



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

**METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

TESIS

PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

RAMOS ENRIQUEZ JUAN ANTONIO

DIRECTOR DE TESIS: I.Q. DELFINO GALICIA RAMIREZ



México D.F.2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto en la vida, en poder cumplir otra etapa de mi vida y darme salud y fuerzas para seguir adelante, enfrentando nuevas adversidades que me harán una mejor persona.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), mi alma mater, una de las mejores universidades y más importantes en el mundo, a la cual pertenezco y perteneceré siempre. “Por mi raza hablara el espíritu”.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y a la carrera de Ingeniería Química, los conocimientos inculcados y por el esfuerzo de los docentes que dieron como resultado al profesionista que soy.

A mis Padres Antonio Ramos y Candelaria Enríquez, que gracias a su sacrificio, desvelos, paciencia y cariño, hicieron que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y enseñarme a no rendirse cuando todo está en tu contra. ¡Gracias!

A mis hermanas que siempre estuvieron para darme una mano en los momentos más difíciles y en los más alegres, otra parte fundamental en mis logros.

Al Ingeniero Delfino Galicia Ramírez, quien ha sido un excelente mentor, un amigo inigualable, gracias a él le debo esta tesis y a quien se la dedico. Sin duda una figura respetable y ejemplo a seguir.

Al ingeniero Juan Ángel Lugo Maldonado, otra persona que Dios me trajo, una maravillosa persona como profesor y amigo que estuvo en los momentos difíciles y siempre me daba un consejo para seguir adelante.

Al entrenador de Fútbol Rápido Martín Javier Fuentes Varela que gracias a sus enseñanzas, regaños, y su gran apoyo moral he llegado hasta aquí como un excelente deportista, el cual me enseñó que el deporte y lo académico siempre pueden ir de la mano y nunca por separado, al que no existe un no puedo, y que no existe limitaciones si te lo propones.

Al representativo de Fútbol Rápido y Actividades Deportivas que me dieron un lugar de formación, buenos amigos, buenas experiencias.

Quiero agradecer al resto de mi familia y otras personas que no nombre aquí pero no son menos importantes, gracias por su apoyo y cariño.



CONTENIDO

Resumen	7	
Introducción	9	
Objetivos	11	
Justificación	13	
CAPÍTULO 1 “CONFIABILIDAD OPERACIONAL		
1.1	Antecedentes	15
1.2	Las 14 Mejores Practicas Internacionales en Confiabilidad Operacional	20
1.2.1	Costos de Mantenimiento y Ciclos de Vida de los Activos	21
1.2.2	Mantenibilidad	29
1.2.3	Capacitación y Certificación de Habilidades	35
1.2.4	Compromiso y Liderazgo	38
1.2.5	Orden y Limpieza 5´S	43
1.2.6	Plan de Producción	48
1.2.7	Ventanas Operativas	52
1.2.8	Funciones Protectoras Instrumentadas	54
1.2.9	Administración de Libranzas y Reparaciones	64
1.2.10	Administración del Trabajo (Planeación y Programación)	70
1.2.11	Censo de Equipos y Taxonomía	72
1.2.12	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	82
1.2.13	Inspección Basada en Riesgo	84
1.2.14	Almacenes y Suministro	90
1.3	Definición de Confiabilidad Operacional	98
1.3.1	Herramientas y Aplicación de Confiabilidad Operacional	99
1.4	Parámetros de la Confiabilidad Operacional	103
1.4.1	Confiabilidad Humana	103
1.4.2	Confiabilidad de Diseño	104
1.4.3	Confiabilidad de Procesos	106
1.4.4	Confiabilidad de Activos	108
1.4.5	Mantenimiento de Equipos	111
1.5	Ingeniería en Confiabilidad	
CAPÍTULO 2 “MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”		
2.1	Antecedentes	118
2.2	Definición	120



2.3	Términos de Mantenimiento	121
2.3.1	¿Por qué hay que dar mantenimiento?	122
2.3.2	Mantenimiento y Reparación	122
2.4	Cultura en el Mantenimiento	124
2.5	Tipos de Mantenimiento	128
2.6	Siete preguntas del MCC	130
2.7	Calculo de la Confiabilidad en el Mantenimiento	147

CAPÍTULO 3 “ANÁLISIS CAUSA RAÍZ”

3.1	Definición	151
3.1.1	Análisis Causa Raíz: Árbol de Lógica	152
3.1.2	Análisis Causa Raíz: Árbol de Evento	159
3.1.3	5 porqués para resolver problemas	160
3.2	Método ACRF	164
3.3	Aplicación y Beneficios del ACR	170

CAPÍTULO 4 “TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARTO AÑIL”

4.1	Antecedentes	172
4.2	Descripción del proceso	173
4.2.1	Los criterios de diseño de la instalación con base a las características del sitio y a la susceptibilidad de la zona a fenómenos naturales y efecto meteorológicos adversos.	173
4.2.2	Estación de Autoconsumo	175
4.2.2.1	Descripción detallada del proceso por líneas de producción, reacción principal y secundaria en donde intervienen materiales considerados de alto riesgo.	176
4.3	Análisis en campo y recopilación de datos	180
4.3.1	Análisis de Criticidad en TAR Añil	183
4.3.2	Simulador aplicado para TAR Añil	186
	Conclusiones	189
	Bibliografía	191
	Anexos y Glosario de Términos	194



ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG.
1.1 Las diez prácticas de Clase Mundial y sus niveles de evolución.	16
1.2 Los cuatro aspectos de la Confiabilidad Operacional	17
1.3 Componentes de la Confiabilidad Operacional, notando que la Confiabilidad Humana es el soporte de toda su estructura.	19
1.4 <i>Concepto del ciclo de vida de los activos</i>	24
1.5 <i>Análisis de las diferentes etapas del ciclo de vida De acuerdo con BS ISO 15686-5 "Buildings & constructed asset- Service life planning –Part 5: Life Cycle costing</i>	27
1.6 <i>Aplicación del Ciclo de Vida de los Activos</i>	28
1.7 <i>Requerimientos establecidos de operación y mantenimiento.</i>	31
1.8 <i>Objetivos de las fases de Mantenibilidad</i>	33
1.9 <i>Aplicación de la Mantenibilidad</i>	34
1.10 <i>Elementos del proceso de Capacitación-Certificación en Disciplina Operativa</i>	37
1.11 <i>Elementos que conforman el desarrollo en Compromiso y Liderazgo en Confiabilidad Operacional.</i>	40
1.12 Metodología 5'S	44
1.13 <i>Procedimiento Seiri</i>	45
1.14 <i>Confiabilidad de Proceso</i>	49
1.15 <i>Desde lo Estratégico a lo Táctico y luego a lo Operativo</i>	50
1.16 <i>Grafica de Nivel de Riesgo VS Límites de la Variable de Procesos</i>	53



1.17	<i>Diagrama del desarrollo de Ventanas Operativas</i>	55
1.18	<i>Fase de Análisis del Ciclo de Vida del SIS</i>	58
1.19	<i>Fase de Realización del Ciclo de vida del SIS</i>	60
1.20	<i>Fase de Operación del Ciclo de Vida del SIS</i>	62
1.21	<i>Proceso para la Administración de Procesos</i>	64
1.22	<i>Proceso FEL, metodología basada en el concepto de puertas de aprobación, donde en cada puerta aprueba, o no, el pase a la siguiente etapa.</i>	65
1.23	<i>Principales eventos presupuestales y de programación.</i>	66
1.24	<i>Diagrama de flujo de las metodologías de Libranzas/Reparaciones</i>	69
1.25	<i>Elementos de la Taxonomía Corporativa de Equipos</i>	73
1.26	<i>Criterios para elaborar, actualizar y corregir la información faltante y/o existente en el censo de instalaciones y equipos.</i>	74
1.27	<i>Ciclo de Trabajo de Taxonomía</i>	81
1.28	<i>Diagrama de flujo del método IBR</i>	84
1.29	<i>Matriz de Riesgo</i>	89
1.30	<i>Diagrama de flujo para la definición de estrategias de procura e inventarios.</i>	92
1.31	<i>Balance óptimo del nivel de inventarios.</i>	93
1.32	<i>Control estadístico de inventarios, control por máximos y mínimos.</i>	94
1.33	<i>Diagrama de decisión para la selección de bienes no recurrentes que requieren en la lista de inventarios.</i>	95
1.34	<i>Selección de puntos para orden de bienes no recurrentes que no se requieren en la lista de inventarios.</i>	96



1.35	<i>Las metodologías comúnmente utilizadas en la Confiabilidad Operacional</i>	100
1.36	<i>Elementos de la Confiabilidad Humana</i>	104
1.37	<i>Herramientas para garantizar la Confiabilidad de Diseño</i>	106
1.38	<i>Herramientas para garantizar la Confiabilidad del Proceso</i>	107
1.39	<i>Las cuatro vertientes que conforma la confiabilidad integral del activo</i>	109
1.40	<i>Pilares de un programa de Confiabilidad de Activos</i>	110
1.41	<i>Representación de los parámetros de la confiabilidad</i> Fuente: Acuña Jorge, Ingeniería de Confiabilidad	113
2.1	<i>Plan de monitoreo</i>	123
2.2	<i>Diagrama de flujo de las 7 preguntas del MMC</i>	133
2.3	<i>Probabilidad de Falla</i>	135
3.1	<i>Parte alta del Árbol de Lógica: Evento no deseado</i>	153
3.2	<i>Causa de las fallas de rodamiento</i>	154
3.3	<i>Causa de una alta vibración</i>	155
3.4	<i>El cómo y porqué de las falla del activo</i>	158
3.5	<i>Ciclo de los 5 por qué</i>	162
3.6	<i>Árbol Lógico de Fallas</i>	167
4.1	<i>Diagramas de bloques de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil</i>	175
4.2	<i>Posición del autotank para su llenado.</i>	179



ÍNDICE DE TABLAS

1.1	<i>Clasificación de Costos de Mantenimiento</i>	22
1.2	<i>Desempeño de Compromiso y Liderazgo</i>	42
1.3	<i>Norma Seiso</i>	47
2.1	<i>Enunciados en Función</i>	134
2.2	<i>Categorías de la Consecuencia (o Gravedad).</i>	142
2.3	<i>Categorías de la Probabilidad de Detección</i>	144
3.1	<i>Hipótesis y sus posibles variables</i>	156
4.1	<i>Tanques de Almacenamiento de TAR Añil</i>	173
4.2	<i>Censo de Tanques</i>	176
4.3	<i>Censo de las Llenadoras</i>	178
4.4	<i>Tabla de Control</i>	183
4.5	<i>Jerarquía de Criticidad</i>	185
4.6	<i>Frecuencia de Falla</i>	185
4.7	<i>Consecuencia de Falla</i>	186



Resumen

La necesidad de mejorar la productividad minimizando los paros no programados de equipos principales, los ingenieros son los encargados de optimizar y mejorar la utilización de todos los recursos con que se cuenta, con el fin de lograr niveles de excelencia, ayudando a la empresa a conseguir su objetivo principal, de ser una empresa de clase mundial.

El mantenimiento a lo largo de las décadas ha experimentado transformaciones (organizacional, económico, social, humano y de equipos). Estos cambios son consecuencias de la actual situación de competitividad industrial con la globalización de los mercados. El cual ha dejado de ser visto como un centro de costos, para pasar a ser un sistema integral que contribuye a la generación de utilidades industriales y es responsable de la sobrevivencia de la empresa.

Por tradición se ha enfocado la Confiabilidad desde la perspectiva del Mantenimiento. La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que incorpora en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la producción industrial.

La Ingeniería de Confiabilidad es el marco teórico en el cual conviven las estrategias y técnicas necesarias para la optimización de los activos y ciclos de vida.

De acuerdo a estas innovaciones PEMEX a partir de los años noventa ha tratado de implementar acciones para su mejoramiento en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, con el propósito de establecer el marco de referencia dentro del cual se establecen los objetivos, metas y acciones en relación al módulo de Confiabilidad Operacional por lo que actualmente declara su política:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“En Petróleos Mexicanos la Confiabilidad Operativa es un valor fundamental de la Organización que contribuye a una operación confiable, segura y sostenible a lo largo del ciclo de vida de los activos, con igual prioridad que la seguridad, la producción, la calidad y las ventas en la empresa”

Desde la creación del PROSSPA (Programa de Seguridad, Salud y Protección Ambiental) en 1996 para evitar accidente y contaminantes en el Medio Ambiente, en 2003 y con la aparición del SAM (Sistema de Administración de Mantenimiento) el objetivo ha sido alcanzar niveles de excelencia de Mantenimiento, actualmente con PEMEX SSPA (Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Salud en el Trabajo y Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos) en el periodo del 2004-2005 para prevención de accidentes y lesiones tanto en los trabajadores como al Medio Ambiente. Pero a la falta de Confiabilidad Operacional, entendiendo esta como la probabilidad de que un equipo, sistema o persona desarrolle su función dentro de su contexto operacional por un periodo especificado de tiempo, se imposibilitaba la optimización y cumplimiento de planes programas operacionales, además de impactar negativamente en la seguridad de los procesos y en el incremento de los costos asociados.

