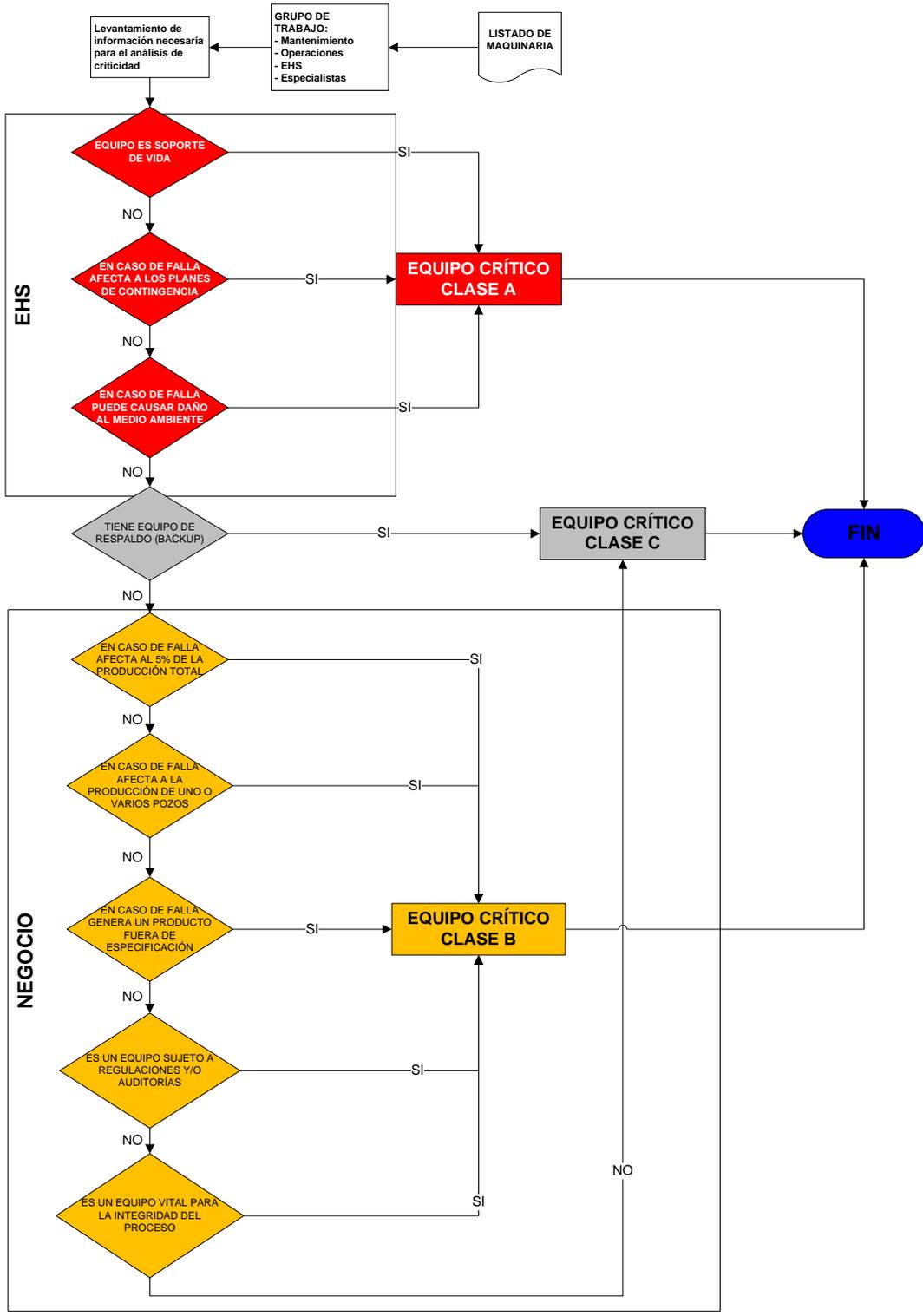


Fig.3.1 Herramienta para determinación de criticidad

Calificación general de los equipos del taller de máquinas y herramienta (Tabla 3.2)

MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN Y CRITICIDAD DE ACTIVOS												
Codigo	DESCRIPCION	LOCACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
MH-01-TP	Torno Paralelo SUMMIT, Apertura Maxima de husillo 12"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-02-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
MH-03-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
MH-05-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
MH-07-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
MH-08-TP	Torno Paralelo KURAKI, Apertura Maxima de husillo 12 1/2"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-09-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 10"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-01-CN	Torno control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 10"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-02-CN	Torno control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 13"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-01-TR	Taladro Radial CARLTON, Diametro de columna 15"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
MH-01-FR	Fresadora Vertical CINCINATI	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
MH-02-FR	Fresadora Universal LAGUN	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
MH-01-CO	Compresor AIR MACHINE	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
MH-02-CO	Compresor De Aire INGERSOLL RAND	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B
MH-03-SI	Sierra Eléctrica KALAMAZOO	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B
MH-01-EH	Equipo hidráulico para alineación de CNC-01	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B
MH-01-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C
MH-02-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C
MH-03-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C
MH-04-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C
SO-02-HB	Equipo Hard Band	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
SO-03-HB	Equipo Hard Band con Soldadora LINCOLN	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C
SO-01-PA	Maquina de Plasma	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B
SO-02-RE	Rectificadora, BRIDGEFORD	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
SO-03-RE	Rectificadora horizontal, NORTON GRINDING MACHINE	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B
SO-01-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C
SO-02-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C

Equipos críticos con calificación “B” después del análisis. (Tabla 3.3)

MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN Y CRITICIDAD DE ACTIVOS													
Criterio:			H. salud	HES 1	HES 2	HES 3	B. UP	BUS. 1	BUS. 2	BUS. 3	BUS. 4	BUS. 5	CALIF.
A: "S" si del 1 al 3. Crítico para SSA.			S. seguridad	Este es un equipo de soporte de vida?	La falla funcional o falta del equipo afecta la seguridad del personal, la comunidad o eficiencia de los planes de evacuación	La falla funcional o falta del equipo puede resultar en un daño significativo al ambiente?	Tiene Backup?	Afecta al 5% de la producción total de la empresa?	Afecta a la producción de una o varias máquinas-herramientas?	La Falla funcional genera un producto fuera de especificación?	Es un Equipo sujeto a regulaciones y/o auditorías?	Es vital para la integridad del proceso?	Calificación
B: "S" si del 5 al 9. Crítico para Operaciones			E. ambiente										
C: "S" en la 4. No crítico			P. producción Q. calidad										
CODIGO	DESCRIPCION	LOCACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL	
MH-01-TP	Torno Paralelo SUMMIT, Apertura Maxima de husillo 12"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-08-TP	Torno Paralelo KURAKI, Apertura Maxima de husillo 12 1/2"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-09-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 10"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-01-CN	Torno control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 10"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-02-CN	Torno control numerico CNC, Apertura Maxima de husillo 13"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-01-TR	Taladro Radial CARLTON, Diametro de columna 15"	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	
MH-01-FR	Fresadora Vertical CINCINATI	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	
MH-02-FR	Fresadora Universal LAGUN	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	
MH-01-CO	Compresor AIR MACHINE	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	
MH-02-CO	Compresor De Aire INGERSOLL RAND	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	S	B	
MH-03-SI	Sierra Eléctrica KALAMAZOO	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B	
MH-01-EH	Equipo hidráulico para alinentación de CNC-01	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B	
SO-01-PA	Maquina de Plasma	Base 1	N	N	N	N	S	S	N	S	S	B	
SO-02-RE	Rectificadora, BRIDGEFORD	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	
SO-03-RE	Rectificadora horizontal, NORTON GRINDING MACHINE	Base 1	N	N	N	N	S	S	S	S	N	B	

Equipos críticos con calificación “C” después del análisis. (Tabla 3.4)

MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN Y CRITICIDAD DE ACTIVOS													
Criterio:			H. salud	HES 1	HES 2	HES 3	B. UP	BUS. 1	BUS. 2	BUS. 3	BUS. 4	BUS. 5	CALIF.
A: "S" si del 1 al 3. Crítico para SSA.			S, seguridad	Este es un equipo de soporte de vida?	La falla funcional o falta del equipo afecta la seguridad del personal, la comunidad o eficiencia de los planes de evacuación	La falla funcional o falta del equipo puede resultar en un daño significativo al ambiente?	Tiene Backup?	Afecta al 5% de la producción total de la empresa?	Afecta a la producción de una o varias máquinas-herramientas?	La Falla funcional genera un producto fuera de especificación?	Es un Equipo sujeto a regulaciones y/o auditorias?	Es vital para la integridad del proceso?	Calificación
B: "S" si del 5 al 9. Crítico para Operaciones			E, ambiente										
C: "S" en la 4. No crítico			P, producción Q, calidad										
CODIGO	DESCRIPCION	LOCACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL	
MH-02-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
MH-03-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 8"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
MH-05-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
MH-07-TP	Torno Paralelo GURUTZPE, Apertura Maxima de husillo 4"	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
MH-01-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	
MH-02-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	
MH-03-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	
MH-04-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	
SO-02-HB	Equipo Hard Band	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
SO-03-HB	Equipo Hard Band con Soldadora LINCOLN	Base 1	N	N	N	S	N	N	S	S	S	C	
SO-01-PG	Tecle Eléctrico, 2 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	
SO-02-PG	Tecle Eléctrico, 3 Toneladas	Base 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	

CAPÍTULO IV

HOJA DE INFORMACIÓN: ANALISIS FMEA.

4.1. Descripción de la Normas SAE JA 1011, filosofía FMEA.

Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada componente de una máquina o equipo, es un proceso metódico en el cual se busca encontrar las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que ocurran con el propósito de minimizar el riesgo asociado a la misma.

Los principales objetivos son:

- Reconocer y evaluar los modos de falla potenciales y las causas asociadas al diseño y montaje, operación y mantenimiento de un equipo a partir de sus componentes.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema, identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Cuantificar riesgos y confiabilidad.
- Documentar el proceso.

FMEA llega a los modos de falla de la supuesta falla de un componente.

Una tormenta de ideas en RCM no asegura que se identifiquen todos los modos de falla. Si se consideran desde un principio todos los modos de falla estándar para cada equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional y se listan sistemas y subsistemas, componentes, causa de falla y descriptores de falla y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera ninguna falla supuesta que afecte a las funciones del equipo.

Los operadores y los mantenedores, están muy identificados con las fallas funcionales y las causas que las provocan.

4.2. Definición del Entorno Operativo.

La empresa WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC. Se encuentra ubicada en la Ciudad de el Coca, en la avenida Alejandro Labaka junto al aeropuerto.

Tiene como objetivo principal: Lograr la satisfacción total de los clientes internos y externos, y cumplir con los requisitos acordados mutuamente la primera y todas las veces, siempre protegiendo el bienestar de todo el personal, los activos y el medio ambiente.

En la figura 4.1 se muestra la disposición de las instalaciones.

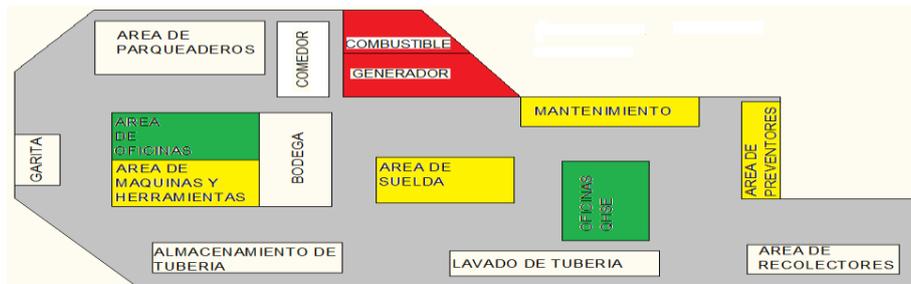


Fig.4.1

Disposición de la empresa Base 1

Opera a través de sus dos divisiones (figura 4.2²⁴): *Evaluation, Drilling and Intervention Services (EDI)*, *Completion and Production Systems (CPS)* con Pipeline and Specialty Services (PSS) como parte de su estructura.

EDI	CPS
<p>Unidad de Negocio WCIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alquiler de Herramientas de Perforación • Instalación de Tubería de Revestimiento • Intervención de Pozos • Liner Hangers • Productos de Cementación • Sistemas de Construcción de Pozos <p>Unidad de Negocio PDES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicios de Perfilaje de Pozos • Perforación Direccional • Perforación Bajo Balance • Servicios de Prueba de Pozos • Servicios de Interpretación o Geociencia 	<p>Servicios y productos de completación de pozos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de Levantamiento Artificial • Electrosumergibles, hidráulicos, mecánicos • Plunger • Bombeo de Cavidad Progresiva y Gas Lift • Sistemas de Control de Arenas • Completación Inteligente • Línea de Provisión de Químicos <p style="text-align: center;">PSS</p> <p>Servicios de Oleoductos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza interna de oleoductos • Mantenimiento de oleoductos

Fig.4.2 Operaciones que realiza la empresa

²⁴ Documento de la empresa Auspiciante. Derechos reservados

El trabajo de producción que viene ligado con el área de mantenimiento en análisis, en la medida de disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria, tiene que ver con la cantidad de tubería y herramientas que se procesen a diario. En la actualidad la empresa WEATHERFORD tiene bajo este concepto una producción total de:

- En el área de mecanizado (Roscas): 1600 roscadas al mes en cualquier accesorio que involucre el procedimiento de perforación de pozos.
- En el área de suelta (Hard Band): 320 herramientas (martillos, estabilizadores) y tubería.