Es ante esto que se dio a conocer el Modelo de Confiabilidad Operacional “PEMEX-Confiabilidad”, que es la iniciativa de negocio integral y dirigida a toda la Organización, para que de una forma segura se alcance con sustentabilidad los valores más altos posibles para los activos en cuanto a efectividad de ciclo de vida, utilización, productividad y rentabilidad.

Con esta creación se generaron 14 mejores prácticas internacionales de las cuales esta tesis solo se encargara de enfocar el desarrollo del “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” y las funciones, metodologías y aplicaciones para poder obtener la mayor eficiencia dentro de una empresa.



Introducción

La Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad surge por una necesidad de mejorar la confiabilidad y rentabilidad de los activos en la industria de procesos Industriales. Hasta ese momento el mantenimiento había sufrido una serie de evoluciones que lo llevaron a un estado totalmente reactivo en los años cuarenta, pasando por el mantenimiento preventivo y predictivo hasta finales de los sesenta, hasta llegar a la combinación estructurada de tareas propuestas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

La presente tesis describe una metodología que influye una mejor práctica para obtener una mayor confiabilidad operativa en los activos existentes y el mejoramiento de los mismos.

El Capítulo 1 describe lo que es la Confiabilidad Operacional y la constitución del paquete que este contiene, al igual que los antecedentes que le dan origen, ¿por qué se originó?, y cuáles fueron las causas por las cuales se llegó a la realización de dichas metodologías.

Se muestra que este paquete contiene 14 metodologías, cada una de ellas aportando mejoras en cada una de las áreas de la empresa, lo cual nos marca que áreas pueden abarcar las posibles formas de resolver problemas específicos y como se analizan.

Se identifica la relación que puede tener cada metodología y las aportaciones o apoyos que se dan una con la otra para poder solucionar los problemas que se generen.

Además de las herramientas que se citan o cimiento que toma para poder desarrollar los cuales son la base en la cual debe basarse para poder desarrollar cada una de ellas y así solucionarlas una por una.

También se marca el perfil que debe tener un Ingeniero cuando se trata en una Confiabilidad Operacional y las medidas que debe tomar y cuáles son las acciones que se deben generar.

En el Capítulo 2 nos dirigimos perfectamente al método de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad desde sus orígenes hasta la actualidad; en como del mantenimiento se empiezan a generar ideas para la optimización de este.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

También se da una breve descripción de la importancia ¿porqué se tiene que dar a un mantenimiento?, y ¿Cómo nos ayuda?, los tipos de mantenimiento que podemos ejercer. Además de la cultura que tiene el personal al momento de hacer un mantenimiento en el proceso.

Y las siete preguntas para hacer un buen mantenimiento centrado en confiabilidad basado en las normas SAEJA 1011 y SAEJA 1012, que son las preguntas que realmente se llegan a ser a la hora de programar un mantenimiento.

En el Capítulo 3 se describe: la metodología que se ocupa para soportar un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad la cual es una de las más importantes; un Análisis Causa Raíz la cual nos describe y por qué se tuvo que desarrollar, cuales son las aportaciones y beneficios que para la optimización y mejoramiento de un mantenimiento.

Los diferentes tipos de análisis Causa Raíz que se pueden encontrar al igual de cómo maneja cada uno la problemática y la solución a la cual llega cada una de estas; además del método de los 5 porqués, que es un complemento el cual refuerza varias de las aportaciones del análisis Causa Raíz.

El Capítulo 4 es la aplicación de la metodología en un centro de trabajo de Pemex Refinación, en este caso la Terminal de Almacenamiento y Reparto de Añil, en la cual se realizó una visita de campo donde se analiza mediante el paquete de información tecnológico de operación y mantenimiento necesaria para localizar los principales puntos de fallo y se determina como esta metodología podría ayudar a mejorar y optimizar este sector y los beneficios que se obtendrían al ejecutarlas.

En la parte final se describen las conclusiones, la bibliografía, los anexos y el glosario de términos que se obtienen de este trabajo, lo cual está realizado basándose en la información más reciente.



Objetivos

Generales

Mostrar el desarrollo de un proyecto de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la confiabilidad operacional reduciendo las frecuencias de fallas de los equipos estáticos y dinámicos.

Particulares

- Exponer un marco teórico de lo que es confiabilidad Operativa y en especial de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Mostrar un panorama de mantenimiento centrado a la confiabilidad
- Presentar herramientas soporte involucradas para la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Definir puntos clave para el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad.



Desafíos de la Industria

Seguridad

Proteger a la personas
a los Activos y al
Proceso



Billones perdidos al
año en la industria
Petroquímica

Fiabilidad

Mejorar la
Disponibilidad y
reducir las Paradas



Millones de euros
perdidos al año
debidos a paradas no
programadas

Eficiencia

Mejorar la
Productividad y reducir
los Costes



Con menos personal
se pueden tomar
mejores decisiones
mas rápidamente

Mejorar el Desarrollo del Negocio

Seguridad



Disponer de varias
capas de protección
para reducir incidentes

Fiabilidad



Soluciones Fiables que
Mejoran el Perfil de la
Producción

Eficiencia



Integrar la información de
campo en la cadena de
suministro para tomar
mejores decisiones y más
rápido



Justificación

La mayor parte que de la educación que recibe un Ingeniero es relevante básicamente para diseño, sin embargo el 80% de los ingenieros debe trabajar “En el Cuidado y Explotación de Instalaciones” que ya fueron diseñadas y construidas. “Cuidar algo que ya fue diseñado y construido” se da hoy en día abajo la forma de Confiabilidad Operacional y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y actividades conexas

Donde en la mayor parte de la formación real de los ingenieros en cuidado y explotación de activos es empírica y esta transmitida en generaciones. Esto trae componentes deseados y no deseados, por ejemplo la perpetuidad de paradigmas no deseados hoy.

En investigaciones realizadas por algunas universidades marca que el 80% de los ingenieros graduados se ven hoy en día al mundo de la operación y mantenimiento de activos, con una base de conocimientos y herramientas, preparado para el diseño de instalaciones, pero en la realidad trabajara casi toda su vida con activos que ya han sido diseñados. Por otra parte otro grupo de ingenieros se dedicará al diseño de actividades que jamás en su vida operara o mantendrá.

Estos dos puntos muestran una gran debilidad en el mundo industrial de manera general.

Otra gran debilidad en el plan de formación de universitarios actual es que en líneas generales es muy delicado al campo técnico y muy débil en la formación económica administrativa.

Es por ello que se tiene que tratar un cambio a la forma de ver los caminos en la cual se puede formar un ingeniero; no solo en el aspecto de diseño, si no en el mantener y optimizar lo que está disponible a la mano. También en el mejoramiento de los productos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAPÍTULO 1

CONFIABILIDAD OPERACIONAL



Capítulo 1 Confiabilidad Operacional

1.1 Antecedentes

Con el transcurso de los años el hombre tuvo a una necesidad de mejorar tanto como persona como en su forma de trabajo, en el cual tiene que exigir, mantener y mejorar cada una de sus actividades sin disponibilidades; los problemas que han existido a lo largo de la línea del tiempo no solo son provocadas por los equipos y maquinas en los que puedan decir por falta de mantenimiento se tiene problema en la producción normal de una empresa.

Las empresas que trabajan y luchan por crecer día a día, son empresas que tienen sus ojos puestos en su gente, en sus procedimientos, en sus procesos de producción y por su puesto en sus equipos y maquinas. Para esto las empresas saben muy bien que si no hay mejora diaria y continua en conjunto con los recursos con el que cuenta no puede llegar a su objetivo principal que es de ser una empresa de clase mundial.

Ante estos dilemas se pensó en una solución para poder complacer esta necesidad y se creó la Confiabilidad Operacional, en el cual formaba parte de Las Diez Mejores Prácticas de las organizaciones para una Clase Mundial, los cuales son:

- Trabajo en Equipo
- Contratistas Enfocados a la Productividad
- Integración en Proveedores
- Apoyos y Visión Gerencial
- Planificación y Programación Proactiva
- Mejoramiento Continuo
- Gestión Disciplinada de Materiales
- Integración de los Sistemas



- Gerencia de Paradas de Plantas
- Producción Basada en Confiabilidad



Figura 1.1. Las diez prácticas de Clase Mundial y sus niveles de evolución.

Fuente: Engineering Reliability and Management, 2003, Confiabilidad Operacional como Soporte del Mantenimiento. Figura.

En las cuales las empresas de Clase Mundial se focalizaban mediante sus filosofías y su esfuerzo en cuatro grandes aspectos:

- **Excelencia en sus procesos medulares.**
Se parte del principio que el esfuerzo por alcanzar y mantener un nivel de excelencia, debe de concentrarse en los procesos medulares de la empresa, es decir en su razón de ser.
- **Máxima disponibilidad – Producción requerida – Máxima seguridad.**
La meta del negocio debe centrarse en obtener el nivel de disponibilidad, que satisfaga y oriente las actividades hacia los niveles de producción que realmente son requeridos, con elevados estándares de seguridad.
- **Cantidad y rentabilidad de los productos.**



Los productos que se generan deben ser de la más alta calidad, con una estrategia orientada a la mejor relación costo-beneficio que garantice la máxima rentabilidad.

- **Motivación y satisfacción personal.**

El personal que labora en la empresa debe estar altamente motivado e identificado. Asimismo tanto al personal como los clientes deben de estar satisfechos con el nivel de servicio y/o la gestión que se les brinda

Estas prácticas en general incluyen el Enfoque Sistémico, la Priorización de las actividades y la Pro acción Humana, basados en la Misión y los objetivos de la organización; en el cual estas prácticas sosténían a todas las necesidades y problemas que surgían en ese tiempo. Basada en cuatro parámetros:



Figura 1.2. Los cuatro aspectos de la Confiabilidad Operacional
Fuente: Engineering Reliability and Management, 2003, Confiabilidad Operacional como Soporte del Mantenimiento. Figura.



Pero ante los cambios tecnológicos y la evolución de máquinas, equipos y personal; se efectuó el llamado “Mejoramiento en la Confiabilidad Operacional”, este genera los cambios en la cultura de la organización haciendo que esta se convierta en una organización diferente con un amplio sentido de la productividad, con una visión clara del negocio y gobernada por hechos.

Al existir hechos aislados de los cuatro bloques existían beneficios; del cual surgió la Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, caso diferente es el manejo de la cultura Japonesa donde sus planes agresivos de confiabilidad humana, cubriendo de este modo los cuatro bloques que tiene la confiabilidad operacional.

En nuestros días mediante la Política de Principios de Calidad la exigencia ha aumentado, ahora cada empresa tiene que exigirse más y con esto la Confiabilidad Operacional tuvo que evolucionar sus prácticas de acuerdo a las exigencias y áreas aisladas que antes no estaban tomadas en los antiguos parámetros formando Las Catorce Mejores prácticas, las cuales son:

- Costos de Mantenimiento y Ciclos de Vida de los Activos
- Mantenibilidad
- Capacitación y Certificación de Habilidades
- Compromiso y Liderazgo
- Orden y Limpieza 5'S
- Plan de Producción
- Ventanas Operativas
- Funciones Protectoras Instrumentadas
- Administración de Libranzas y Reparaciones
- Administración del Trabajo (Planeación y Programación)
- Censo de Equipos y Taxonomía
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
- Inspección Basada en Riesgo
- Almacenes y Suministro



En ello se conceptualizan las iniciativas con mayor prioridad en términos de aportación a los resultados y su correlación al esfuerzo requerido para la empresa, mas no engloban la totalidad de acciones a implementar, en este sentido, existen factores adicionales a los sistemas de confiabilidad, que serán incorporados conforme se avancen, acorde al grado de madurez de cada centro de trabajo.

En el caso de los bloques se manejaban cuatro principios los cuales eran fundamentales para ese tiempo, sin embargo; observándolos bien, nos damos cuenta que falta uno imprescindible para los análisis de mantenimiento, es por esto, que desde hace un tiempo el enfoque ha cambiado, y por lo tanto se define la Confiabilidad Operacional como el resultado de la correcta integración y puesta en marcha de herramientas que garanticen el aseguramiento de los factores: Confiabilidad de Diseño, Confiabilidad de procesos, Confiabilidad de Activos, Mantenibilidad de Activos y Confiabilidad Humana.

Por lo cual cada uno es representativo y contribuye a la Confiabilidad Operacional pero en este caso tomaremos a la Confiabilidad Humana como un soporte de las cuatro restantes, un pilar de estructura, así como los demás componentes de la Confiabilidad.



Figura 1.3. Componentes de la Confiabilidad Operacional, notando que la Confiabilidad Humana es el soporte de toda su estructura.

Fuente: Rojas, N.2010. Integración de Herramientas para el Aseguramiento de la Confiabilidad Operacional. Diagrama.



Con estos parámetros podemos ver que la Confiabilidad Operacional, es quien representa una vía efectiva que permitirá a las empresas en corto plazo, enfrentar en forma eficiente, los retos propuestos por los constantes y complejos cambios a los cuales están sometidas las organizaciones productivas hoy en día.

1.2. Las Catorce Mejores Prácticas Internacionales en Confiabilidad Operacional

Con la finalidad de mejorar la cantidad de rentabilidad de los procesos productivos, cada día se dedican enormes esfuerzos destinados a visualizar, identificar, analizar, implantar y ejecutar actividades para la solución de problemas y toma de decisiones efectivas y acertadas, que involucren un alto impacto en las áreas de:

- Seguridad
- Ambiente
- Metas de producción
- Calidad de producción
- Costos de operación y mantenimiento

Con el único objetivo de garantizar una buena imagen de la empresa y satisfacción de sus clientes y de su personal que labora. por estos motivos se creó la Confiabilidad Operacional encargada de optimizar y mejorar todas aquellas fallas u actividades, creando una empresa de Clase Mundial, en la cual este para abarcar cada una de las áreas tuvo que dividirse en 14 mejores prácticas las cuales abarcan las áreas en las cuales puede afectar a un proceso o producción.



1.2.1 Costos de Mantenimiento y Ciclo de Vida de los Activos

Costos de Mantenimiento

Los tiempos de parada de máquinas siempre han afectado la capacidad productiva de los activos físicos limitando los volúmenes de producción, aumentando los costos operativos e interfiriendo con el servicio a clientes, de tal suerte en los últimos años el costo de mantenimiento ha pasado de insignificante, a la cabeza de las prioridades del control de costos, por esta razón es esencial en la Confiabilidad Operacional.

Costos de Mantenimiento se define como el conjunto de costos directos e indirectos en que incurre el Mantenimiento durante un periodo por la prestación de sus servicios deberá asignarse a los usuarios a través de las órdenes de trabajo en el mismo periodo.

Los conceptos de gastos que las áreas de mantenimiento pueden ejercer y en el que aparecen los criterios de:

- **Costos directos de mantenimiento:** Las órdenes de trabajo son la fuente de información para obtener este tipo de costo, conforme a la planificación y programación de actividades, como resultado de la aplicación real de los recursos.
- **Costos indirectos de mantenimiento:** Son aquellos costos de mano de obra, materiales, refacciones, viáticos, servicios, gastos de operación y equipos de mantenimiento que no se puede transferir o imputar a la orden de trabajo de manera directa y que se transfiere a las instalaciones, bajo un esquema de distribución establecido.

Para su cálculo o determinación son:



COSTOS DIRECTOS DE MANTENIMIENTO	COSTOS INDIRECTOS DE MANTENIMIENTO
<ul style="list-style-type: none">• Mano de Obra*• Depreciación*• Indemnizaciones• Adquisiciones• Conservación y Mantenimiento• Horarios pagados a terceros*• Servicios Prestados por otras Instituciones*• Servicio de Transporte• Servicios Auxiliares pagados a terceros*• Seguro Interno del personal*• Arrendamientos*• Viáticos y gastos de viaje*• Seguros y finanzas*• Servicios de intercomunicación*• Fletes*	<ul style="list-style-type: none">• Gastos Administrativos• Gastos Corporativos• Pasivo Laboral• Servicio Médico*• Telecomunicaciones*

Tabla 1.1. Clasificación de Costos de Mantenimiento

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor practica: Costos de Mantenimiento y Ciclo de Vida de los Activos.*

* Se considera únicamente los que corresponde a personal de mantenimiento, estudios y servicios para mantenimiento como es el caso de las depreciaciones:

- Los materiales y refacciones repostadas son utilizados exclusivamente en actividades de mantenimiento de instalaciones productivas y son los reportados en las órdenes de trabajo de mantenimiento.
- Los Costos Indirectos de mantenimiento son erogaciones que no necesariamente se ejercen en el área de mantenimiento.



Ciclo de Vida de los Activos

Los activos son la base fundamental de los procesos de producción, el maximizar la efectividad de su ciclo de vida, incrementar su utilización y reducir el riesgo asociado a su operación, impulsa la creación del valor y rentabilidad de la empresa.

El Ciclo de Vida de los Activos es el tiempo que durante el cual un activo conserva su capacidad de utilización. El periodo abarca desde investigación, diseño, construcción, operación, mantenimiento, sustitución o disposición final hasta que es sustituido o es objeto de restauración/rehabilitación. Nos permite prevenir:

- *Necesidades financieras:* cuando el activo está llegando el fin de su vida útil
- *Disminución de eficiencia:* aumento en los costos de operación y mantenimiento.
- *Comparación con otras alternativas:* cambios tecnológicos, relocalizaciones, incrementos de capacidades y demás.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

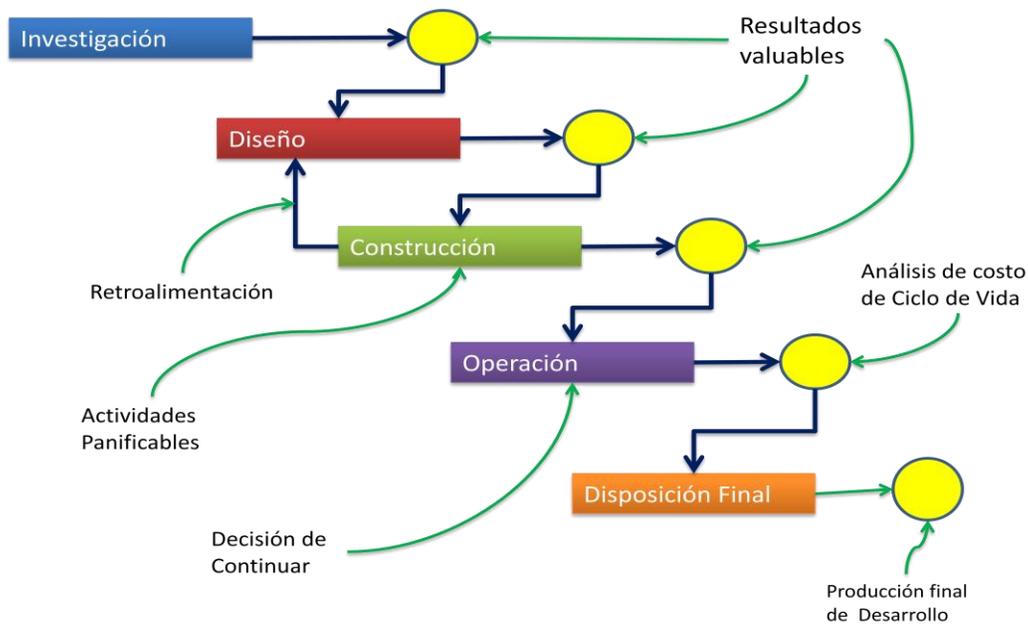


Figura 1.4. Concepto del ciclo de vida de los activos

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Contabilidad Operacional para la mejor práctica: Costos de Mantenimiento y Ciclo de Vida de los Activos. Diagrama.*

En todas esas etapas, hay decisiones a tomar, información a seguir, costos a evaluar, registrar y considerar, repuestos a definir, capacitación de operadores y mantenedores a desarrollar, análisis que hace referentes a distintos aspectos de la operación y el mantenimiento del activo.

El grupo natural de trabajo es identificar primero a los activos, para los cuales se determinaran los principales parámetros de ciclo de vida en forma histórica con el apoyo de los sistemas financieros, bases de diseño, programas de producción, programas de mantenimiento y sistemas de control. Conformando así bases de datos homogéneas.

Los objetivos de la Planificación del ciclo de Vida son:

1. Establecer y conocer los costos totales de un activo a lo largo de su vida útil.



2. Establecer una base sólida para la toma de decisiones sobre la que se toman las mismas.
3. Planificar los costos de mantenimiento y de agotamiento de vida.
4. Aumentar la capacidad de prestación de servicios o el poder de generación de ingresos de los activos.

Beneficios

La planificación del ciclo de vida, de una empresa, para todos los activos principales ayudara a asegurar que:

- El uso y las prestaciones de los activos dentro de la cartera no son puestos en peligro.
- Se dispone de una base solida para la decisión de inversión, mantenimiento y disposición.
- Se dispone de una herramienta adecuada para todas las contingencias significativas, por lo que se pueden tener respuestas adecuadas para demandas inesperadas o averías importantes
- Se pueden preparar oportunos planes estratégicos del mantenimiento del activo.
- El conocimiento, de la vida útil del activo puede permitir planificar grandes inversiones o disponer del activo.
- Permite soportar de forma eficiente los objetivos de la cartera de activos.

Riesgos

La no planificación del ciclo de vida, de una empresa, para todos los activos principales puede dar lugar a que:

- Proyectar o Construir activos con características que le van a penalizar al incurrir en altos costos de explotación (como altos consumos energéticos o altos costos de mantenimiento).



- Ser incapaces de evaluar de forma realista cambios o mejoras en el activo.
- El que continuemos en el uso de activos obsoletos o poco rentables.
- Inadecuadas estrategias de utilización.
- Establecer Planificación del Mantenimiento y modelos de financiación no orientados a las prestaciones esperadas o la vida del activo.

Costos de Ciclo de Vida de los Activos

El **costo de ciclo de vida** de un activo se define como el coste del diseño original en la fase de concepción, la ingeniería detallada, la construcción y la instalación, más el costo total de propiedad, incluidos los costos operativos y de mantenimiento, la compensación al final de la vida de los activos.

Este proceso implica: al análisis por medio de herramientas económicas-financieras sin olvidar que las Inversiones pueden existir en la etapa de operación cuando se invierte en el activo para ser modificado o actualizado con la finalidad de incrementar su vida útil o aumentar su capacidad instalada.

Como resultado la combinación de las Inversión y costos operativos, dan un panorama general para determinar el punto óptimo de su vida económica y de impacto sobre el negocio, con la finalidad de tomar las decisiones más adecuadas (reemplazar, mantener y/o reparar) en el momento que sea necesario.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

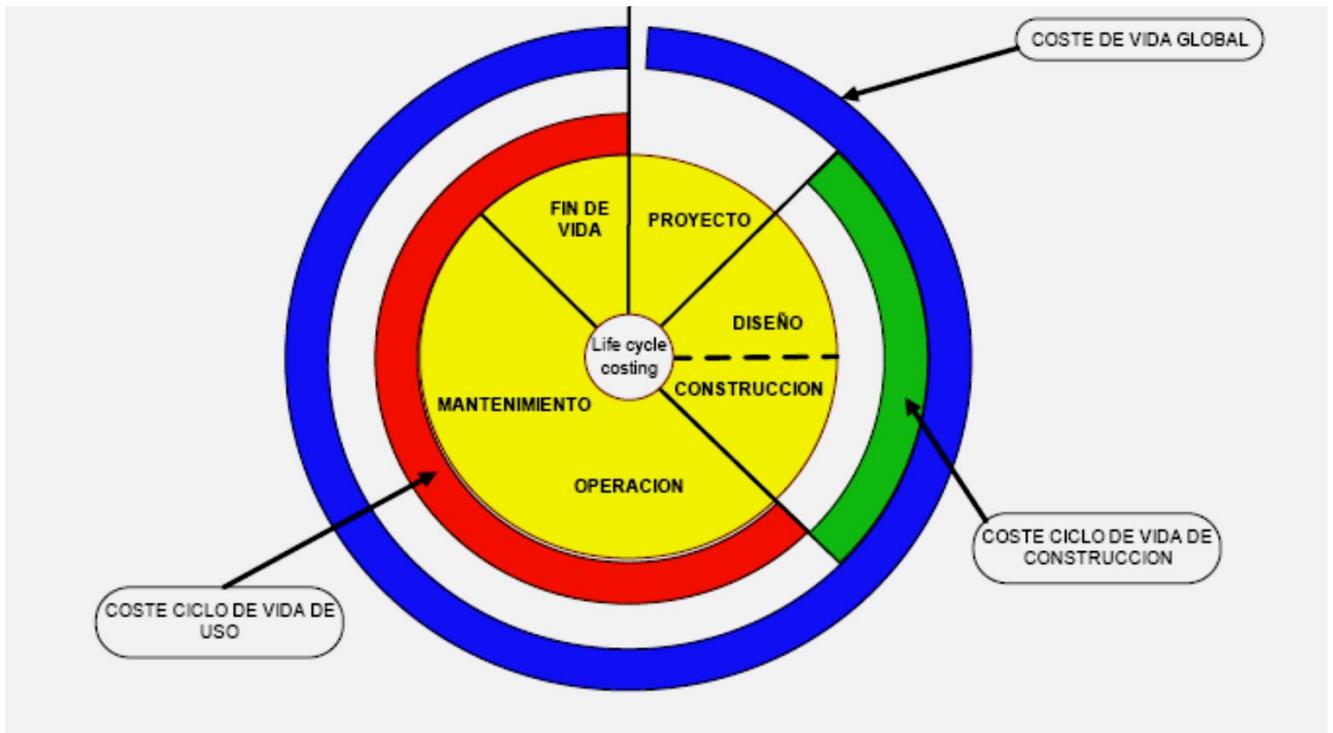


Figura 1.5. Análisis de las diferentes etapas del ciclo de vida
Fuente: De acuerdo con BS ISO 15686-5 "Buildings & constructed asset- Service life planning –Part 5: Life Cycle costing



Aplicación del Análisis del Costo de Ciclo de Vida de los Activos

La aplicación y desarrollo del Análisis del Costo de Ciclo de Vida de una planta, sistema y/o equipo en su etapa operativa se describen en la siguiente figura.