Para cumplir este trabajo la empresa cuenta con las siguientes máquinas:

LISTADO GENERAL DE MAQUINAS EN EL AREA DE ANALISIS: MAQUINAS-HERRAMIENTAS.		
AREA DE TORNOS		
ORD	MAQUINA	CANTIDAD
1	Tornos Paralelos	7
2	Tornos CNC	2
3	Taladro Radial	1
4	Compresores	2
5	Sierra Eléctrica	1
6	Fresadoras	2
7	Equipo Hidráulico	1
8	Tecles	4
TOTAL		20
AREA DE SUELDAS		
ORD	MAQUINA	CANTIDAD
1	Suelda Hard Band	2
2	Maquina de Plasma	1
3	Rectificadora	2
4	Tecles	2
TOTAL		7
TOTAL GENERAL		27

Tabla 4.1 Listado general de Máquinas

Toda esta operación se desarrolla en base a los operadores que cumplen con un horario de trabajo diario de 8 horas en turnos mensuales de 21-7 es decir cada veintidós días laborables tienen siete libres. De esta forma la producción es constante a menos que surgiera alguna falla en las máquinas-herramientas donde sea necesaria la intervención de cualquier

tipo de mantenimiento en el cual los operadores doblaran sus turnos para cumplir con la producción.

4.3. Determinación de la taxonomía.

La taxonomía es una clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos basados en factores comunes de varios de los puntos (ubicación, uso, etc. Subdivisión de un equipo). Una clasificación de los datos pertinentes que deben recogerse por esta la norma ISO14224.

Los niveles de 1 a 5 son la clasificación de alto nivel que se refiere a las industrias y la aplicación de las plantas, independientes de la unidad de equipo que se trate. Esto se debe a una unidad de equipos que pueden ser utilizados en diferentes industrias, Ej. Motor eléctrico, y las configuraciones de la planta, y para analizar la factibilidad de los equipos en el contexto operativo.

La tabla 4.21 Muestra la taxonomía general de la empresa.

NIVEL DE TAXONOMÍA	JERARQUÍA	DEFINICIÓN
1	Industria	Petróleo y Gas Natural
2	Categoría del Negocio	Servicios petroleros
3	Categoría de la instalación	Servicios petroleros
4	Categoría de la planta	EDI, CPS
5	Sistema de selección	Mecanizado y Suelda

Tabla 4.2 Taxonomía

4.4. Determinación del límite del sistema a analizar.

El límite del sistema determina el alcance del análisis en un equipo establecido en el diagrama funcional, es decir los componentes dentro del rango seleccionado, de acuerdo a la información del diagrama EPS (Entrada, Proceso, Salida) el cual está ligado directamente con la determinación de la función principal parametrizada.

A continuación se detalla el diagrama EPS y el diagrama funcional con su respectivo límite para el **Torno de control numérico MH-01-CN**.

MÁQUINA		
MH-01-CN		
ENTRADA	PROCESO	SALIDA
INSUMOS	Realizar las roscas utilizando la velocidad, el paso, el número de hilos por pulgada según códigos API o TENARIS, de acuerdo a la necesidad del cliente.	PRODUCTO
Aceite SAE 10		Roscado en la tubería de perforación de acuerdo a especificaciones.
Corriente eléctrica trifásica		
Voltaje: 220V		
Frecuencia: 60HZ		
Amperaje: 20-400A		
SERVICIOS		CONTROLES
Sistema de enfriamiento de materia prima	CRITICIDAD	Control de calidad de los parámetros especificados según el código utilizado para el correcto mecanizado.
	EQUIPO CRÍTICO "B"	RESIDUOS
CONTROLES		Viruta del proceso de roscado. Recolectada y almacenada
Sistema de control numérico y variador de velocidad		

Tabla 4.3 Diagrama EPS, Torno MH-01-CN

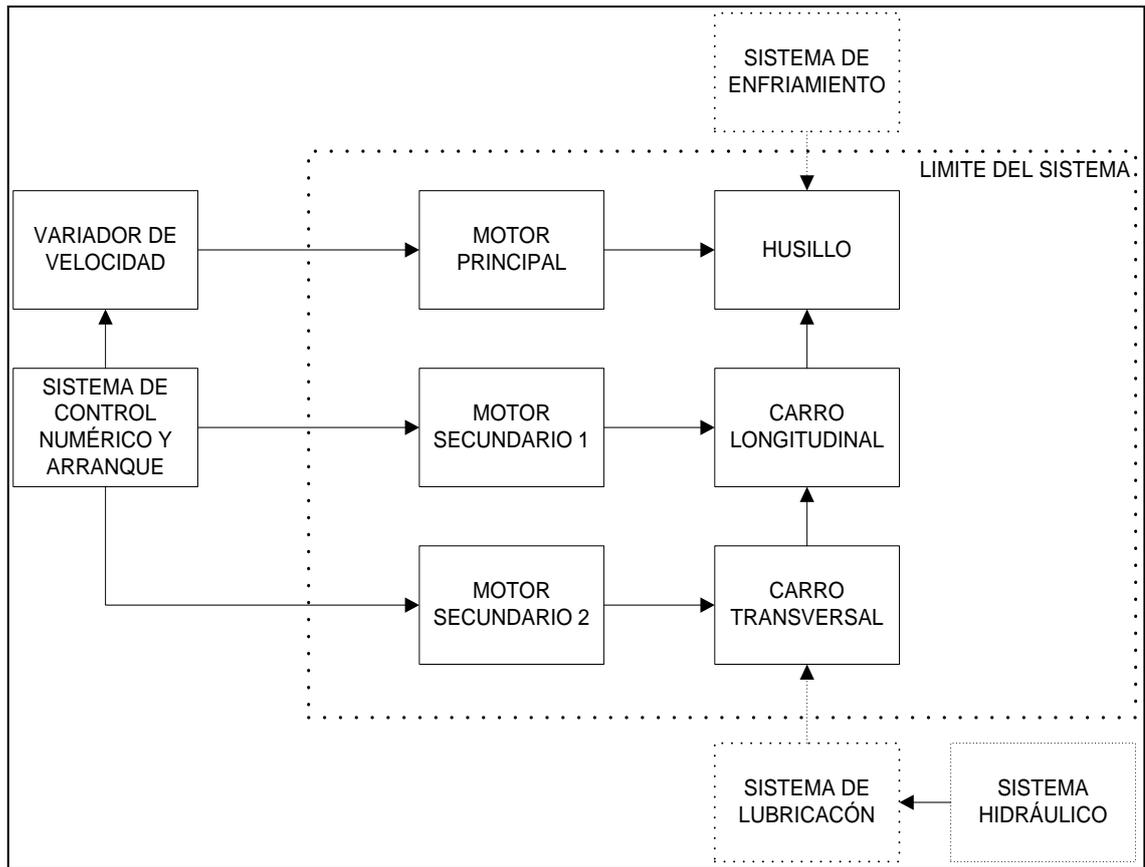


Fig.4.3 Diagrama Funcional y Límite del Sistema para torno MH-01-CN

4.5. Definición de la Función Principal parametrizada.

Como se expuso anteriormente en el capítulo 2, la Función Principal es lo que el dueño desea que la máquina haga.

En el desarrollo del presente proyecto, este análisis se lo realizó para cada máquina con clasificación de criticidad B como indica la norma.

Para tener un ejemplo claro de cómo se debe expresar la Función principal, vamos a tomar como base el **Torno KURAKI MH-08-TP** donde su función principal es:

Generar movimiento rotativo que permita realizar los trabajos de roscado o cilindrado a los elementos de perforación según especificaciones API, TENARIS.

Entonces:

- **El verbo:**
Generar movimiento rotario.
- **El objeto:**
Elementos de perforación.
- **Desempeño parametrizado:**
Roscado o cilindrado según especificaciones API o TENARIS.

4.6. Análisis de Modos de fallo asociados a la función.

El modo de falla funcional, que es un evento que causa una falla funcional, debe ser bien detallado para cada máquina. Puede ser que este ya ha ocurrido regularmente en un equipo o que es probable que ocurra dentro del contexto operativo en análisis.

Para explicarlo de mejor forma. No es lo mismo decir:

Daño en el rodamiento, que:

Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación, ya que esta forma tenemos una idea más clara de lo que ha ocurrido.

A continuación en la tabla 4.4 se detalla los modos de falla del **Torno KURAKI MH-08-TP**.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		MAQUINA			Fecha:	
		MH-08-TP				
#	FUNCION	#	FALLA FUNCIONAL	PARTE ASOCIADO	# FM	MODO DE FALLA
1	Generar movimiento rotativo que permita realizar los trabajos de roscado o cilindrado a los elementos de perforación según especificaciones API, TENARIS.	A	No genera movimiento rotatorio	Motor eléctrico	1	Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.
		A	No genera movimiento rotatorio	Motor eléctrico	2	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación
		A	No genera movimiento rotatorio	Reductor	3	Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.
		A	No genera movimiento rotatorio	Embrague	4	Desgaste del o-ring por tiempo de operación.
		A	No genera movimiento rotatorio	Embrague	5	Desgaste de el/los discos por tiempo de operación.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Carro de avances	1	Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Carro de avances	2	Daño del modulo de expansión del PLC por recargas de energía.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Caja de avances	3	Desgaste de los engranes por tiempo de operación.
		B	No realiza el roscado o cilindrado de acuerdo a las especificaciones.	Eje de roscado	4	Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.

Tabla.4.4 Modos de falla del Torno KURAKI MH-08-TP

4.7. Descripción de Efectos asociados a cada modo de fallo.

En la sección anterior se definió todos los modos de falla asociados a las fallas funcionales. El siguiente paso es detallar la consecuencia producto de la ocurrencia de cada uno de esos fallos. Para ello se debe formular varias preguntas que nos ayuden a describir estas consecuencias. Retomando el ejemplo anterior, se describirá uno de los efectos asociados a los modos de fallo:

Modo de falla: *Ruptura de bandas del reductor por tiempo de uso*

Preguntas para encontrar el efecto asociado al modo de falla:

- **¿Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido?**
La máquina se paraliza completamente, evidente ruptura de bandas.
- **¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)?**
No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente.
- **¿De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)?**
La máquina se paraliza completamente. (No produce)
- **¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla?**
Evidente ruptura de bandas.
- **¿Qué debe hacerse para reparar la falla?**
Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 2 horas.

Con la contestación a cada una de estas interrogantes, nuestro efecto de falla se evidencia con mayor claridad y de esta forma se puede asignar una tarea adecuada de mantenimiento para mitigar el mismo, como se verá en capítulo 5 del proyecto.

En la tabla 4.5 se muestra los efectos asociados a cada modo de falla.

MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	El motor eléctrico se apaga. Se evidencia calentamiento excesivo en la carcasa del motor. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio de contactores en un tiempo estimado de 3 horas.
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	El motor eléctrico se apaga. Se evidencia alta temperatura tangible en el motor. No existe afectación a la seguridad, salud o medio ambiente. Se debe realizar el cambio de rodamientos del motor eléctrico en un tiempo estimado de 4 horas.
Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.	Evidente ruptura de bandas, la maquina se paraliza completamente. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 2 horas.
Desgaste del o-ring por tiempo de operación.	Se evidencia dificultad de movimiento en el mandril. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 5 horas.
Desgaste de el/los discos por tiempo de operación.	Se evidencia dificultad de movimiento en el mandril y se escucha un ruido extraño. No existe afectación a seguridad, salud ni medio ambiente. Se debe realizar el cambio requerido en un tiempo estimado de 8 horas.
Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.	Se aprecia que el raspado no es el correcto a pesar de estar colocadas las especificaciones de trabajo correctamente. No existe afectación a la seguridad o ambiente. Se debe realizar la reparación del tornillo en un tiempo estimado de 4 horas.
Daño del modulo de expansión del PLC por recrgas de energía.	La Maquina se paraliza parcialmente por falta de movimiento automático de carro de avances. No existe afectación a la seguridad o ambiente. Se debe realizar la reposición total del modulo en un tiempo estimado de una hora
Desgaste de los engranes por tiempo de operación.	Se evidencia ruido extraño y dificultad para el movimiento. No existe afectación a la seguridad o medio ambiente. Se debe realizar los trabajos de reparación en un tiempo estimado de 8 horas.
Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.	Se evidencia crecimiento en las tolerancias de fabricación. Presenta ruido de contacto y dificultad de avance. No existe afectación a la seguridad o medio ambiente. Se debe realizar los trabajos de reparación en un tiempo estimado de 8 horas

Tabla.4.5 Modos y Efectos de falla del Torno KURAKI MH-08-TP

CAPÍTULO V

HOJA DE DECISIÓN: DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA

5.1 Aplicación del algoritmo de decisión SAE JA1012: Definición de las tareas de mantenimiento por modo de fallo.

El algoritmo de la norma SAE JA1012 es una herramienta que nos sirve para determinar la tarea de mantenimiento que vamos a ejecutar a cada modo de fallo, basándose en los modos de fallo que sumados den más del 50% del total de la sumatoria de todos los modos de fallo en análisis a demás de varios factores como la seguridad ambiental, la seguridad personal.