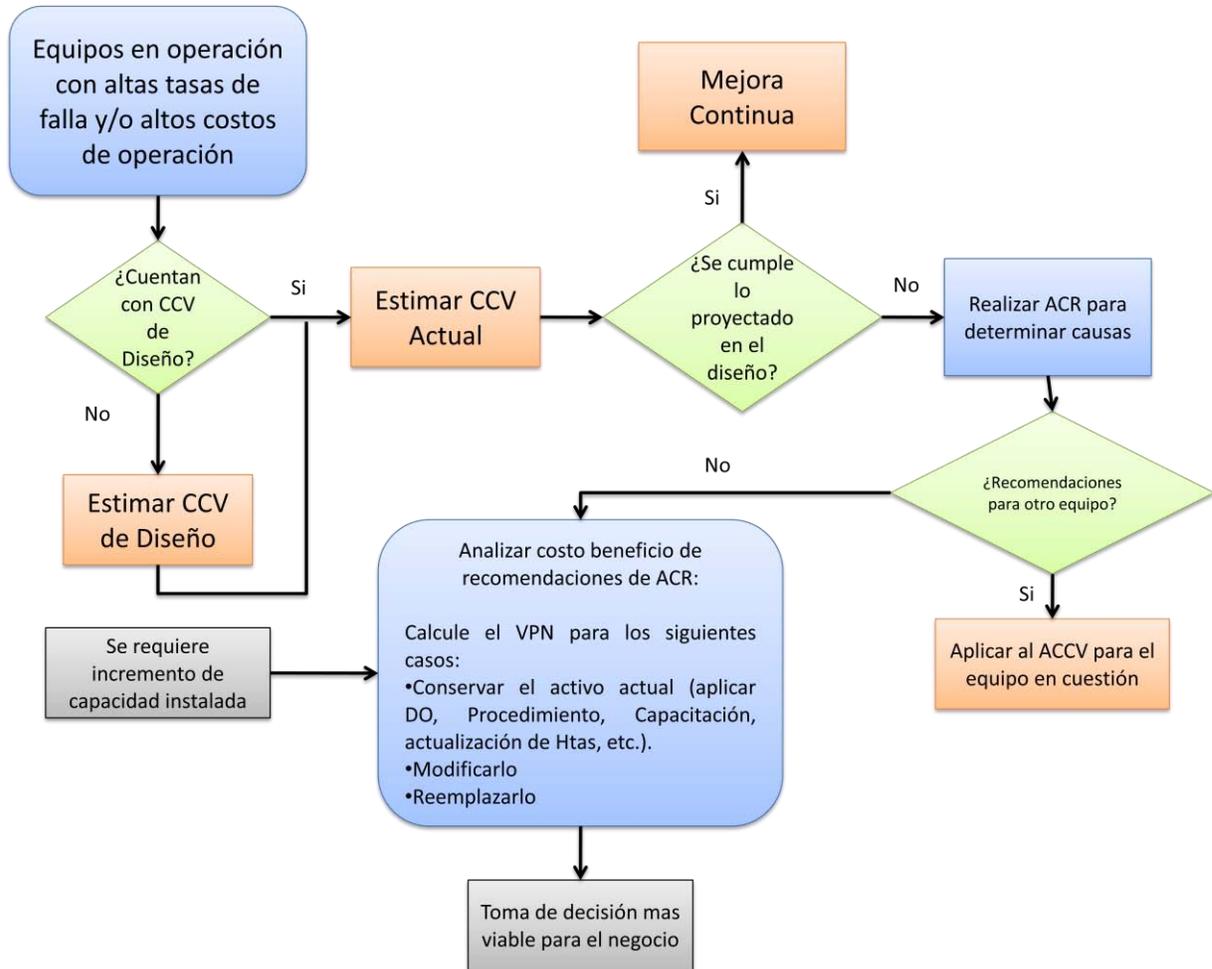


Figura 1.6. Aplicación del Ciclo de Vida de los Activos

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor practica: Costos de Mantenimiento y Ciclo de Vida de los Activos. Diagrama.

En la etapa de Análisis de Costos de Ciclo de Diseño solo se analizara los costos directos de la planta, equipo o instalación, esto es porque lo que se busca, es medir su variación de eficiencia conforme al diseño, no el costo total



de su proceso, conceptos como Costos Corporativos y Costos de Administración, están fuera del análisis.

1.2.2. Mantenibilidad

La Mantenibilidad es la habilidad de una planta de proceso, sistema y/o equipo para alcanzar los requerimientos preestablecidos de operación y mantenimiento durante su ciclo de vida; es decir, que su corrida operativa y sus paros programados estén acordes a los preestablecido desde su diseño y construcción, considerando además los costos en los que se incurre durante la operación y el mantenimiento.

La Mantenibilidad se ha convertido en un factor crítico en la ecuación de la rentabilidad de toda empresa; así mismo, con la Mantenibilidad de los activos durante su ciclo de vida, se busca analizar las tareas de operación y mantenimiento, con el propósito de evaluarlas en relación a la capacidad de alcanzar sus requerimientos para obtener y establecer tiempos óptimos en relación al costo-beneficio.

El concepto de Mantenibilidad está relacionado con las características del diseño, fabricación e instalación la cual afecta a un equipo, así mismo la Mantenibilidad es la habilidad para alcanzar los requerimientos específico de operación y de mantenimiento establecidos en el diseño.

Esta habilidad se mide generalmente en términos de la duración de los tiempos empleados para las actividades de mantenimiento.

Los tiempos de mantenimiento depende de:

- a) La habilidad para restaurar el servicio de un equipo (facilidad para el diagnóstico, la accesibilidad a sus partes, etc.).
- b) Contar con los soportes requeridos (personal, entrenamiento, refacciones de repuesto, instalaciones (talleres), manuales, etc.).



Esto incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica. Depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de Mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, maquinas, equipos, especializados, etc.).

Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de Mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

El concepto de Mantenibilidad debe expresarse de manera numérica. De esta forma, las características cualitativas, como por ejemplo: políticas para incrementar la confiabilidad operacional y/o lineamientos/procedimientos para ejecución de tareas, deben ser traducidas en medidas cuantitativas: tiempo de restauración al servicio, tiempos de tareas preventivas / predictivas para mantener en operación, factores de frecuencia de mantenimiento y costos de mantenimiento de un sistema o equipo.

Estos términos pueden ser presentados como características diferentes, por lo tanto, Mantenibilidad puede definirse para todo equipo durante sus etapas de diseño como:

- Los periodos en que debe conservarse operando, es decir sus corridas operacionales. Con el soporte adecuado de la aplicación del mantenimiento preventivo, predictivo, así como el monitoreo de condiciones.



- Los tiempos de mantenimiento requeridos para restaurarlo a la condición operativa. Con la aplicación de estándares de procedimientos, herramientas, nivel adecuado de capacitación.
- Los costos mínimos sostenibles para operar y mantener equipos.

Aunque estas tres maneras de cuantificar la Mantenibilidad son posibles, el enfoque basado en las corridas operacionales y en los tiempos de mantenimiento, son los más usados en la práctica

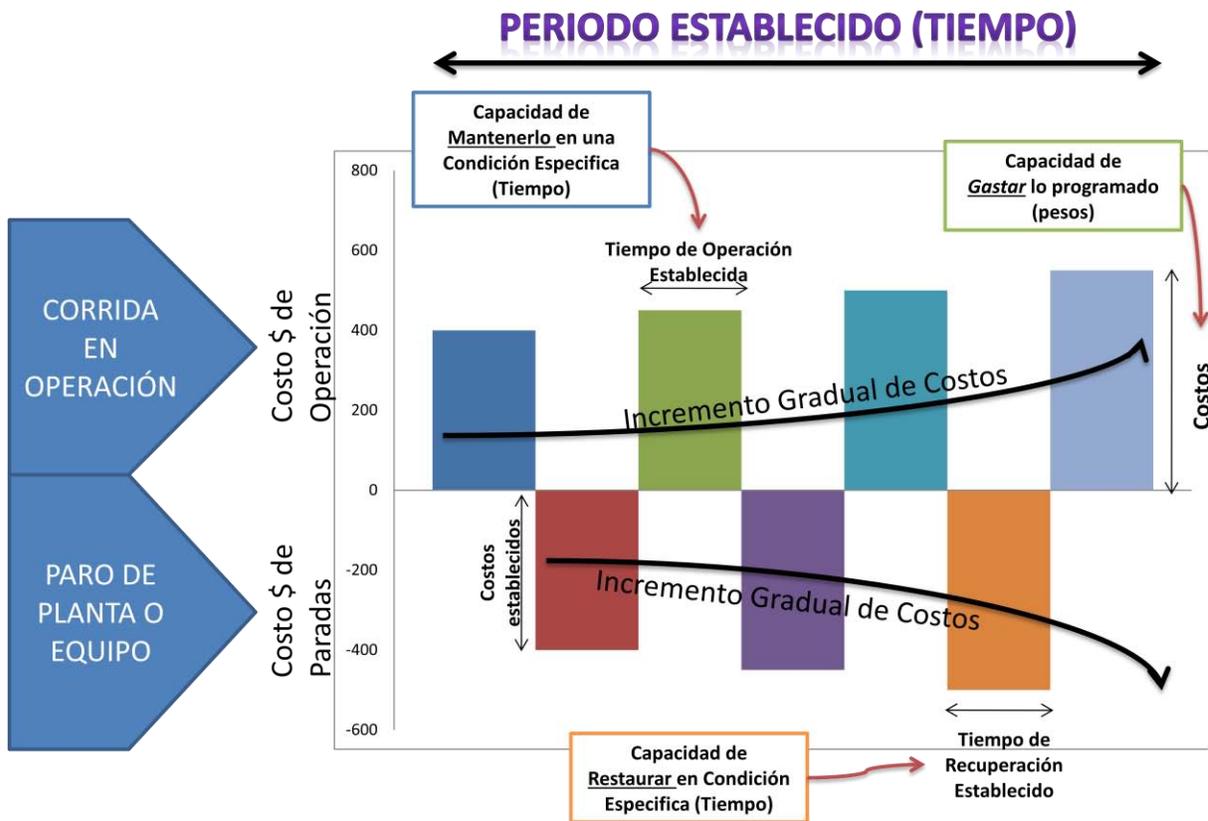


Figura 1.7. Requerimientos establecidos de operación y mantenimiento.

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenibilidad. Diagrama.

Los objetivos de la Mantenibilidad, se encuentran referidos al ciclo de vida de los equipos principalmente se orienta en las siguientes fases:



- a) **Fase de Planeación:** Determinar y definir el entorno operativo, se determinan y definen las condiciones de operación y de mantenimiento del equipo, se establecen las restricciones de mantenimiento y estas deben ser consideradas durante el estudio de factibilidad y la predicción de los costos de ciclo de vida. Determinar los requerimientos de Mantenibilidad, los requerimientos de Mantenibilidad deben considerar los aspectos de confiabilidad operacional y restricción del costo.
- b) **Fase de Adquisición:** Satisfacer los requerimientos de Mantenibilidad, a través de programas de Mantenibilidad diseñados como parte de la ingeniería del equipo y proporcionar el soporte para la planeación del mantenimiento
- c) **Fases de Uso:** En esta fase se consideran las actividades operacionales y se ejecuta el mantenimiento en base a procedimientos específicos. Se define las actividades importantes para la Mantenibilidad como son el registro, análisis y generación de los datos principales del mantenimiento, para retroalimentar la fase de planeación con la finalidad de mejorar el diseño, que puede llevar a la modificación del equipo.



Figura 1.8. *Objetivos de las fases de Mantenibilidad*
Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenibilidad. Diagrama.*

Aplicación de la Mantenibilidad en equipos, plantas o sistemas

La Mantenibilidad debe ser aplicada y verificada cuantitativamente durante el ciclo de vida de los equipos, comparando la Mantenibilidad establecida en el diseño o la establecida por el Centro de Trabajo con la calculada en tiempo real.

Cuando se detecten áreas de oportunidad durante la ejecución de las tareas de mantenimiento en el ciclo de vida del equipo en la etapa de operación o uso, se deberán de realizar acciones para restaurar su Mantenibilidad y estar dentro de los parámetros aceptados de diseño o establecidos por el Centro de Trabajo.