Con el siguiente ejemplo nos daremos cuenta la forma de aplicar el algoritmo para cada modo de falla:

MODO DE FALLA	TOTAL
Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	1254,4
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	3245,4
Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.	33,6
Desgaste del o-ring por tiempo de operación.	26
Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.	6206,8
Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.	1689,2
Desgaste de los engranes por tiempo de operación.	1664,2
Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.	2139,2
TOTAL	16258,8
50%	8129,4
VALOR ACTUAL DE MANTENIMIENTO	9452,2

Tabla 5.1 Modos de falla para analizar Torno MH-01-TP

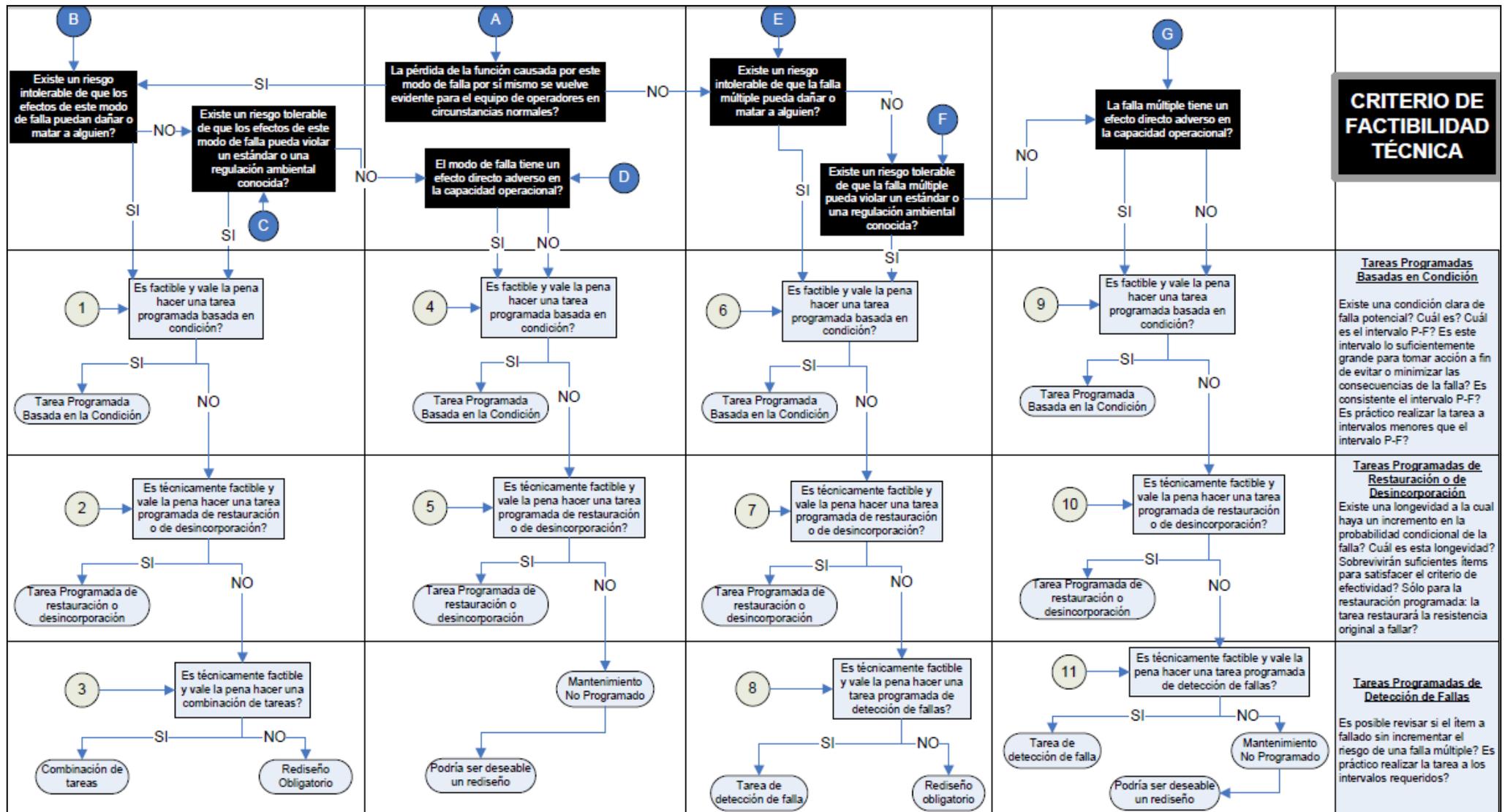


Fig. 5.1 Algoritmo de Decisión Norma SAE JA 1012

En la figura 5.1 se muestra el costo asociado a cada modo de fallo para el torno MH-01-TP, de los cuales vamos a analizar los más altos que sumados entre sí den más del 50% del valor total (resaltados). Con la ayuda de la figura 5.2 vamos a determinar su respectiva tarea de mantenimiento.

Aplicación del algoritmo.

Modo de fallo 1:

Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación

Paso 1. Pregunta A

La pérdida de la función causada por este modo de falla por sí mismo se vuelve evidente para el equipo de operadores en circunstancias normales.

Respuesta: *SI*

Paso 2. Pregunta B

Existe un riesgo intolerable de que los efectos de este modo de falla puedan dañar o matar a alguien?

Respuesta: *NO*

Paso 3. Pregunta C

Existe un riesgo tolerable de que los efectos de este modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental conocida?

Respuesta: *NO*

Paso 4. Pregunta D

El modo de falla tiene un efecto directo adverso en la capacidad operacional?

Respuesta: *SI*

Paso 5. Pregunta 4

Es factible y vale la pena hacer una tarea programada basada en condición?

Respuesta: *SI*

Fin de la aplicación para el modo de fallo 1

Modo de fallo 2:

Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.

Paso 1. Pregunta A

La pérdida de la función causada por este modo de falla por sí mismo se vuelve evidente para el equipo de operadores en circunstancias normales.

Respuesta: *SI*

Paso 2. Pregunta B

Existe un riesgo intolerable de que los efectos de este modo de falla puedan dañar o matar a alguien?

Respuesta: *NO*

Paso 3. Pregunta C

Existe un riesgo tolerable de que los efectos de este modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental conocida?

Respuesta: *NO*

Paso 4. Pregunta D

El modo de falla tiene un efecto directo adverso en la capacidad operacional?

Respuesta: *SI*

Paso 5. Pregunta 4

Es factible y vale la pena hacer una tarea programada basada en condición?

Respuesta: *No*

Paso 6. Pregunta 5

Es técnicamente factible y vale la pena hacer una tarea programada de restauración o de desincorporación?

Respuesta: *No*

Paso 7. Mantenimiento no programado

Podría ser deseable un rediseño.

Fin de la aplicación para el modo de fallo 1

5.2 Estrategias y acciones derivadas.

Una vez que hemos aplicado el algoritmo de decisión, se encuentra la tarea teórica que se debe aplicar para cada modo de fallo y con ella se debe recomendar una tarea aplicativa que evite el mismo.

Las tareas recomendadas para el torno MH-01-TP se muestran en la tabla 5.3:

HOJA DE DECISIÓN				
MODO DE FALLA	TOTAL	TAREA DE MTTO ACTUAL	TAREA DE MTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	3245,4	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto
Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.	6206,8	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Rediseño Operativo	Se recomienda, realizar un procedimiento detallado para la operación del Torno especificando rangos y parámetros permisibles. Dar entrenamiento al personal a cargo de la operación de este equipo.

Tabla. 5.2 Hoja de Decisión

5.3 Indicadores CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad)

Para determinar cada indicador es necesario partir primero de los conceptos básicos de cada uno:

Criterio de confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como: la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es: probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

Se expresa como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Donde:}$$

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante Neperiana (e=2.303..)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t: tiempo

Criterio de mantenibilidad

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En términos probabilísticas, Francois Monchy, define la mantenibilidad como²⁵: “la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O

²⁵ Francois Monchy

simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t”.

Se expresa como:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad \text{Donde:}$$

M (t): es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo

t=0 y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e: constante Neperiana (e=2.303..)

μ :Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: tiempo previsto de reparación TMPR

Criterio de disponibilidad.

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado.

En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

Se expresa como:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad \text{Donde:}$$

D (t): Es la función de la disponibilidad en el tiempo t

TMEF: Tiempo medio entre fallos

TMPR: Tiempo medio para reparar

Aplicación.-

Una vez que entendemos el criterio de cada indicador, en la tabla 5.3 se muestran los datos del tiempo de intervención de mantenimiento durante el año pasado, recopilados de las hojas de datos de la empresa para la máquina en análisis.

MODO DE FALLA	TMPR ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TPR ACTUAL ANUAL	TIEMPO EN OPERACION	TMEF ACTUAL	TMEF ESTIMADO	FAC DE MEJORA
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	4380	182,5	365	2
Desgaste de el/los discos de embrague por errores de operación.	8	2	16	4380	182,5	730	4

Tabla 5.3 Tiempos por modo de falla

A continuación con los datos recopilados previamente, nuestros indicadores CMD son los siguientes:

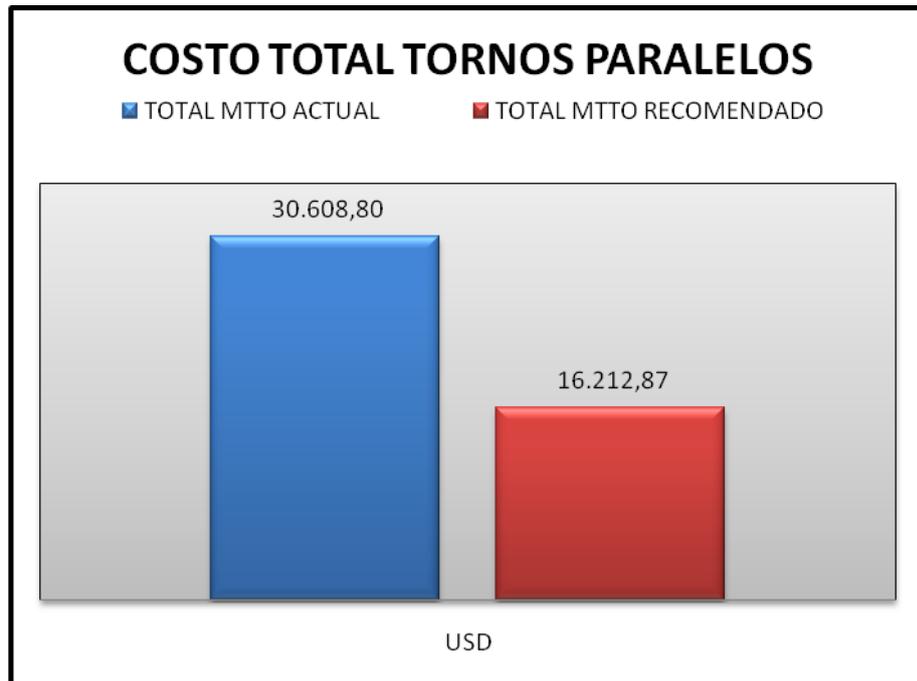
CONFIABILIDAD			DISPONIBILIDAD			MANTENIBILIDAD		
ACTUAL	ESTIMADA	BENEFICIO	ACTUAL	ESTIMADA	BENEFICIO	ACTUAL	ESTIMADA	BENEFICIO
99,45%	99,73%	0,27%	99,82%	99,91%	0,09%	22,12%	100,00%	77,88%
99,45%	99,86%	0,41%	99,63%	99,91%	0,27%	11,75%	100,00%	88,25%

Tabla 5.4 Indicadores CMD para el torno MH-01-TP

5.4 Presentación estadística de resultados.

En los siguientes cuadros se mostrará el beneficio en costo, comparando el costo de las tareas de mantenimiento actuales con el costo que representan las tareas de mantenimiento recomendadas. Esta comparación se la realiza por secciones y luego en general, obteniendo los siguientes resultados:

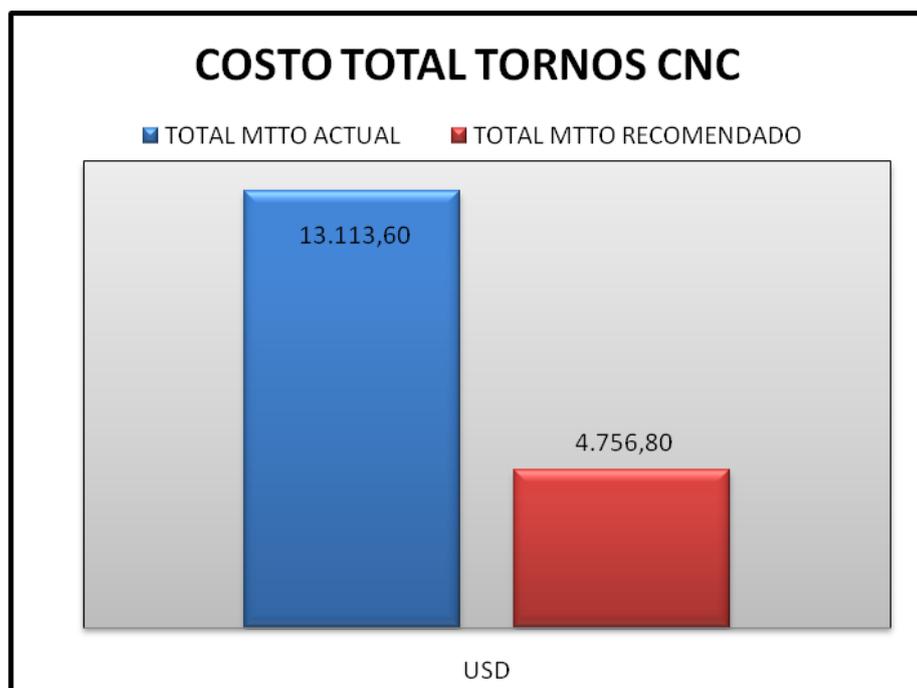
Área de Tornos paralelos.-



Ahorro del 47% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.2 Costo total de mantenimiento Tornos paralelos

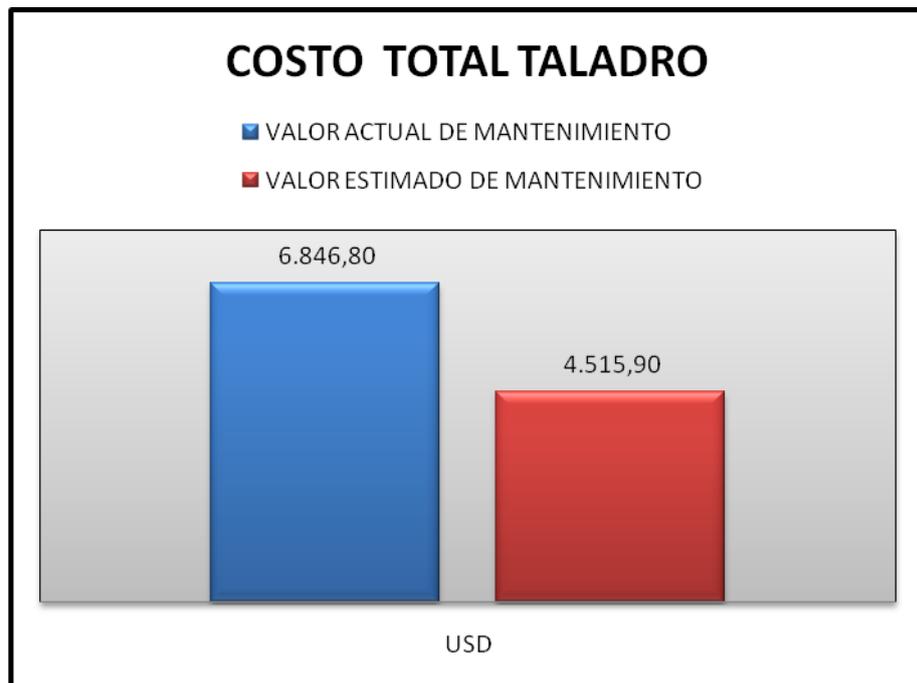
Área de Tornos CNC.-



Ahorro del 64% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.3 Costo total de mantenimiento Tornos CNC

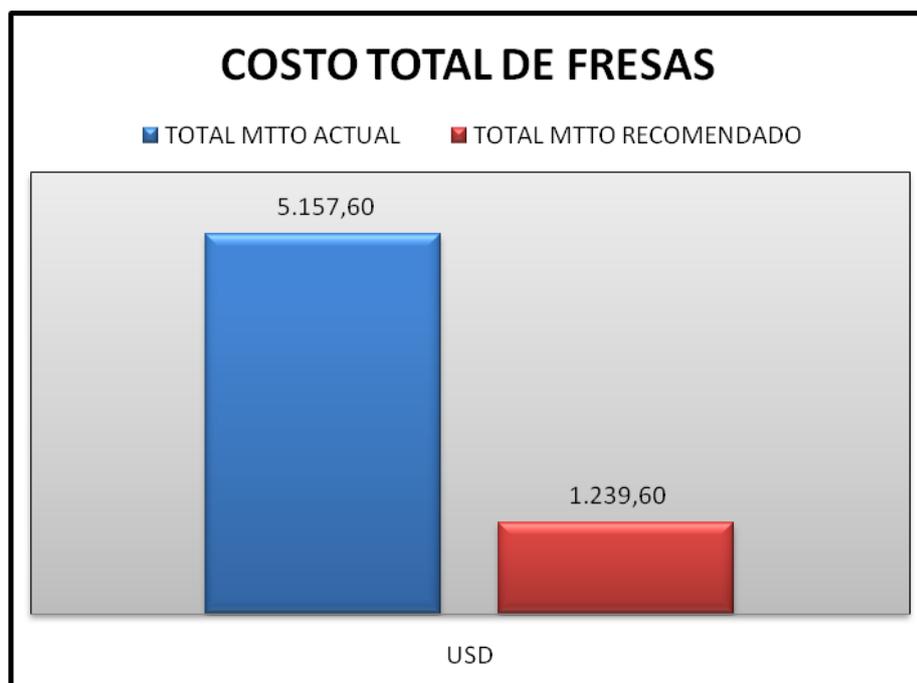
Área de Taladro.-



Ahorro del 34% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.4 Costo total de mantenimiento Taladro

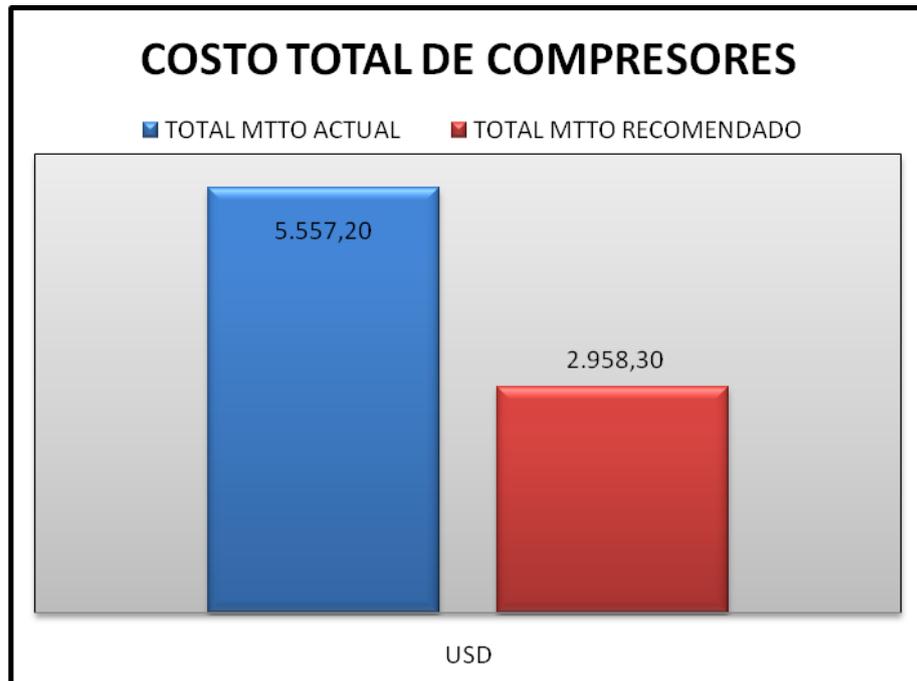
Área de Fresas.-



Ahorro del 76% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.5 Costo total de mantenimiento Fresas

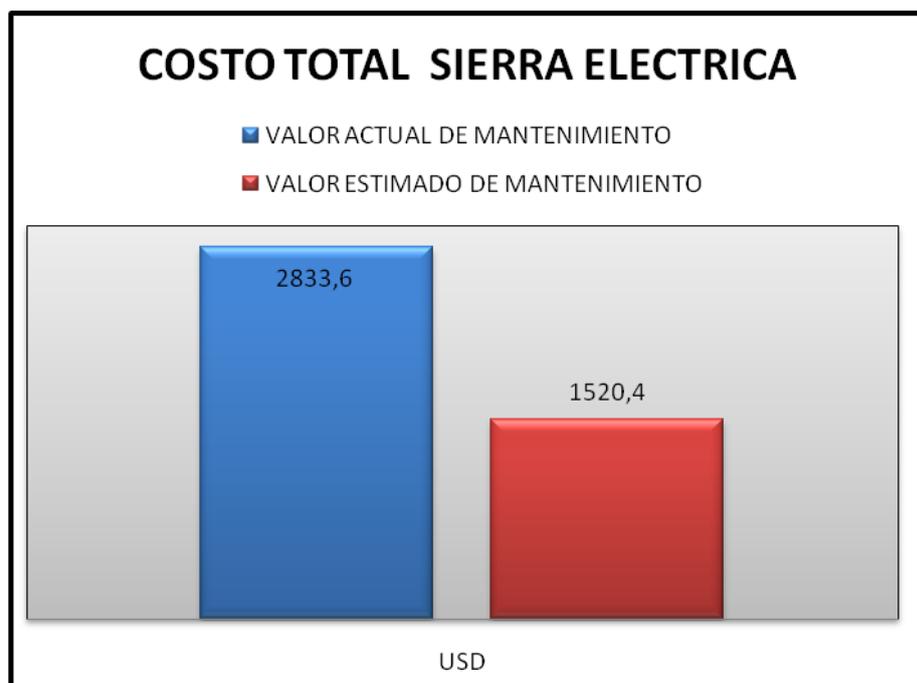
Área de Compresores.-



Ahorro del 47% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.6 Costo total de mantenimiento Compresores

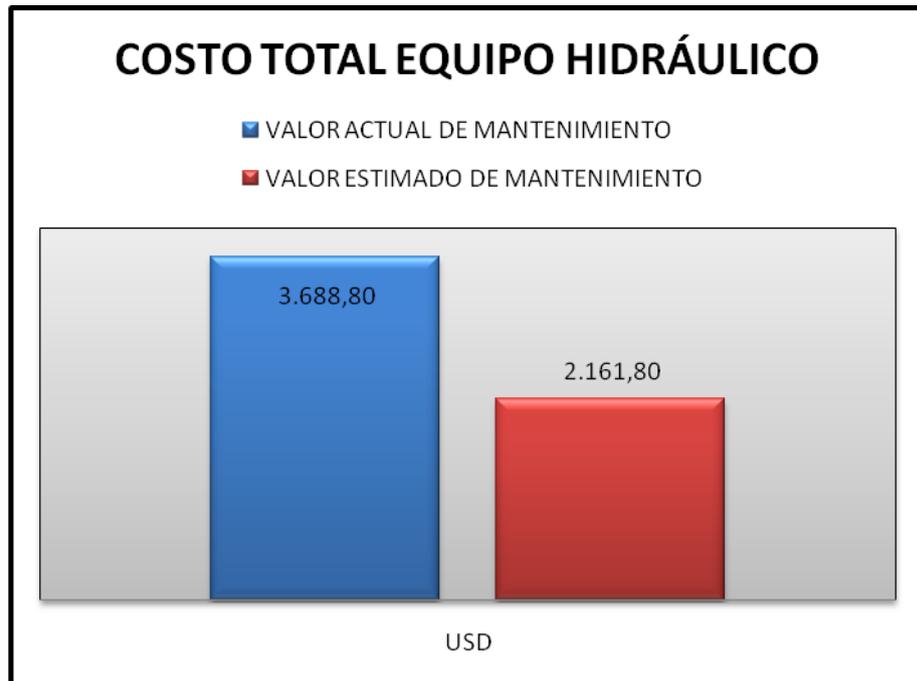
Área de Sierra Eléctrica.-



Ahorro del 46% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.7 Costo total de mantenimiento Sierra Eléctrica

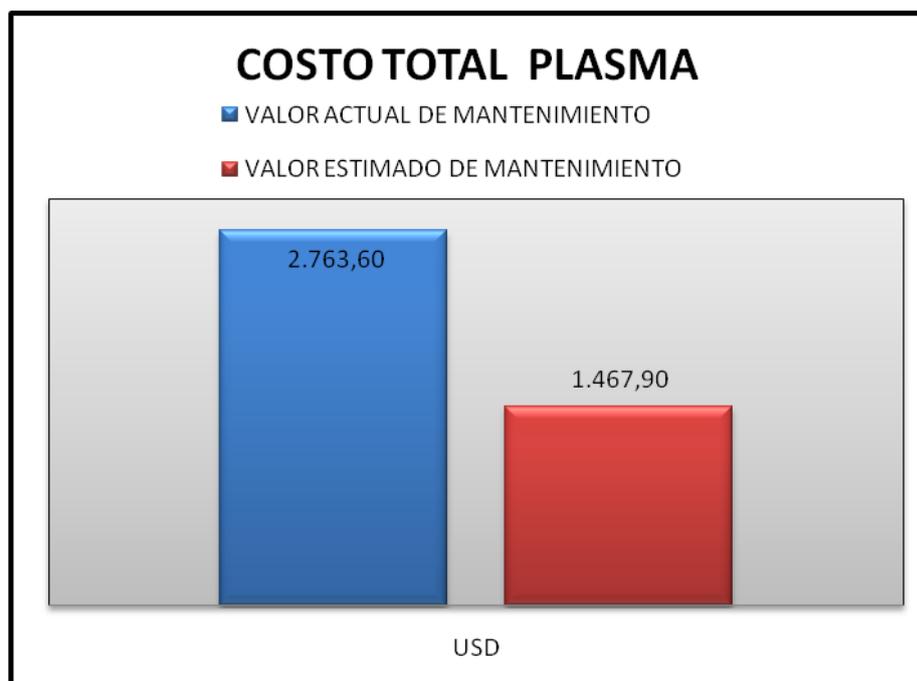
Área de Equipo Hidráulico.-



Ahorro del 3% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.8 Costo total de mantenimiento Equipo Hidráulico