La aplicación y desarrollo de la Mantenibilidad de una planta, sistema y/o equipo se describe en el siguiente diagrama de flujo.

Donde el punto de inicio es la definición de la etapa en la que se ubica el equipo al que se le evaluara su Mantenibilidad.

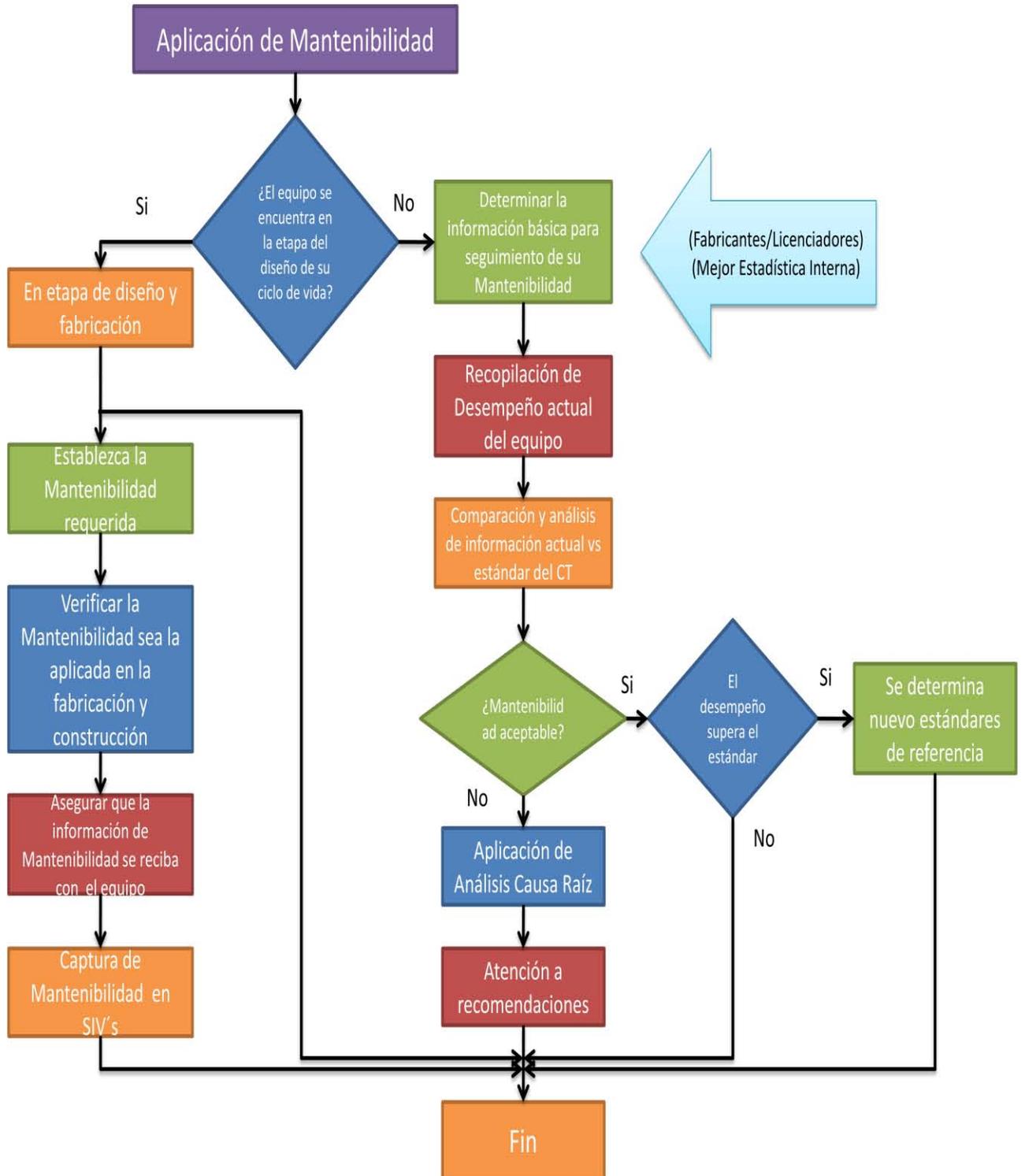


Figura 1.9. Aplicación de la Mantenibilidad
Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenibilidad. Diagrama.



1.2.3. Capacitación y Certificación de Habilidades

La Capacitación y Certificación de Habilidades debe estar basada en la práctica continua de la metodología y/o tecnología a aplicar. La capacitación y certificación se hace a través de instituciones, empresas o instituciones de investigación aplicada, reconocidas en cada campo a nivel nacional e internacional.

Se denomina Capacitación a la Norma establecida en la Ley Federal del Trabajo que obliga a toda entidad o empresa a proporcionar capacitación y adiestramiento a sus trabajadores, para elevar la producción y productividad, y contribuir al logro de objetivos institucionales o empresariales, para lo cual es necesario que todo el personal participe activamente.

La capacitación y adiestramientos tienen los siguientes objetivos:

1. Incrementar la productividad institucional a partir de un aumento de su eficacia.
2. Preparar al trabajador para desarrollar en forma óptima las funciones en su puesto.
3. Actualizarlos e incorporarlos en los últimos cambios de la ciencia y tecnología relativos a sus funciones institucionales.
4. Promover en la institución a los recursos humanos más calificados que garanticen la mejor operación.
5. Procurar a la institución los recursos humanos calificados que garanticen la mejor operación.
6. Integrar y desarrollar grupos eficientes y eficaces por áreas de trabajo.
7. Optimizar la imagen institucional ante las entidades y público en general.

En cambio la Certificación de Habilidades son los documentos emitidos por una institución acreditada mediante el cual garantiza la competencia, conocimientos y/o habilidades de una persona. La Certificación del personal en la técnicas predictivas y preventivas es una parte clave en el procesos de mejora y



sustentabilidad de los activos a través de la Confiabilidad Operacional. Mediante la certificación en dichas técnicas al personal específico que trabajará cotidianamente con ellas. Para llevar a cabo esta Mejor Practica se requiere establecer e implementar planes, programas e indicadores de capacitación, entrenamiento y certificación al personal clave de la aplicación de técnicas predictivas y preventivas. Este proceso debe estar en línea con:

- Las necesidades y requerimientos del puesto-persona
- El sostenimiento del proceso de mejora continua en Confiabilidad Operacional.
- La normatividad aplicable y vigente.

Esta Mejor Practica define los mecanismos de capacitación y certificación que hacen viable alcanzar la efectividad operativa y optimización del ciclo de vida de los activos, con la consecuente disminución de costos de operación, a través del conocimiento específico y su aplicación inmediata en el campo de trabajo.

La Capacitación y Certificación de Habilidades en Confiabilidad Operacional, debe considerar los elementos siguientes:

- **Diagnóstico:** Se elabora un diagnostico basado en las Guías de Autoevaluación de las 13 Mejores Prácticas de Confiabilidad Operacional. Se prepara un reporte donde identifica las brechas localizadas en todo el Centro de Trabajo con respecto a capacitación y certificación de habilidades, y su relación con las metas de Confiabilidad Operacional.
- **Planeación y Programación:** A partir del diagnóstico se elabora el Plan General de Capacitación y Certificación en Confiabilidad Operacional, donde se definen las prioridades de metodologías y tecnologías a capacitar y/o certificar, así como el personal, y los niveles. Los programas de las actividades para llevar a cabo el Plan General de Capacitación y Certificación de Habilidades en Confiabilidad Operacional, permite que se



pueda optimizar los tiempos y los recursos necesarios para lograr que el personal idóneo obtenga los niveles de conocimiento y capacidades de manera efectiva y eficiente. Se debe recordar que el Plan General recoge todas las necesidades de capacitación y/o certificación detectadas en el diagnóstico de Confiabilidad Operacional

- **Ejecución:** En el largo plazo se implantará la norma de competencia laboral, es decir, trascender la teoría y el conocimiento, para hacer hincapié en la aplicación práctica en el lugar de trabajo. Una vez concluida cada capacitación y certificación, se debe registrar la calificación de cada participante, con el objetivo de mantener actualizadas las aptitudes del personal.
- **Evaluación:** Las evaluaciones de los capacitados, así como los requisitos de certificación, corresponderán a lo que cada una de esas instituciones haya previamente registrado ante autoridades gubernamentales correspondientes, de acuerdo a la legislación vigente. Si la calificación caduca, la competencia entra en un proceso de mejora continua.



Figura 1.10. Elementos del proceso de Capacitación-Certificación en Disciplina Operativa
Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Capacitación y Certificación de Habilidades. Figura.



1.2.4. Compromiso y Liderazgo

Compromiso

Cuando en la organización se habla de la contribución de cada persona a los resultados colectivos, surgen términos como la responsabilidad, la motivación, la inteligencia, la competencia, el talento, la diligencia y, entre otros más, el compromiso. Estos son conceptos complejos e interrelaciones que habrán de interpretarse con cierto rigor.

Algunas fortalezas en las cuales se despliega el compromiso en la actuación cotidiana son:

- El espíritu de comunidad.
- La responsabilidad.
- La proactividad.
- El afán de superación.

Liderazgo

Se define como la capacidad de influir en un grupo para alcanzar objetivos comunes.

Ser un líder, en ese sentido, implica ejecutar de influencia frecuente y efectivamente. Al ser así, el grupo termina de reconocer a la persona como líder, sea o no su jefe.

Una “jefatura” es una posición de mando que implica ciertas responsabilidades y cierta autoridad.

Esta posición otorga a quien la ocupa, la posibilidad de contar con recursos que la organización le confiere para coordinarlos en la implementación de la estrategia. El ocupante de esta posición es un Jefe, sea un Líder o no.



Cuando ambos conceptos, Jefe y Líder, se conjunta en la misma persona, el resultado conduce a mayores probabilidades de implementar exitosamente la planificación estratégica y viceversa.

Finalmente, las organizaciones generalmente no mejoran sin un fuerte liderazgo y un sólido compromiso. Una fuerza de trabajo que está convencida que su Organización adopta totalmente la seguridad y la Confiabilidad Operacional como valores principales, tendera a realizar las cosas correctas, en la forma y tiempo correcto, aun cuando nadie este mirando o supervisando. Este comportamiento debe ser mantenido y reconocido consistentemente en toda la empresa. Una vez que esta embebido en la cultura de la empresa, el compromiso con la Confiabilidad Operacional puede sustentar la excelencia en los aspectos técnicos.

Para que una Organización o instalación se comprometa con la Confiabilidad Operacional debe enfocar sus esfuerzos en los siguientes aspectos:

- Desarrollar y sostener una cultura que privilegie la confiabilidad operacional.
- Identificar, entender y cumplir con los códigos, estándares, regulaciones y leyes relacionadas con la operación de sus procesos y/o activos.
- Establecer y mejorar continuamente la competencia organizacional en los procesos y/o activos que operan.
- Solicitar retroalimentación en forma continua a sus empleados, contratistas y vecinos.
- Desarrollar y sostener una cultura de adquisición de información, mediciones y métricos.

Las practicas que permitirán obtener un compromiso sólido y un liderazgo fuerte con la Confiabilidad Operacional y los principales elementos que las conforman.

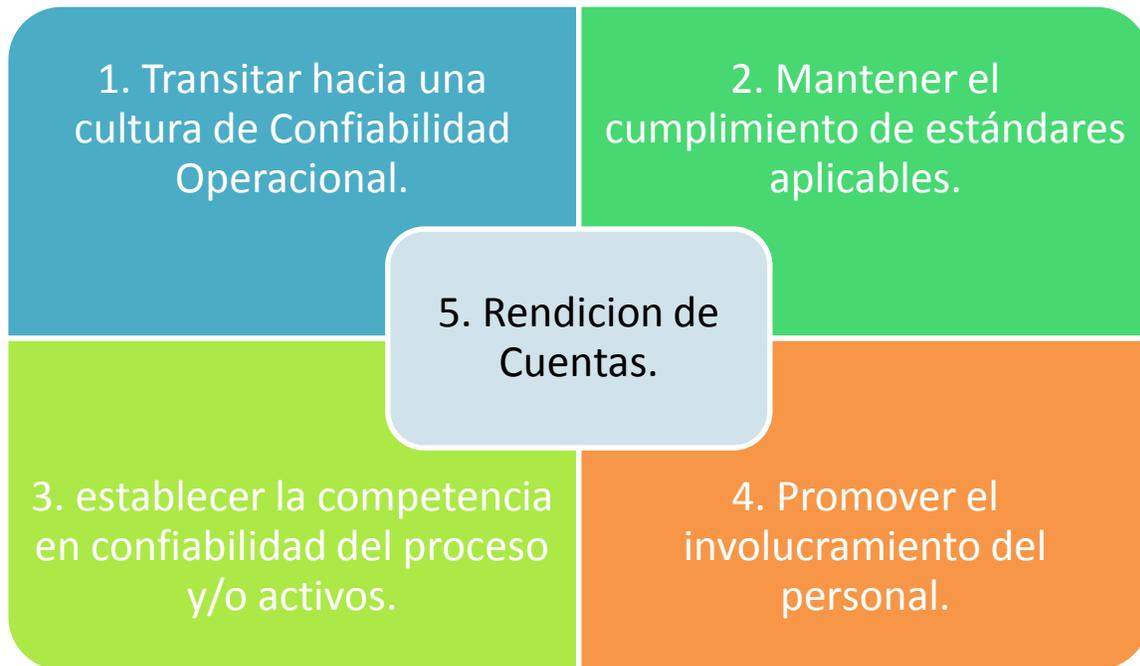


Figura 1.11. Elementos que conforman el desarrollo en Compromiso y Liderazgo en Confiabilidad Operacional.
Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Capacitación y Certificación de Habilidades. Figura.