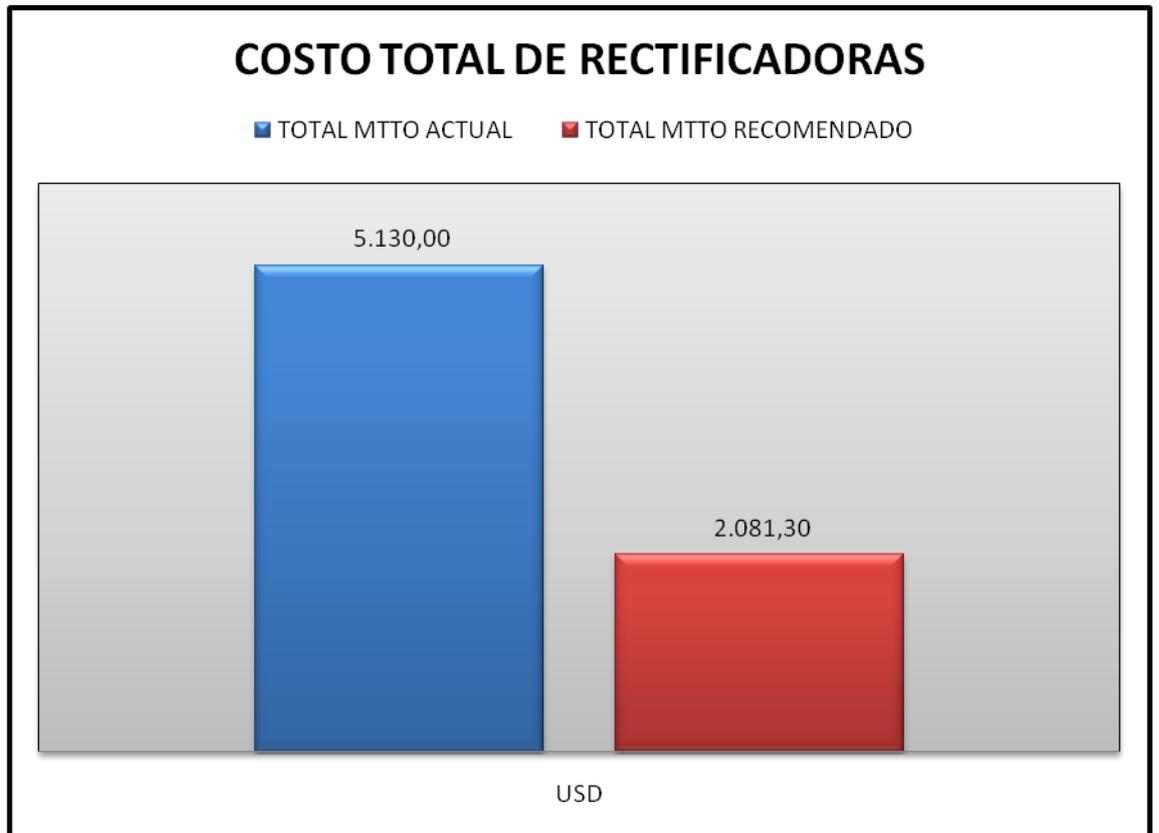
Área de Plasma.-



Ahorro del 47% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.9 Costo total de mantenimiento Plasma

Área de Rectificadoras.-



Ahorro del 59% en las tareas de mantenimiento

Fig. 5.10 Costo total de mantenimiento Rectificadora

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTACION EN EL SISTEMA COMPUTARIZADO DE MANTENIMIENTO.

Introducción

La empresa WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC. Cuenta con la licencia de funcionamiento del programa SISMAC (Mantenimiento asistido por computador) versión 2002 y sus actualizaciones. El mismo que constituye una herramienta fundamental y está en la capacidad de administrar las tareas de mantenimiento de la empresa en forma eficiente.

Una tendencia en el mundo de la gestión del mantenimiento asistido por computadora es la creciente sofisticación del mantenimiento basado en el estado del activo. Este tipo de mantenimiento incluye procesos de mantenimiento predictivo y preventivo, que pueden ser definidos tan solo dependiendo del estado del activo. Las condiciones físicas son monitorizadas de forma periódica en busca de atributos como vibraciones, partículas en los aceites, desgaste, etc.

Esto nos permite disponer de un historial de cada equipo, máquina o componente, tanto de características técnicas, como de averías, revisiones, sustituciones, fechas de las últimas incidencias o averías, personal, horas y materiales utilizados en la solución de los problemas.

Al mismo tiempo, nos permitirá programar en función de los parámetros que decidamos, las revisiones preventivas y/o predictivas, generando los listados correspondientes para la tarea de los técnicos, según los plazos programados.

6.1 Módulos en el Software

El programa SISMAC cuenta con módulos, submódulos, utilitarios y seguridad como se muestra en la figura 6.1²⁶.

Para el presente proyecto nos centraremos únicamente en los módulos que son de prioridad para el área de mantenimiento como son:

- Inventario Técnico
- Fichas Técnicas
- Lista base de recambios
- Mantenimiento

Los cuales se describirán de manera concisa en el presente capítulo.

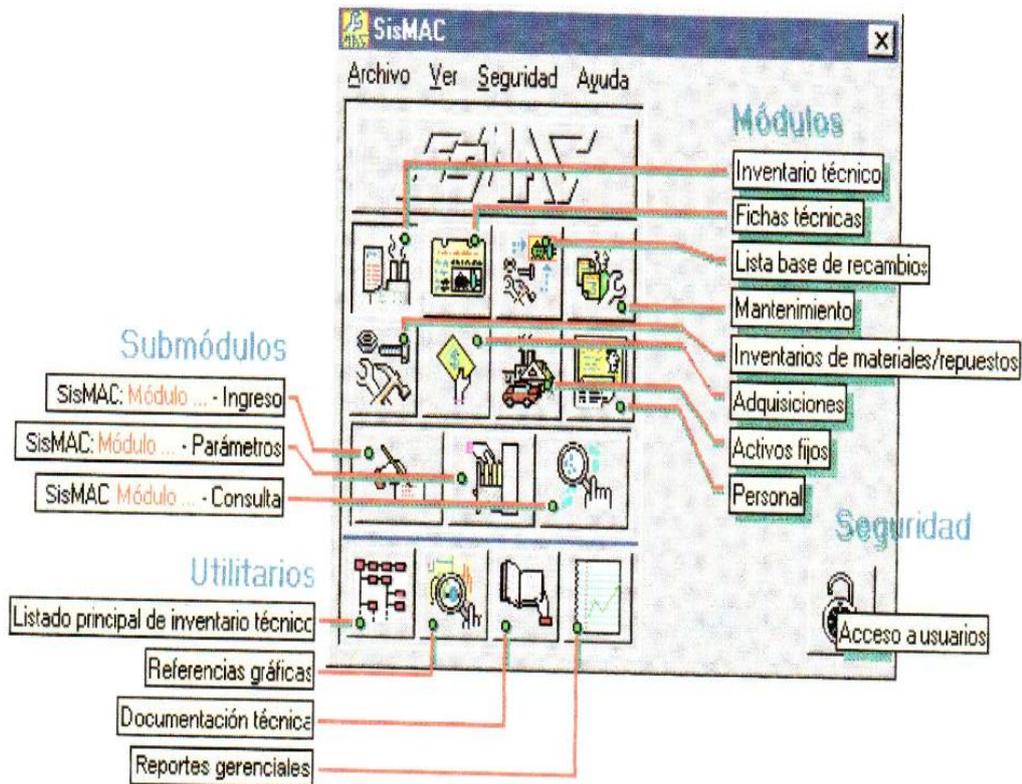


Fig. 6.1 Módulos en el Software SISMAC

²⁶ Manual el usuario SISMAC 2002

6.1.1 Inventario Técnico

Este modulo se encarga de ingresar todos los datos que tenemos de la maquinaria (marca, modelo, año de fabricación, datos del fabricante, etc.) de la empresa, parametrizando la jerarquía que se presenta de la siguiente forma:

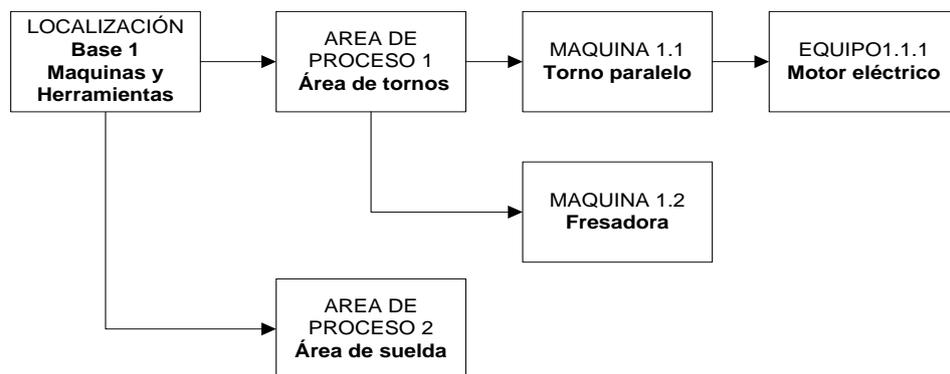


Fig. 6.2 Niveles Jerárquicos

De esta manera es más fácil llegar a cada elemento de la máquina y analizarlo de mejor manera. En el presente proyecto se optó por *no modificar el código que cada máquina tiene asignado* para no provocar ningún tipo de información incorrecta de cada activo considerado.

Por Ejemplo para la Sierra Eléctrica Kalamazoo se utilizó el Código ***MH-03-SI***, donde:

MH= Máquinas- herramienta

03= Número Asignado

SI = Sierra Eléctrica



Fig. 6.3 Sierra Eléctrica

6.1.2 Fichas Técnicas

Este modulo nos permite básicamente registrar las características técnicas más relevantes que tenemos en las placas, manuales o cualquier información adicional que nos pueda brindar el fabricante o vendedor.

Para lograr este cometido, el programa nos presenta la siguiente ventana con la información necesaria que se debe ingresar, la figura 6.4²⁷ muestra como se despliega una ficha técnica y marca sus elementos principales.

The image shows a software interface for entering technical data. It features a central grid of input fields, each with a label and a data type indicator in parentheses. The interface is annotated with several callouts:

- VISUALIZACION GLOBAL DE LA FICHA:** Points to the left side of the grid.
- OPCION PARA AGREGAR UN NUEVO ITEM DE A LA FICHA:** Points to the right side of the grid.
- GRABA LOS CAMBIOS REALIZADOS:** Points to a button on the right side.
- VISUALIZADOR GLOBAL DE LA FICHA:** Points to a small window on the left side.

The input fields and their labels are as follows:

Potencia, HP	(N)Potencia,	Corriente a plena carga, A AC	(N)Corriente a
Corriente de par inicial, A AC	(N)Corriente	Corriente de trabajo, A AC	(N)Corriente
Voltaje, V AC	(N)Voltaje, V	Factor de servicio, Und	(N)Factor de
Velocidad, RPM	(N)Velocidad,	Número de fases, Und	(N)Número de
Temperatura máxima, °C	(N)Temperatu	Frecuencia, Hz	(N)Frecuencia,
Conjunto de montaje	(T)Conjunto	Clase Nema	(T)Clase
Par de arranque, %	(N)Par de	Código Nema	(T)Código
Voltaje de aislamiento, V	(V)Tipo	Tipo Nema	(T)Tipo Nema
Situación	(V)Situación	Clase aislamiento	(T)Clase
Propulsión	(V)Propulsión	Corriente de rotor bloqueado, A AC	(N)Corriente
Diámetro del eje, mm	(N)Diámetro	Rendimiento a plena carga, %	(N)Rendimiento
Frame	(T)Frame	Par máximo, %	(N)Par

At the bottom of the window, there is a status bar with the text "10155, 1080" and a menu bar with options: "Ficha", "Item", and "Tabla".

²⁷ Manual el usuario SISMAC 2002

Fig. 6.4 Parámetros de la ficha técnica

WEATHERFORD DIS ECUADOR	SisMAC																		
TORNOS																			
ITEM: P1-MH-02CN Torno control numérico CNC QKA1235, ANYANG XINSHENG, FANUC, Usillo 14"																			
Pag. 1																			
DATOS GENERALES																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Marca</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ANYANG XINGSHENG</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">QKA-1235</td> </tr> <tr> <td>Serie</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">063</td> </tr> <tr> <td>Fabricante</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ANYANG XINGSHEN MACHINE TOOLS CO.</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Torno</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CNC LATHE / CONTROL FANUC</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Adquisición</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">02 DE AGOSTO DE 2009</td> </tr> <tr> <td>Año de fabricacion</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">04-2009</td> </tr> </table>	Marca	ANYANG XINGSHENG	Modelo	QKA-1235	Serie	063	Fabricante	ANYANG XINGSHEN MACHINE TOOLS CO.	Tipo de Torno	CNC LATHE / CONTROL FANUC	Fecha de Adquisición	02 DE AGOSTO DE 2009	Año de fabricacion	04-2009					
Marca	ANYANG XINGSHENG																		
Modelo	QKA-1235																		
Serie	063																		
Fabricante	ANYANG XINGSHEN MACHINE TOOLS CO.																		
Tipo de Torno	CNC LATHE / CONTROL FANUC																		
Fecha de Adquisición	02 DE AGOSTO DE 2009																		
Año de fabricacion	04-2009																		
DATOS ESPECIFICOS																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Longitud (pl)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6000mm</td> </tr> <tr> <td>Ancho (pl)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">175mm</td> </tr> <tr> <td>Alto (pl)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">209mm</td> </tr> <tr> <td>Peso (kg)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">16068 KG</td> </tr> </table>	Longitud (pl)	6000mm	Ancho (pl)	175mm	Alto (pl)	209mm	Peso (kg)	16068 KG											
Longitud (pl)	6000mm																		
Ancho (pl)	175mm																		
Alto (pl)	209mm																		
Peso (kg)	16068 KG																		
DATOS DE OPERACION																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Potencia (hp)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">18 KW</td> </tr> <tr> <td>rpm</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1460</td> </tr> <tr> <td>Fecuencia (Hz)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">60 HZ</td> </tr> <tr> <td>Voltaje (v)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">220 / 440</td> </tr> <tr> <td>Distancia entre puntos</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1500/3000/5000 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de volteo sobre la bancada</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1100 mm</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del usillo (mm)</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">350 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso maximo de carga</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5 ton</td> </tr> <tr> <td>Medida de la torreta</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">380 x 330 mm</td> </tr> </table>	Potencia (hp)	18 KW	rpm	1460	Fecuencia (Hz)	60 HZ	Voltaje (v)	220 / 440	Distancia entre puntos	1500/3000/5000 mm	Diámetro de volteo sobre la bancada	1100 mm	Diámetro del usillo (mm)	350 mm	Peso maximo de carga	5 ton	Medida de la torreta	380 x 330 mm	
Potencia (hp)	18 KW																		
rpm	1460																		
Fecuencia (Hz)	60 HZ																		
Voltaje (v)	220 / 440																		
Distancia entre puntos	1500/3000/5000 mm																		
Diámetro de volteo sobre la bancada	1100 mm																		
Diámetro del usillo (mm)	350 mm																		
Peso maximo de carga	5 ton																		
Medida de la torreta	380 x 330 mm																		

Fig. 6.5 Ficha técnica del torno MH-02-CN²⁸

6.1.3 Lista base de recambios

En una planta industrial que posee una gran cantidad de equipos, siempre se invierte una gran cantidad de tiempo cuando uno de esos equipos se daña y se necesita un repuesto o material de la bodega.

El objetivo de tener una lista de recambios es relacionar los repuestos (rodamientos, sellos, etc.) materiales (pintura, aceite, electrodos, etc.) y herramientas que ese tiene en la bodega con cada uno de los equipos que necesitan de cualquiera de ellos, creando así un vínculo Bodega-equipos que permita consultar la existencia de los repuestos y materiales para poder planificar los trabajos de mantenimiento o las futuras compras en función de las demanda y existencia actual de cada ítem.

En la figura 6.5²⁹ se muestra como se despliega la ventana de los repuestos de bodega asignado a cada máquina y se señalan sus principales elementos.

²⁸ Documento de la empresa Auspiciante

²⁹ Manual el usuario SISMAC 2002

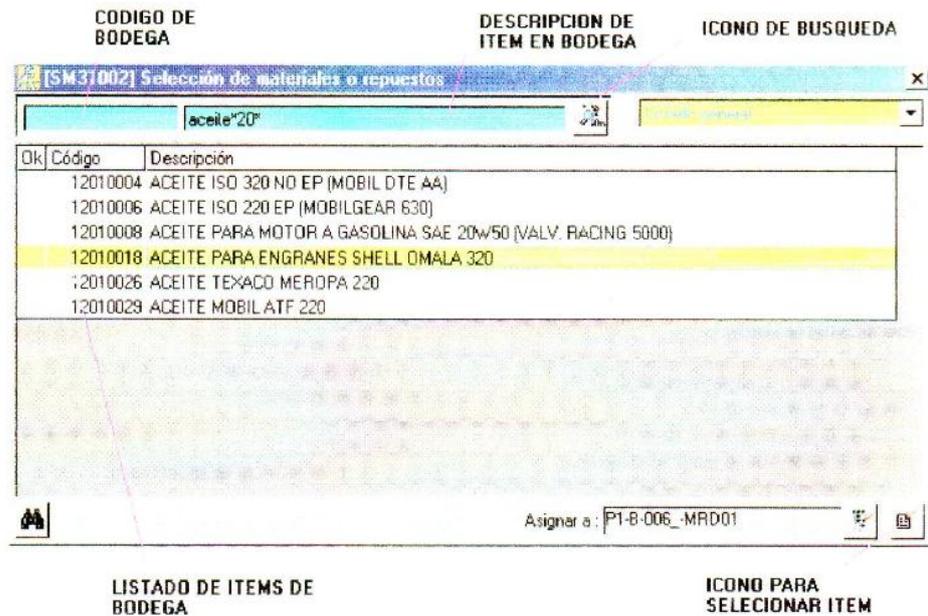


Fig. 6.6 Selección de materiales o repuesto

6.1.4 Mantenimiento

Este es el módulo más complejo del programa SISMAC, en él básicamente se registran todas las tareas planificadas de mantenimiento que nos ayuden a generar una OIM (Orden Interna de Mantenimiento) en la cual se pueda registrar con facilidad toda la operación que realizamos a algún equipo y de esta forma las tareas de mantenimiento sean más sencillas.

Para lograr este objetivo, el programa necesita ingresar varios parámetros que son de suma importancia para generar una orden de trabajo que especifique claramente lo que se va a hacer.

Los parámetros principales se describen a continuación:

- *Tipos de mantenimiento:* Son códigos de tareas de tipos de mantenimiento que están predeterminadas por el software y que ayudan a crear los bancos de tareas de mantenimiento.
- *Tipos de tareas:* Son las tareas que vamos a realizar para cada ítem que necesite de la intervención del mantenimiento.

- *Instrucciones de la tarea:* Es la descripción del trabajo a ejecutar.
- *Personal requerido:* Es la(s) persona(s) responsable de realizar la tarea de mantenimiento asignada.

Una vez que tenemos definidos estos parámetro principales y otros que de ser necesarios deben ser incluidos, podemos generar una OIM, en la figura 6.6³⁰ muestra una OIM para el torno MH-01-CN la cual se la realizó el 26 de junio de 2009.

³⁰ Documento de la empresa Auspiciante



WEATHERFORD DIS ECUADOR
ORDEN INTERNA DE MANTENIMIENTO

C.COSTO : 4101 Gastos de Operación Coca		FECHA PROG : 26/06/2009	FECHA INICIO : 26/06/2009	FECHA FIN : 26/06/2009
UBICACION : P1-MH-01CN Torno de control numérico CNC capacidad de husillo 10"		EXTERNA : <input type="checkbox"/>	CORECTIVA : <input checked="" type="checkbox"/>	
SOLICITA /CARGO: MM	EJECUTA MM/IM	PRVDR :		
DESCRIPCION DEL TRABAJO A EJECUTAR: CAMBIO DE ACCESORIOS HIDRAULICOS EN LA ESTRUCTURA DEL TORNO CNC POR DETERIORO EN LOS MISMOS				
DATOS ADICIONALES/OBSERVAC : FAVOR ELABORAR ATS				
PERSONAL REQUERIDO :		TIEMPO TOTAL EMPLEADO EN LA O.I.M.		
QUIÑONES PATRICIO -458- [5.0]				
TAREAS PROGRAMADAS A REALIZARSE :				
MATERIAL A UTILIZARSE: 0.5 M [1100057] MANGUERA DE NYLON 1/4" 2 EA [1100846] ADAPTADOR DE BRONCE 1/8" MP X 1/4" TUBO 1 EA [1101023] UNION HEMBRA 1/2" 2 EA [5572294] ADAPTADOR 8MP-8MP90 1 EA [5572521] ADAPTADOR BRONCE RUN TEE 1/2" 1 EA [5586004] NEPLO DE BRONCE 1/2 MP 2 EA [5594056] VALVULA DE BOLA 1" WKM 3000 PSI				
ACTIVIDADES REALIZADAS :				
PRBS REALIZADAS/COND FINAL POR: _____				
LECTURA DE HOROMETRO LUEGO DE LAS PRUEBAS _____				
Nombre _____	Fecha _____	Firma _____		
Elaborado por : 26/06/2009	Aprobado por : 26/06/2009	Entregado a : 26/06/2009	Revisado por :	
 JAVIER LARA 1001	 ING. NELSON VIDAL 283	EJECUTOR PATRICIO QUIÑONES 458		

Original : Historial Máquinas

Copia : Archivo

VERSIÓN: 1, 01/04/04 - OPF - 030

Fig. 6.7 OIM_WEATHERFORD

CAPITULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 Análisis económico y financiero.

Costo de Mantenimiento Actual

Como se explicó anteriormente en el capítulo V, en el análisis económico por modo de fallo se seleccionan las fallas de mayor valor que sumadas entre sí dan más del 50% del costo total de reparación actual de cada una de ellas, en un año de análisis.

En el siguiente ejemplo tomamos la rectificadora SO-02-RE para demostrar cómo se realiza el análisis utilizando el diagrama de Pareto.

MODOS DE FALLA Y COSTOS PARA SO-02-RE			
MODO DE FALLA	COSTO ACTUAL DE MTTO ANUAL	%	ANALIZAR
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	1599,2	39,91%	55,56%
Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	627,2	15,65%	
Daño en el tornillo interior del avance transversal, por el tiempo de operación.	459,8	11,47%	
Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	399,8	9,98%	
Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.	396,8	9,90%	
Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	326,1	8,14%	
Ruptura de bandas del reductor por el tiempo de uso.	198,4	4,95%	
TOTAL	4007,3	100,00%	

Tabla. 7.1 Elección de modos de falla SO-02-RE 84

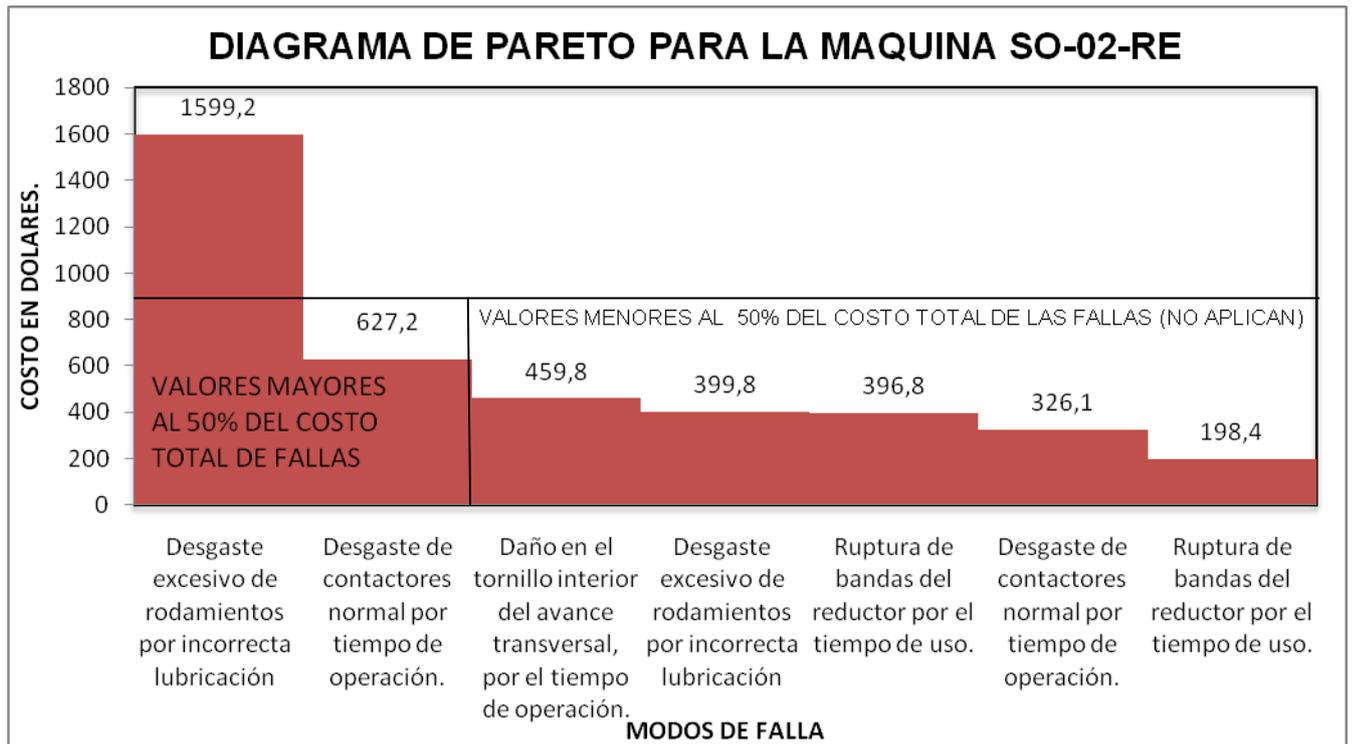


Fig. 7.1 Diagrama de Pareto

Por otro lado, el costo de los materiales que serán utilizados en el presente proyecto se obtuvieron basándose en los precios de compra que actualmente maneja la empresa auspiciante.