1. *Transitar hacia una cultura de confiabilidad operacional.* La cultura de confiabilidad operacional es la forma de ser y de pensar de una organización, en donde se conjuntan creencias, valores, políticas, sistemas, procesos, normas y conductas que determinan la manera en que la confiabilidad es administrada, su deficiencia es una de las causas más importantes y comunes de la ocurrencia de incidentes graves.
2. *Mantener el cumplimiento de estándares.* Deberá de asegurarse el cumplimiento a los estándares, códigos, regulaciones y leyes que afecten la Confiabilidad Operacional, esto ayuda a mantener una cultura de confiabilidad dentro de la organización y a implementar consistentemente las prácticas de la misma, minimizando los riesgos legales. Para su administración, es necesarios contar con responsables que tengan lo suficientes conocimientos técnicos.



3. *Establecer la competencia en confiabilidad del proceso y/o activos.* Utilizar la guía de Confiabilidad Operacional para la Capacitación y Certificación de Habilidades, en los aspectos de aprendizaje que incluyen el esfuerzo para desarrollar, descubrir e incrementar los conocimientos de Confiabilidad Operacional de una forma Proactiva.
4. *Promover el involucramiento del personal.* Para promover la Confiabilidad Operacional, es importante el involucramiento del personal mediante el conocimiento de los roles que tienen todos los trabajadores en la operación y mantenimiento, en virtud de que son los más expuestos a los peligros del proceso.
5. *Rendición de Cuentas.* Es un proceso pro-activo por medio del cual los responsables informan, explican y justifica sus planes de acción, su desempeño y sus logros correspondientes. También donde los responsables en cada uno de los niveles de la estructura organizacional tienen la posibilidad de informar el cumplimiento de los objetivos y metas en el desempeño de confiabilidad operacional en sus ámbitos de acción. En estos términos los responsables de la confiabilidad están sujetos a sanciones (castigo) y estímulo (incentivos).

Para medir el desempeño en las prácticas de Compromiso y Liderazgo se deberán utilizar los siguientes indicadores:



Cultura de Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de visitas realizadas de los altos directivos respecto al programa.• Porcentaje de administradores y supervisores entrenados en Confiabilidad.• Medición de las tendencias de las métricas de Confiabilidad.• Porcentaje de empleados que reciben reconocimientos o sanciones por el cumplimiento e incumplimiento a sus responsabilidades en Confiabilidad.
Cumplimiento de estándares	<ul style="list-style-type: none">• Número de personas entrenadas en actividades reguladas o de estándares.• Tiempo utilizado en la revisión de estándares.
Competencia en Confiabilidad del proceso	<ul style="list-style-type: none">• Comparación del presupuesto gastado contra el programado en actividades relacionadas con el plan de aprendizaje.• Presencia de objetivos relacionados a la mejora en la competencia en Confiabilidad en los planes de desempeño de gerentes, supervisores y asesores.
Involucramiento del personal.	<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de trabajadores entrenados en involucramiento del personal en Confiabilidad y con responsabilidades claramente definidas.• Porcentaje de Gerentes capacitados en involucramiento del personal en Confiabilidad.

Tabla 1.2. Desempeño de Compromiso y Liderazgo

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Capacitación y Certificación de Habilidades. Tabla.*



1.2.5. Orden y Limpieza 5´S

La concepción de las 5´S orientada hacia la calidad total, la cual se define como el conjunto de procesos estandarizados en el que participa todo el personal con el objetivo de obtener la satisfacción del cliente y una rentabilidad que garantice su continuidad en el mercado, esa incluida dentro de lo que se conoce como mejoramiento continuo.

Se desarrolló a partir de la segunda guerra mundial, en la Unión Japonesa por Científicos e Ingenieros como parte de un movimiento de mejora de calidad y sus objetivos principales son eliminar obstáculos que impidan una producción eficiente, lo que trajo también una mejora sustantiva de la higiene y seguridad durante los procesos productivos.

Las siguientes definiciones son una traducción al español de las cinco actividades “5´S”, tomadas de “Las cinco claves para un ambiente de calidad total 5´S”

- 1) **Seiri: Desalojar.-** Clasificar o Seleccionar, separar las cosas útiles de las innecesarias, retirando lo innecesario.
- 2) **Seiton: Organizar u Ordenar.-** Ubicación específica de los artículos que facilite su ubicación, disposición, así como el regreso de los mismos a su lugar; esto evita la pérdida de tiempo por búsqueda.
- 3) **Seiso: Limpiar.-** Mantener las instalaciones limpias y conservarlas en las mejores condiciones.
- 4) **Seiketsu: Estandarizar.-** Reglas e indicaciones para mantener un estado óptimo.
- 5) **Shitsuke: Disciplina.-** Cumplir con lo establecido, sin personal irresponsable.



Figura 1.12. Metodología 5'S

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Orden y Limpieza 5'S. Figura.

Desalojar/Clasificar: Seiri

El objetivo de Seiri es separar claramente entre el material, equipo, herramienta o implementos necesarios de los innecesarios. Se deben identificar que herramientas o equipos se usan constantemente y cuales se les requiere poco, así como arreglar el lugar de trabajo para aprovechar el espacio y convertirlo en un lugar ordenado, seguro y confortable.

El desarrollo del sistema se muestra en el siguiente procedimiento:

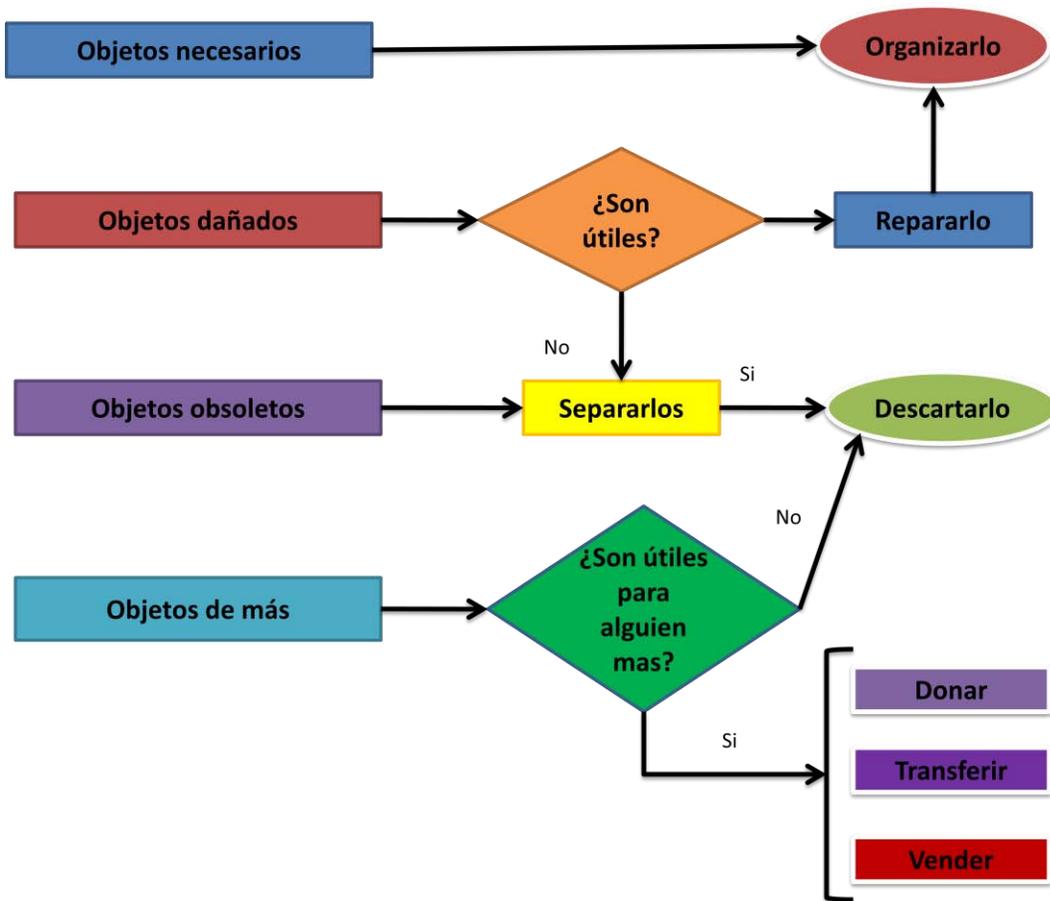


Figura 1.13. Procedimiento Seiri

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Orden y Limpieza 5'S. Diagrama.

Organizar: Seiton

El objetivo de organizar (Seiton) es crear un lugar, donde se puedan ordenar los objetos requeridos de acuerdo con el método establecido, dándoles una ubicación específica que facilite su localización para no perder tiempo en su búsqueda, disposición y regreso al mismo lugar después de ser usados. De esta manera se crea un estado, en el que se puede ver de inmediato, lo que no se ha devuelto o puesto en su lugar. Esto también ayuda a conservar en buenas condiciones las herramientas, refacciones e implementos de trabajo.



El organizar (Seiton) aplicado al lugar de trabajo no es solo cambiar el entorno de tal manera que sea practico y funcional, así como agradable a la vista.

Limpiar: Seiso

El limpiar (Seiso) el área de trabajo para localizar anomalías y corregirlas nos facilita la inspección. Esta actividad debe promover la limpieza en todos los espacios y elementos que conforman el lugar de trabajo, hasta lograr un estado donde no haya basura o suciedad y la maquinaria o herramienta siempre estén en óptimas condiciones.

Las actividades de la limpieza (Seiso) incluyen buscar las fuentes de suciedad, eliminarlas quitando la suciedad con los aditamentos necesarios, así como no ensuciar lo que ya está limpio. Evitar cubrir suciedad con pintura. Se recomienda que el jefe y responsable de línea pongan el ejemplo voluntariamente.

La normatividad de Seiso deberá elaborarse entre todos, para lo cual podemos utilizar un formato como el siguiente:



Estándar Seiso de 5'S			
Lugar	Punto de limpieza	Frecuencia	Encargado
1. Suelo	Recoger el polvo metálico. Limpiar líquido derramado. Quitar marcas de suciedad.	Diario	Todos
2. Oficina	Ordenar papelería en archiveros y escritorios. Limpieza del área de trabajo.	Diario	Todos
3. Almacén, Taller y Áreas de la Planta	Colocar artículos de trabajo y de la planta en el lugar que le corresponde. Limpiar líquido derramado y/o suciedad en equipos (cuando aplique). Pintar las aéreas que lo necesiten. Limpiar los accesos, estos debe estar en condiciones transitables.	Diario / Mensual	Todos

Tabla 1.3. Norma Seiso

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Orden y Limpieza 5'S. Tabla.

Estandarizar: Seiketsu

El estandarizar o normar (Seiketsu) es la metodología que nos permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las 3 primeras 'S, esto es, diseñando sistemas y procedimientos que aseguran la continuidad.

Los elementos más importantes son el proveer de advertencias o avisos fácilmente entendibles (control visual) para identificar malos hábitos de trabajo; asignar trabajos y responsabilidades a cada personal de la entidad, estos deben conocer cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tienen que hacer, cuándo, dónde y cómo hacerlo. La idea es destacar la importancia de que cualquier



persona pueda determinar fácilmente cuando una maquina o elemento del equipo está funcionando mal.

Disciplinar: Shitsuke

Disciplinar (Shitsuke) significa convertir en habito el empleo y la utilización de los métodos establecidos y estandarizados, es decir, acostumbrarse a cumplir las reglas y comprometerse positivamente en lo que se debe hacer para desarrollar la eficiencia y seguridad.

Es la consolidación de las cuatro actividades previas: Clasificar (Seiri), Organizar (Seiton), Limpiar (Seiso) y Estandarizar (Seiketsu) por medio de reglas e indicaciones para mantener el estado óptimo.

1.2.6. Plan de producción

La Confiabilidad de Proceso es una parte fundamental de la Confiabilidad operacional que resulta en producir de forma estable, confiable, segura y rentable a lo largo del ciclo de vida del activo; en este sentido y con el propósito de alcanzar dicho resultado, es necesario contar con un Plan de Producción ordenado y preciso, sin dejar de ser desafiante, que permita la elaboración de programas congruentes y de alta factibilidad orientados a la producción segura, estable, confiable y rentable.

El Plan de Producción es el punto de partida del proceso de operación hacia la obtención de la Confiabilidad de Proceso, motivo por el cual es de suma importancia la ejecución del mismo.

El Plan de producción toma en cuenta los Peligros y Riesgos inherentes a la Planeación (eventualidades, fallas, paros no programados, disminución en la capacidad de producción o transporte, condiciones climatológicas adversas,



carencia o disminución en los insumos, limitación de recursos o presupuestos, etc.), también toma en cuenta la Información de Laboratorio, para comprobar que las materias primas, los productos e insumos empleados, cumplan o hayan cumplido estadísticamente con las especificaciones adecuadas. De igual manera se toman en cuenta una serie de elementos de tipo operativo que permiten identificar las necesidades de control del proceso, como son las Funciones Protectoras o Variables Operativas que deben ser reguladas en un rango óptimo (Ventanas Operativas) y bajo ciertos criterios de Seguridad.



Figura 1.14. Confianza de Proceso

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confianza Operacional para la mejor práctica: Plan de Producción. Diagrama.

La planeación de la producción es una de las actividades fundamentales que se deben realizar con el fin de obtener resultados. Básicamente se refiere a determinar el número de unidades que se van a producir o transportar en un periodo de tiempo, con el objetivo de prever, en forma global, cuales son las necesidades de mano de obra, materia prima, materiales, sustancias químicas, instalaciones, equipo y recursos económicos, que se requieren para el cumplimiento del plan de una forma eficaz, segura y confiable, tomando en cuenta



el ciclo o corrida operacional dentro del contexto de la frase operativa del ciclo de vida de los activos.

De manera general las actividades del proceso de Planeación de la Producción inician cuando a nivel Dirección se desarrolla la visión y los valores de la empresa y se elabora una estrategia de negocios.

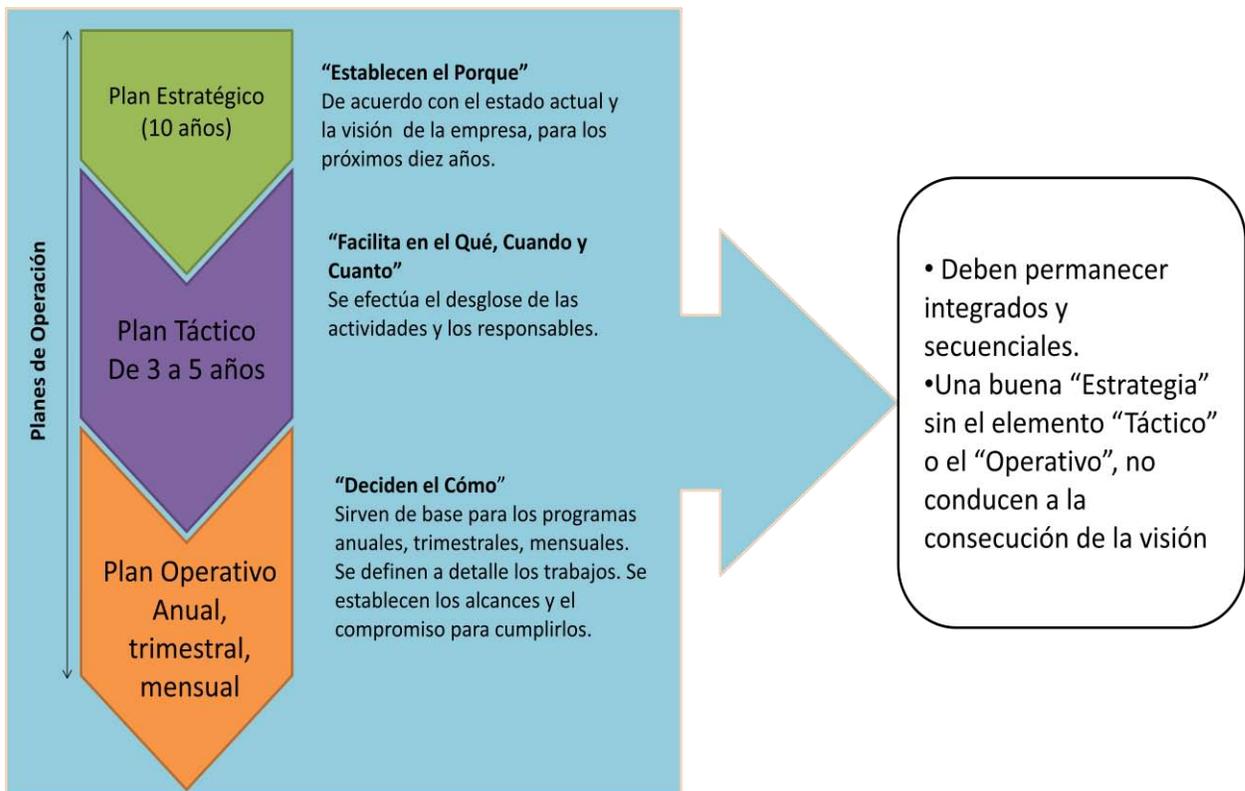


Figura 1.15. Desde lo Estratégico a lo Táctico y luego a lo Operativo

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Plan de Producción. Diagrama.

Plan de Producción a Largo Plazo

A partir de ese plan estratégico se elabora el Plan de Producción, así como la planificación y coordinación de los recursos necesarios para la operación de la empresa conforme a lo establecido en la estrategia. Lo anterior quiere decir que el



Plan de Producción de Largo Plazo debe estar alineado al Plan estratégico. Por lo general su ejecución deberá cubrir el horizonte de tiempo de diez años.

Plan de Producción a Mediano Plazo

Utilizando como punto de partida el Plan de Producción a largo plazo se elabora el Plan de mediano plazo o Plan táctico (es la encargada de diseñar los planes a medio plazo y proyectar las actividades a nivel departamental), el cual es una declaración de la operación planeada donde se especifica el manejo de los productos elaborados en diferentes periodos de tiempo indicado que se va a realizar, cuando y cuanto, su horizonte de tiempo abarca normalmente de tres a cinco años.

Planeación de Operación

Para realizar la planeación de operación del siguiente año y lograr su cumplimiento, se deberán ajustar las premisas considerando todas las variables existentes, originadas principalmente por:

- Ciclo de Vida de los activos.
- Comportamiento estadístico.
- Estacionalidad, entre otros.



1.2.7. Ventanas Operativas

Las Ventanas Operativas (VO) establecen rangos de operación controlados en un procesos industrial donde los insumos son transformados en productos, a través de una operación segura y responsable, optimizada económicamente, sin interrupciones o paros no planeados y permitiendo maximizar el ciclo de vida de los activos.

Un elemento clave de la Seguridad de los Procesos es mantener la integridad mecánica de los activos, entendiendo que esto se alcanza cuando un activo se desempeña, opera y mantiene como fue especificado en el diseño, de forma tal que el riesgo a las personas, al medio ambiente y a otros activos se minimiza y se mejora la imagen de la empresa.

Las Ventanas Operativas es una práctica que define el conjunto de parámetros y los niveles dentro de los cuales la operación de un sistema o un conjunto de sistemas, puede mantenerse en forma confiable y segura, permitiendo conocer los márgenes de alarma y límites operativos.

Los parámetros de proceso utilizados deben ser medibles y controlables.

Los parámetros utilizados pueden ser:

- Variables de proceso (presión, temperatura, etc.).
- Variables calculadas (velocidad de corrosión, relación carga/aditivos, etc.).
- Otros parámetros (tendencia al ensuciamiento, precipitación, etc.).



	Mantener valores de las variables de proceso.
	Corregir desviaciones de inmediato, autorizar la operación temporal o permanente implica Administración del Cambio y Análisis de riesgo de proceso.
	Corrección inmediata, paro de emergencia o conducirá a un accidente.

Figura 1.16. Gráfica de Nivel de Riesgo VS Límites de la Variable de Procesos

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Ventanas Operativas. Gráfica.

La Condición Esperada de Operación (CEO) son los valores de las variables de proceso que aseguran una operación estable al estar la operación fuera de estos valores se causa inestabilidad, que de mantenerse puede llevar a los equipos o instalaciones fuera de sus Límites Seguros de Operación (LSO's).

Los LSO's, representan los límites físicos seguros en los que un equipo o instalación puede operar, estos son suministrados en el paquete de Tecnología del Proceso, en las especificaciones del fabricante de los equipos o en los estándares aplicables. Operar fuera de los LSO's puede provocar una pérdida de contención o falla de las instalaciones y equipos involucrados.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dentro de las CEO existe un rango en el que se optimiza la efectividad y la eficiencia de los activos, tomando en cuenta los costos, los riesgos y los beneficios, a este rango se refiere la guía y se le denomina Ventana Operativa.

El desarrollo de la mejor práctica de Ventanas Operativas se dividió en cuatro temas principales que son:

- Determinar la mejor opción de operación de la unidad y/o equipo.
- Establecer las Ventanas Operativas.
- Seguimiento al cumplimiento de las VO.
- Implementación de acciones de mejora.

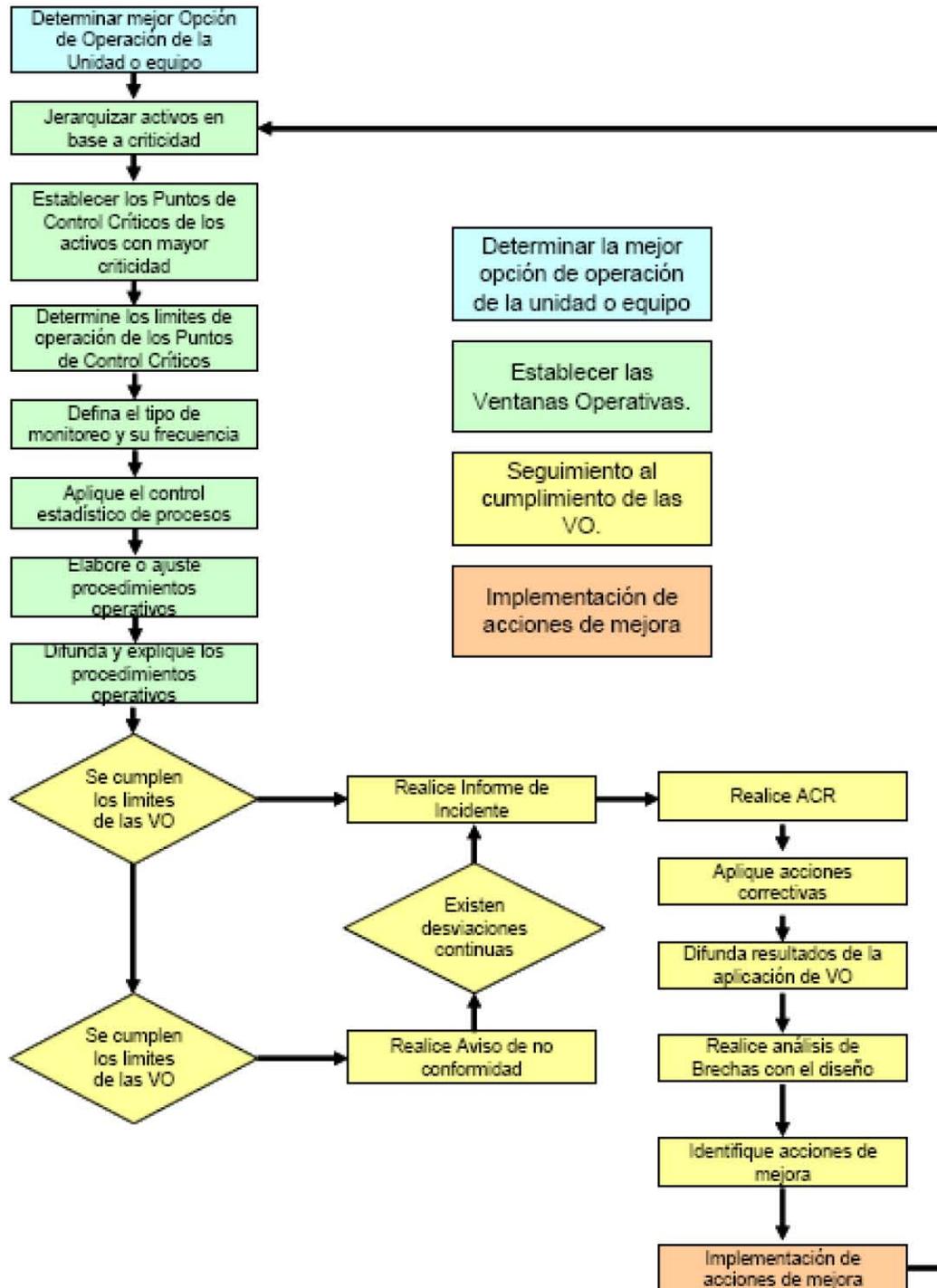


Figura 1.17. Diagrama del desarrollo de Ventanas Operativas

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Ventanas Operativas. Diagrama.