La mano de obra se la obtuvo basándose en un promedio general de sueldo por empleado que representa \$500,00 dólares mensuales, cada trabajador labora 26 días al mes y 8 horas diarias de trabajo, por lo tanto, el costo de mano de obra por hora es de \$2,40 dólares

Valor de mano de obra por hora = sueldo promedio/ días laborables / horas

Valor de mano de obra por hora = (500,00)/26,00/8)

Valor de mano de obra por hora = 2,40

Además, el TPR (tiempo para reparación) se lo documentó de acuerdo a los datos históricos de las hojas de mantenimiento que maneja la empresa auspiciante.

En la tabla siguiente se indican los costos totales de mantenimiento actuales por máquina y modos de fallo seleccionados:

COSTOS TOTALES DE MANTENIMIENTO POR MÁQUINA Y MODOS DE FALLO SELECCIONADOS

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-01-TP	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	4380	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,20	Los rodamientos son diferentes en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento. Rodamiento 6103 ZZ Conductor. Rodamiento 6103Z conducido.	83,50	1.520,00	3.245,40
MH-01-TP	Embrague	Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.	8	2	16	4380	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	38,40	Se repone el disco de embrague de acuerdo a la necesidad	25,00	3.040,00	6.206,80
MH-08-TP	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	4380	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,20	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140,00	1.520,00	3.358,40
MH-08-TP	Embrague	Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.	8	2	16	4380	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	38,40	Se repone el disco de embrague de acuerdo a la necesidad	25,00	3.040,00	6.206,80
MH-08-TP	Eje de roscado	Desgaste de eje roscado por incorrecta lubricación y/o tiempo de operación.	8	0,5	4	4380	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	38,40	La reposición total del eje es necesaria porque hay fallas en la tolerancias si solo se lo rectifica.	1.200,00	3.040,00	2.139,20

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-09-TP	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	4380	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son diferentes en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento. Rodamiento 6103 ZZ Cnductor. Rodamiento 6103Z conducido.	83,5	1.520,00	3.245,40
MH-09-TP	Embrague	Desgaste del/los discos de embrague por errores de operación.	8	2	16	4380	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	38,4	Se repone el disco de embrague de acuerdo a la necesidad	25	3.040,00	6.206,80
MH-01-CN	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.520,00	3.358,40
MH-01-CN	Motor eléctrico del Carro de avances longitudinal.	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-01-CN	Motor eléctrico del Carro de avances transversal.	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-02-CN	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	2	8	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.520,00	3.358,40
MH-02-CN	Motor eléctrico del Carro de avances longitudinal.	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-02-CN	Motor eléctrico del Carro de avances transversal.	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-01-TR	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	730	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.520,00	1.679,20
MH-01-TR	Cabezal de avance	Avance longitudinal difícil de realizar por falta de lubricación y/o tiempo de operación.	4	1	4	730	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	19,2	El nuevo tornillo se lo manda hacer de acero y la tuerca de bronce	300	1.520,00	1.839,20

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-01-TR	Cabezal de avance	Desgaste de los engranes por el tiempo de operación y/o falta de lubricación.	8	1	8	730	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	38,4	Los engranes son enviados hacer de acero suave para su posterior tratamiento térmico	250	3.040,00	3.328,40
MH-01-FR	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	200	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-01-FR	Carro de avances	Desgaste de en el eje roscado del movimiento longitudinal por el tiempo de operación y o falta de lubricación.	2	1	2	200	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	19,2	El nuevo tornillo se lo manda hacer de acero y la tuerca de bronce	300	1.520,00	1.839,20
MH-02-FR	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	0,5	2	200	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,20	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140,00	1.440,00	799,60
MH-02-FR	Carro de avances	Desgaste de en el eje roscado del movimiento longitudinal por el tiempo de operación y o falta de lubricación.	2	0,5	1	200	1 Técnico Mecánico. 1 Ayudante.	19,20	El nuevo tornillo se lo manda hacer de acero y la tuerca de bronce	300,00	1.520,00	919,60

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-01-CO	Motor eléctrico	Desgaste de contactores por sobrecarga de energía en el motor.	3	1	3	200	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 2 HP	25	1.140,00	1.179,40
MH-01-CO	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	200	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-02-CO	Motor eléctrico	Desgaste de contactores por sobrecarga de energía en el motor.	3	1	3	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 3 HP	25	1.140,00	1.179,40
MH-02-CO	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	2920	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-03-SI	Motor eléctrico	Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	3	1	3	730	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 5 HP	80	1.140,00	1.234,40
MH-03-SI	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	730	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
MH-01-EH	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
MH-01-EH	Bomba	Deterioro de la bomba por el tiempo de operación	2	1	2	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	9,6	Se cambia la bomba con una nueva de las mismas características. Bomba de tronillo, motor generador 5 HP, 3000 psi.	1000	1.080,00	2.089,60
SO-01-PA	Motor eléctrico	Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	3	1	3	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 1/2 HP	10	1.140,00	1.164,40
SO-01-PA	Motor eléctrico	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
SO-02-RE	Motor eléctrico del husillo	Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	3	0,5	1,5	730	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 15HP	100	1.140,00	627,20
SO-02-RE	Motor eléctrico del husillo	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	2	730	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	799,60

MÁQUINA	PARTE ASOCIADO	MODO DE FALLA	TIEMPO REPARACIÓN ACTUAL	OCURRENCIA ANUAL	TIEMPO REPARACIÓN ANUAL	TIEMPO EN OPERACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE REPUESTOS		COSTO PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (LUCRO CESANTE) US\$	COSTO TOTAL ACTUAL US\$
							DETALLE DE PERSONAL EMPLEADO	COSTO US\$	DETALLE DE MATERIALES Y REPUESTOS	COSTO US\$		
SO-03-RE	Motor eléctrico del husillo	Desgaste de contactores normal por tiempo de operación.	3	1	3	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	14,4	El costo promedio de los contactores para un motor eléctrico de 30HP	150	1.140,00	1.304,40
SO-03-RE	Motor eléctrico del husillo	Desgaste excesivo de rodamientos por incorrecta lubricación	4	1	4	1460	1 Técnico Eléctrico. 1 Ayudante.	19,2	Los rodamientos son iguales en la parte del conductor como en el conducido. Siempre se reponen los 2 en la intervención de una tarea de mantenimiento.	140	1.440,00	1.599,20
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO ACTUAL											75.700,00	

Tabla. 7.2 Costos de mantenimiento

Costo de Mantenimiento Recomendado

Para el desarrollo del presente proyecto será necesario considerar mano de obra, repuestos y mejora de procedimientos.

Una vez obtenidos los costos totales del mantenimiento actual, se realiza el análisis de los costos que representan el mantenimiento recomendado aplicando las filosofías RCM y FMEA.

Tareas actuales: La empresa auspiciante se maneja en base al mantenimiento preventivo, el mismo que se lo realiza a las máquinas herramienta cada 6 meses y de surgir algún desperfecto en cualquier momento, se realiza el mantenimiento correctivo de emergencia y a su vez se adelanta el mantenimiento preventivo.

Tareas Recomendadas: Estas intervenciones fueron desarrolladas según el algoritmo de la norma ISO JA 1012 como se lo expresó en el capítulo V.

Observación: Son las acciones correctivas que evitarían los modos de fallo en análisis.

El MTBF actual (tiempo medio entre fallas actual) se lo recopiló de acuerdo a los datos históricos de las hojas de mantenimiento que maneja la empresa auspiciante.

El MTBF estimado (tiempo medio entre fallas estimado) se lo valoró considerando disminuir el tiempo de intervención del mantenimiento en un 50% y utilizando el tiempo de vida útil que recomienda el fabricante del repuesto.

El factor de mejora es el cociente de la relación entre el tiempo medio entre fallas actual y el tiempo medio entre fallas estimado, es decir:

$$\text{Factor de mejora} = \text{MTBF actual} / \text{MTBF estimado}$$

El costo asociado a la tarea de mantenimiento recomendada depende de la observación que se realice en algunos de los casos la intervención de un servidor externo, como por ejemplo para el análisis de vibraciones, es el costo especificado; para las otras tareas de mantenimiento este costo se asocia a la mano de obra.

El costo proporcional estimado se obtiene al relacionar el costo de mantenimiento actual (indicado en la tabla 7.1) con el factor de mejora. Este valor refleja los costos de mano de obra y repuestos necesarios para mejorar el funcionamiento de las máquinas herramienta.

Por lo tanto, el costo total recomendado se lo obtiene al sumar el costo asociado a la tarea de mantenimiento recomendada más el costo proporcional estimado, siendo este el nuevo costo de la intervención del mantenimiento aplicando las filosofías RCM y FMEA, con la ayuda de las normas utilizadas a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

En la tabla siguiente se indican los costos totales de mantenimiento recomendados por máquina y modos de fallo seleccionados:

COSTOS TOTALES DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO POR MODO DE FALLO

MÁQUINA	TAREA DE MTTTO ACTUAL	TAREA DE MTTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR	MTBF ACTUAL	MTBF ESTIMADO	FACTOR DE MEJORA	COSTO ASOCIADO A LA TAREA DE MTTTO RECOMENDADA US\$	COSTO PROPORCIONAL ESTIMADO US\$	COSTO TOTAL RECOMENDADO US\$
MH-01-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	182,5	365	2	600	1.622,70	2.222,70
MH-01-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Rediseño Operativo	Se recomienda, realizar un procedimiento detallado para la operación del Torno especificando rangos y parámetros permisibles. Dar entrenamiento al personal a cargo de la operación de este equipo.	182,5	730	4	0	1.551,70	1.551,70
MH-08-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	182,5	365	2	600	1.679,20	2.279,20
MH-08-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación	Se recomienda revisar el tiempo de vida útil que da el fabricante para verificar si las fallas ocurren antes o después de lo especificado y planificar la reposición en el intervalo correcto.	182,5	365	2	19,2	3.103,40	3.122,60
MH-08-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación	Se recomienda reponer el eje con antelación al suceso de para y así evitar la perdida de producción por no tener listo el elemento.	730	1095	1,5	19,2	1.426,13	1.445,33
MH-09-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados	182,5	365	2	600	1.622,70	2.222,70

MÁQUINA	TAREA DE MTTO ACTUAL	TAREA DE MTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR	MTBF ACTUAL	MTBF ESTIMADO	FACTOR DE MEJORA	COSTO ASOCIADO A LA TAREA DE MTTO RECOMENDADA US\$	COSTO PROPORCIONAL ESTIMADO US\$	COSTO TOTAL RECOMENDADO US\$
			de un sistema experto						
MH-09-TP	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Rediseño Operativo	Se recomienda, realizar un procedimiento detallado para la operación del Torno especificando rangos y parámetros permisibles. Dar entrenamiento al personal a cargo de la operación del equipo.	182,5	730	4	0	1.551,70	1.551,70
MH-01-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	182,5	365	2	600	1.679,20	2.279,20
MH-01-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
MH-01-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
MH-02-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	182,5	365	2	600	1.679,20	2.279,20
MH-02-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
MH-02-CN	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
MH-01-TR	RTF Run to Fail,	Tarea programada	Se recomienda realizar un	365	1460	4	600	419,80	1.019,80

MÁQUINA	TAREA DE MTTO ACTUAL	TAREA DE MTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR	MTBF ACTUAL	MTBF ESTIMADO	FACTOR DE MEJORA	COSTO ASOCIADO A LA TAREA DE MTTO RECOMENDADA US\$	COSTO PROPORCIONAL ESTIMADO US\$	COSTO TOTAL RECOMENDADO US\$
	mantenimiento a la falla	basada en la condición	análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto						
MH-01-TR	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación	Se recomienda revisar el tiempo de vida útil que da el fabricante para verificar si las fallas ocurren antes o después de lo especificado y planificar la reposición en el intervalo correcto.	365	1460	4	9,6	459,80	469,40
MH-01-TR	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación	Se recomienda revisar el tiempo de vida útil que da el fabricante para verificar si las fallas ocurren antes o después de lo especificado y planificar la reposición en el intervalo correcto.	365	1460	4	9,6	832,10	841,70
MH-01-FR	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
MH-01-FR	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Como la ocurrencia es mínima, la reposición de rodamientos puede ser en el mismo intervalo P-F	365	730	2	720	919,60	1.639,60
MH-02-FR	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Como la ocurrencia es mínima, la reposición de rodamientos puede ser en el mismo intervalo P-F	730	1460	2	9,6	399,80	409,40
MH-02-FR	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Como la ocurrencia es mínima, la reposición de rodamientos puede ser en el mismo intervalo P-F	730	1460	2	9,6	459,80	469,40
MH-01-CO	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	365	1460	4	4,8	294,85	299,65
MH-01-CO	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones	365	1460	4	600	399,80	999,80

MÁQUINA	TAREA DE MTTO ACTUAL	TAREA DE MTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR	MTBF ACTUAL	MTBF ESTIMADO	FACTOR DE MEJORA	COSTO ASOCIADO A LA TAREA DE MTTO RECOMENDADA US\$	COSTO PROPORCIONAL ESTIMADO US\$	COSTO TOTAL RECOMENDADO US\$
		condición	cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto						
MH-02-CO	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	365	1460	4	4,8	294,85	299,65
MH-02-CO	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	1460	4	600	399,80	999,80
MH-03-SI	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	365	1460	4	4,8	308,60	313,40
MH-03-SI	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	1460	4	600	399,80	999,80
MH-01-EH	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	1460	4	600	399,80	999,80
MH-01-EH	RTF Run to Fail, mantenimiento a la falla	Tareas Programadas de Restauración o de Desincorporación	Se recomienda revisar el tiempo de vida útil que da el fabricante para verificar si las fallas ocurren antes o después de lo especificado y planificar la reposición en el intervalo correcto.	365	1460	4	4,8	522,40	527,20
SO-01-PA	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	365	1460	4	4,8	291,10	295,90
SO-01-PA	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	1460	4	600	399,80	999,80

MÁQUINA	TAREA DE MTTO ACTUAL	TAREA DE MTTO RECOMENDADA	OBSERVACIÓN: ACCION A SEGUIR	MTBF ACTUAL	MTBF ESTIMADO	FACTOR DE MEJORA	COSTO ASOCIADO A LA TAREA DE MTTO RECOMENDADA US\$	COSTO PROPORCIONAL ESTIMADO US\$	COSTO TOTAL RECOMENDADO US\$
SO-02-RE	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	730	1460	2	4,8	313,60	318,40
SO-02-RE	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	730	2	600	799,60	1.399,60
SO-03-RE	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de corriente	365	1460	4	4,8	326,10	330,90
SO-03-RE	Mantenimiento preventivo	Tarea programada basada en la condición	Se recomienda realizar un análisis de vibraciones cada 2 meses, de preferencia con resultados de un sistema experto	365	1460	4	600	399,80	999,80
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO									40.585,13

Tabla. 7.3 Costos de mantenimiento recomendado

Beneficio en costo del proyecto

El presente proyecto nos indica que con la implementación del mantenimiento basado en las filosofías RCM y FMEA, la empresa auspiciante podrá ahorrar en el costo de mantenimiento un total de \$35.114,87 dólares, que representa un beneficio del 53,61%.

Ahorro = Costo total recomendado / Costo total actual

Ahorro = 40.585,13 / 75.700,00

Ahorro = 53,61%

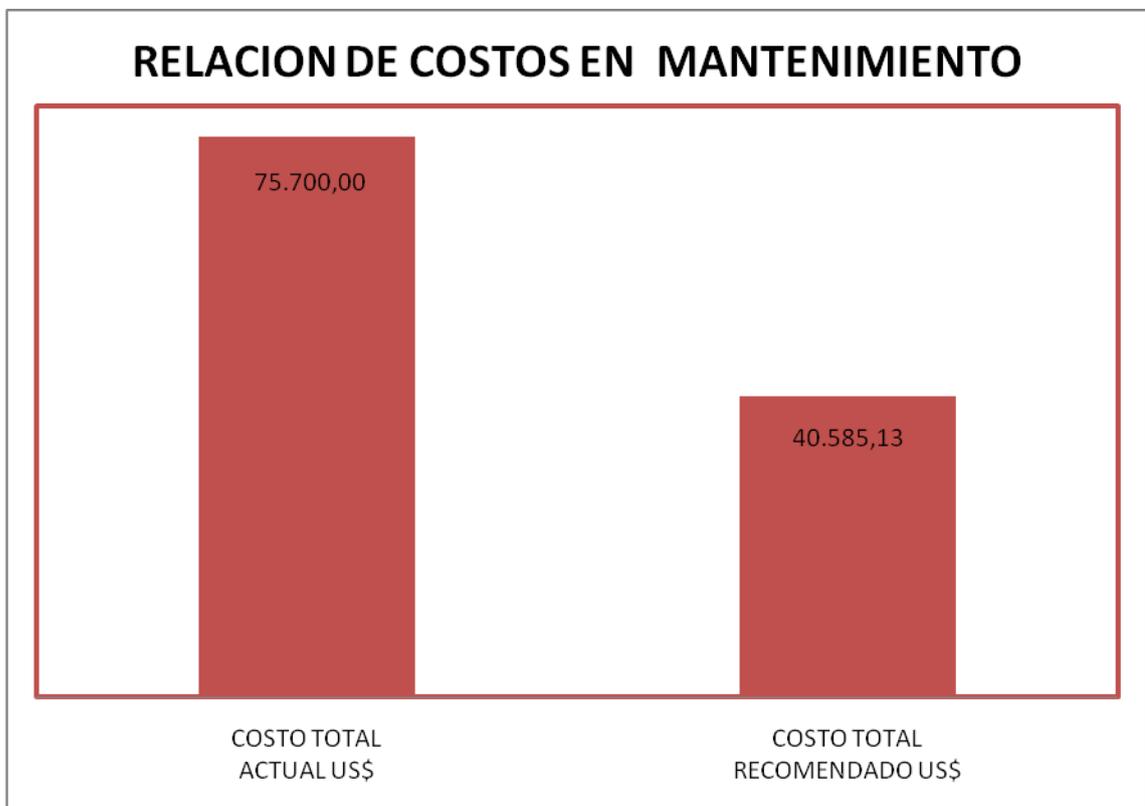


Fig. 7.2 Relación de Costos

Análisis de la Tasa interna de retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN)

Una vez que tenemos calculado el ahorro del proyecto, procedemos a realizar el análisis de la tasa de rentabilidad.

Para ello necesitamos comprobar que la *TIR sea mayor a la tasa de descuento*.

En el presente proyecto se valoró en un 12% la tasa de descuento como un promedio general de las tasas referenciales de crédito para el sector financiero Ecuatoriano.

PERIODO DE ANALISIS	MESES							
	TRIMESTRES							
	AÑOS		X					
DETALLES DE LA INVERSIÓN	Inversión	I	II	III	IV	V	VI	VAN
Egresos	-2.635	-2.635	-2.635	-2.635	-2.635	-2.635	-2.635	-18.446
Ingresos, Ahorros por el proyecto	-	35.115	35.115	35.115	35.115	35.115	35.115	210.690
Saldo	-2.635	32.480	32.480	32.480	32.480	32.480	32.480	192.244
Saldo Acumulado	-2.635	29.845	64.960	64.960	64.960	64.960	64.960	-----

Tabla. 7.4 Periodos de análisis para la inversión.

$$\text{T.I.R.} = 1233\%$$

$$\text{B/C} = 11,42$$

$$\text{Tiempo de Recuperación} = 0,08 \text{ Años}$$

$$\text{Tasa de Descuento} = 12\%$$

Para el cálculo anterior debemos tomar en cuenta que los egresos representan el costo que tiene la implementación del proyecto esto abarca los sueldos del personal, del ejecutor, misceláneos y adquisición de materiales lo cual nos da un valor de 2.635 dólares. Para la inversión inicial.

Como se puede verificar, la TIR del 1233% nos indica que el proyecto es viable en su totalidad y a demás nos muestra un costo beneficio significativo ya que por cada dólar de inversión, se recuperará 11.42 dólares en un tiempo de 29 días equivalentes a un mes normal de trabajo.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Las metodologías de gestión de mantenimiento como el RCM, basados en las normas internacionales ISO 14224 y SAE 1011, entregan una solución integral al manejo de buenas prácticas y procedimientos de mantenimiento que conduzcan hacia la operación óptima, cumpliendo metas y objetivos planteados por la empresa en un ciclo de mejora continua.
- Es necesario definir claramente los objetivos y metas de la empresa los cuales deben ser medibles en el tiempo, para obtener resultados que cumplan con las necesidades planteadas.
- La información y validación de datos se debe obtener del personal de operaciones y mantenimiento; quienes detectan las fallas, realizan acciones correctivas y conocen el comportamiento de cada equipo.
- Los modos, efectos y consecuencias de fallo dependen de la función principal de la maquinaria, es decir todo el análisis realizado corresponde a la negación de la función principal. El resto de sistemas son independientes a este análisis.
- Los sistemas anexos a cada máquina estudiada, se podrían incluir en este análisis siempre y cuando sus fallas causen la pérdida de la función principal, para los casos propuestos no es necesario.
- La correcta definición del contexto operativo, desarrollo de los diagramas E-P-S y funcionales así como la determinación del límite (boundary) del sistema son herramientas esenciales para la definición de la función principal de cualquier activo. Por tanto, no se debe omitir ninguno de estos pasos.
- La elección de la tarea de mantenimiento correcta depende principalmente del impacto de la falla en las metas de salud, seguridad,

medio ambiente y producción, en el contexto operacional en el cual desempeña su función el activo.

- Debido al costo de pérdida de lucro cesante, es mejor reducir el tiempo de intervención de las tareas de mantenimiento a la mitad del tiempo recomendado por el fabricante.
- La implementación de tareas de mantenimiento a condición (predictivas) y proactivas permiten determinar con gran precisión el comportamiento interno de cada componente en un equipo, optimizando de esta manera la gestión de mantenimiento e incrementando los índices KPI (Key Performance Indicator) o CMD (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad).
- La metodología RCM permite determinar aquellas fallas de mayor incidencia o impacto de acuerdo al costo que estas representan en caso de suscitarse. Con ello, la toma de decisiones se basa en el beneficio económico y operativo (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), optimizando los recursos humanos y materiales.
- De acuerdo al análisis costo-beneficio, se obtiene un promedio de un 53.61% de reducción en costos de mantenimiento y pérdidas de producción.
- En el país las únicas empresas en la industria petrolera de las cuales se tiene conocimiento realizan este tipo de procedimiento son Petro Amazonas y Repsol YPF. Demostrando así que la aplicación del presente proyecto tiene un área bastante extensa de aplicación.

8.2 Recomendaciones

- En el perfil profesional de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de la ESPE, se debería ampliar los créditos de la asignatura de mantenimiento e incluir una especialización en la gestión de manejo y de técnicas de mantenimiento y RCM, ya que es una metodología muy poco conocida e implementada en el País, además de contar con pocos profesionales expertos.
- Debe tomarse en cuenta que un análisis RCM y FMEA involucran a toda la organización. Debe contarse con el apoyo de la dirección planteando la relación costo-beneficio y riesgos asociados.
- El análisis RCM debería basarse en los lineamientos de las normas ISO 14224 y SAE JA1011. Existen varias metodologías en el mercado las cuales no satisfacen la necesidad primordial planteada por el RCM de acuerdo a Nowlan & Heap (Pioneros en la implementación del RCM) que son las 7 preguntas del RCM.
- Es necesario implementar este sistema de mantenimiento a otras máquinas y equipos definiendo previamente su entorno operativo y reconociendo la función principal que este debe cumplir; ya que se ha demostrado que su aplicación es rentable.
- Para obtener datos más acertados de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, se debe incluir en los cálculos el tiempo que las máquinas están en reparación o fuera de operación.
- La industria Ecuatoriana en general debería adoptar estas metodologías ya que las normas internacionales que lo proceden (ISO 14224, SAE JA 1011, SAE JA 1012) enfatizan en la seguridad personal, del medio ambiente y nos dan la disponibilidad y confiabilidad necesaria para que las máquinas no fallen en los procesos operativos que desarrollen.

BIBLIOGRAFIA

- BENJAMIN S. Blanchard, PRENTICE Hall ,LOGISTICS ENGINEERING AND MANAGENMENT, 4th edition
- INGENIERIA DE MANTENIMIENTO, Formación en mantenimiento para el ingeniero mecánico, 1997.
- HUERTA Rosendo, El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional, Venezuela
- PÉREZ, C. Soporte y Cía. Ltda. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO, edición 2003.
- MOUBRAY John, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, Traducción en español 2004.
- MANUAL DEL USUARIO SISMAC, Sistema de mantenimiento asistido por computadora, C&V Ingeniería-Ecuador, 2002.
- DOCUMENTOS DE ARCHIVO DE LA EMPRESA AUSPICIANTE.
- NORMA ISO 14224 Petróleo, petroquímica y gas natural - Obtención e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de los equipos.
- NORMA SAE JA 1011 Criterios de evaluación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)
- NORMA SAE JA 1012 Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)