1.2.8. Funciones Protectoras Instrumentadas

El sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos consta de 14 elementos que aplicados a las operaciones que involucran materiales peligrosos, permiten que los Riesgos del Proceso sean identificados, entendidos y controlados, y las lesiones e incidentes relacionados con el proceso puedan ser reducidas. Uno de sus elementos “Análisis de Riesgos de los Procesos” establece el proceso para analizar y evaluar los riesgos.

Las Funciones Protectoras Instrumentadas son una función protectora localizada en un sistema de protecciones instrumentado y provee la reducción de un riesgo de un evento de peligro identificado por debajo de los criterios de riesgos definidos por las empresas.

Para cumplir esta función se necesita contar con Sistemas Instrumentados de Seguridad; que reducen los riesgos de los procesos de una forma efectiva, confiable y económica durante su ciclo de vida utilizando la metodología establecida en las normas ISA-84.00.01 (IEC61511-1). Los Sistemas Instrumentados de Seguridad son una combinación de sensores, equipo de lógica, elementos finales y sistemas soporte que son diseñados para lograr una reducción de riesgo especificada.

Con las Funciones Protectoras Instrumentadas se busca:

- Contar con los Sistemas Instrumentados de Seguridad acordes al Nivel de Integridad de Seguridad requerido para cada instalación.
- Mantener las instalaciones dentro de “Niveles de Riesgos Aceptables” establecidas en los “Lineamientos para el Análisis y Evaluación de Riesgos”, mediante un óptimo balance de costos y confiabilidad, a través de la utilización de Sistemas Instrumentados de Seguridad.
- Asegurar que los Sistemas Instrumentados de Seguridad cumplan con su función durante su ciclo de vida.



- Identificar las capas de protección asociadas a las funciones de seguridad y establecer las acciones relacionadas a las mismas con el fin de mantener el nivel de seguridad considerado.

Para efectuar la aplicación de Funciones Protectoras Instrumentadas a los Centros de Trabajo es necesario:

- Identificar los Sistemas y Definir alcances.
- Contar con información técnica de las plantas, Descripciones de Proceso, DTI's, DFP's, Reportes de Análisis de Riesgos previos, Programas de Mantenimiento, Diagramas Lógicos de Control, Filosofías de Operación, Matrices causa-efecto de los Sistemas Instrumentados de Seguridad.
- Compromiso, liderazgo y Recursos, por parte de las autoridades.

Los siguientes pasos consistentes en la aplicación de las Funciones Protectoras Instrumentadas, están elaborados en base a las Normas ANSI/ISA 84.00.01 Functional Safety: Safety Instrumented System for the Process Industry Sector, 2004, e IEC-61511 Functional Safety: Safety Instrumented System for the Process Industry Sector, 2003, por lo que para profundizar con mayor detalle en los temas tratados en esta sección se deben consultar estas normas.

Ciclo de Vida de Seguridad del Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS)

El Ciclo de Vida de Seguridad es el proceso que establece los pasos para asegurar que los Sistemas Instrumentados de Seguridad sean efectivos para cumplir con su misión de Reducción de Riesgo a un costo efectivo, desde su concepción hasta su desmantelamiento.

Para la implantación del Ciclo de Vida de Seguridad se consideran tres fases o etapas:

- Fase Análisis



- Fase Realización
- Fase de Operación

Fase de Análisis

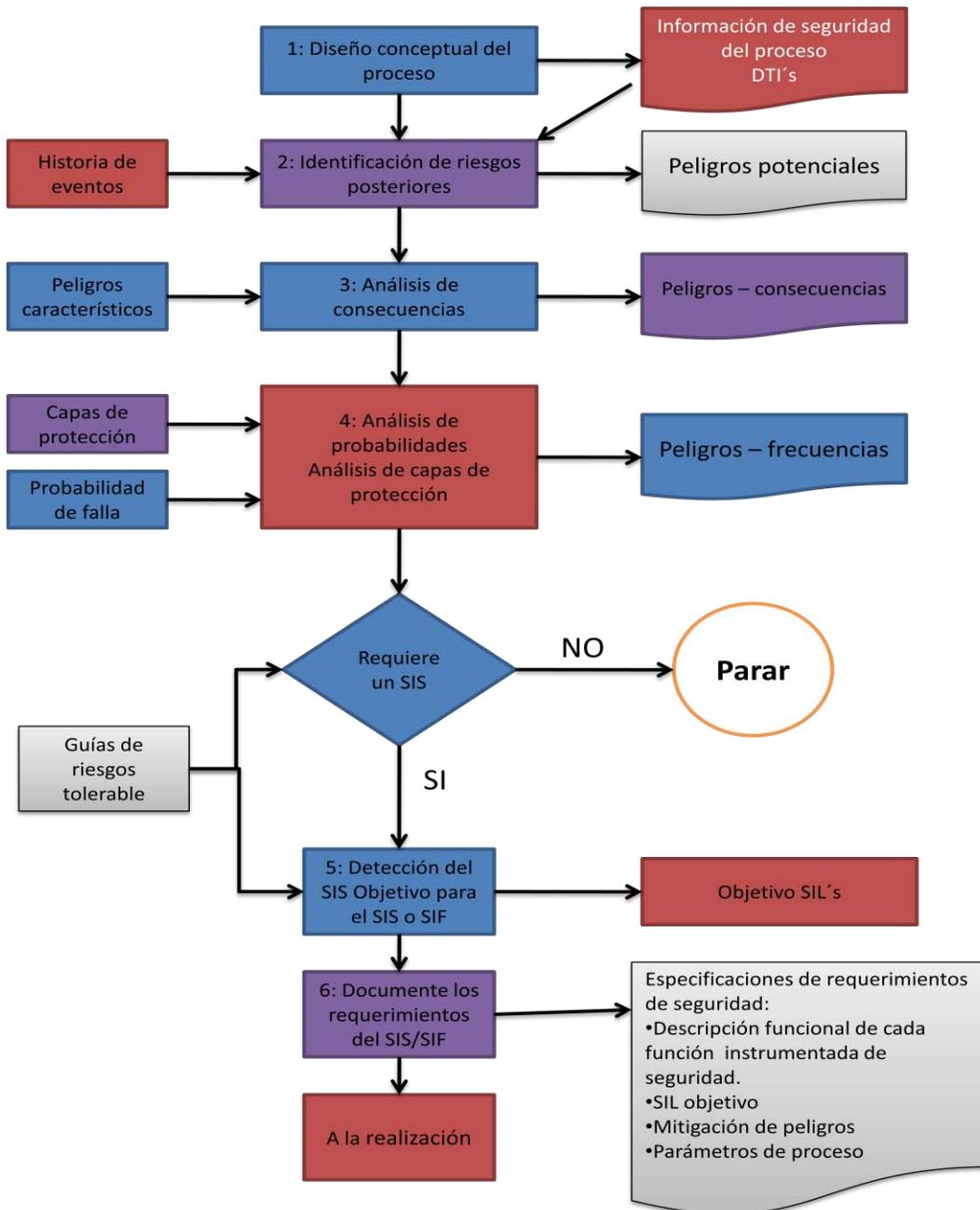


Figura 1.18. Fase de Análisis del Ciclo de Vida del SIS

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Funciones Protectoras Instrumentadas. Diagrama.



En esta fase se identifican y evalúan los riesgos y peligros del proceso y se documentan los requerimientos de seguridad necesarios para que las instalaciones operen dentro de niveles de riesgos aceptables.

Análisis de Riesgos

El objetivo de Análisis de Riesgos, es la identificación de los riesgos del proceso, y una vez identificados, analizar y evaluar la probabilidad de ocurrencia y consecuencias de estos.

Dentro del Ciclo de Vida de Seguridad, de acuerdo a la Norma ANSI/ISA-84.00.01-2004 Parte 1 (IEC 61511-1 Mod) en el apartado 5.2.3 referente a la Evaluación del Riesgo y Administración del Riesgo, el desarrollo del Análisis de Riesgo es fundamental en el proceso de identificación de las Funciones Instrumentadas de Seguridad y definición del SIS.

El Análisis de Riesgo permite identificar y valorar los escenarios que representan un peligro para la Instalación primero se lleva a cabo una estimación de probabilidad de ocurrencia del evento, analizando las posibles causas de la pérdida del control de los peligros y se determina su frecuencia de ocurrencia, su duración y su naturaleza (cantidad, composición, características de liberación/uso, etc.).

El análisis de consecuencia implica estimar la severidad de las consecuencias asociadas con el peligro. Una vez estimadas la probabilidad de peligro y la magnitud de la consecuencia, es posible determinar el valor de Riesgo para el escenario peligroso. Los resultados del Riesgo los cuales al ser comparados con los Criterios de Riesgo Tolerable permiten identificar las funciones que requieren de Reducción de Riesgo.

Fase de Realización

Se recomienda que las etapas de diseño conceptual del SIS, diseñado del SIS sean efectuadas por un consultor o firma de ingeniería en tanto que la validación



la efectuó ya sea un consultor externo diferente al que efectuó el diseño o personal propio, el personal que participe en cualquiera de estas actividades debe estar certificado en las normas IEC-61511 o ANSI/ISA 84.00.01.

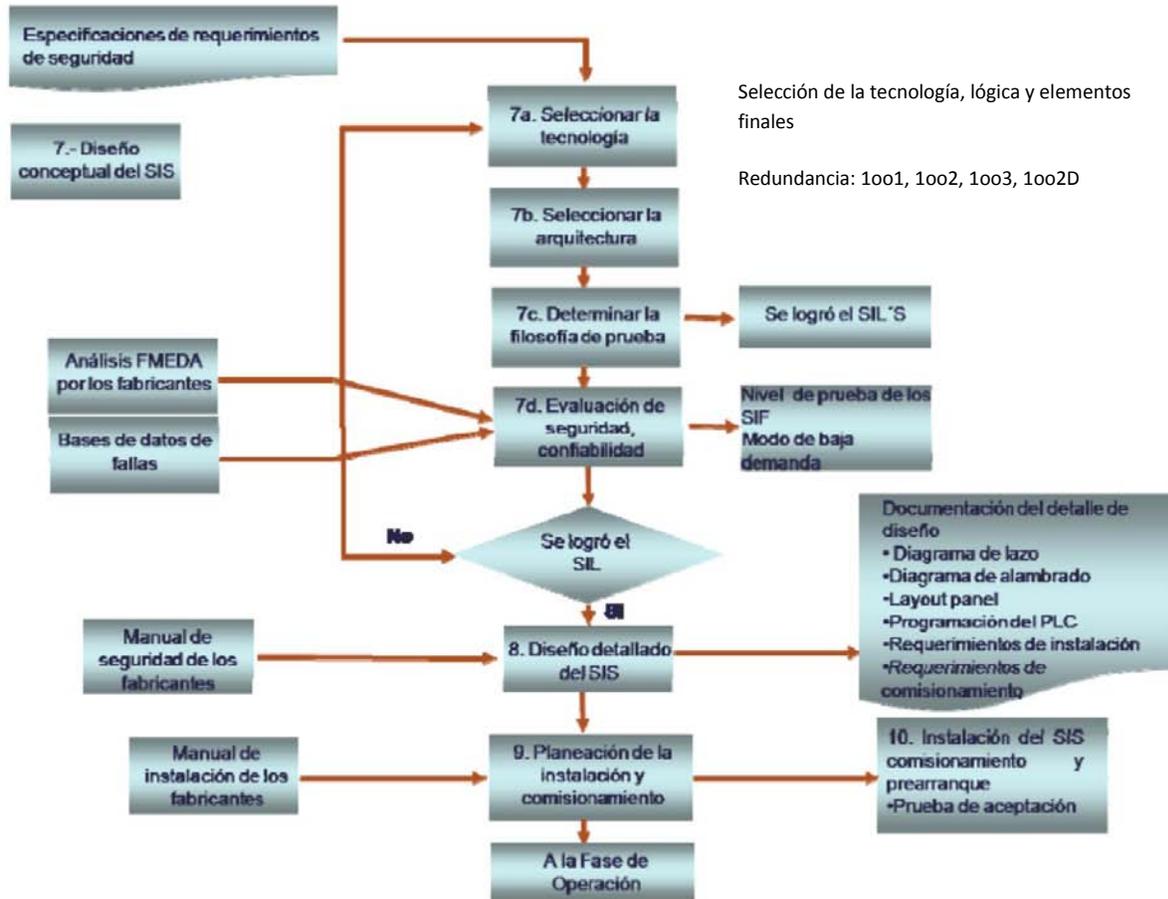


Figura 1.19. Fase de Realización del Ciclo de vida del SIS

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Funciones Protectoras Instrumentadas. Diagrama.



Diseño Conceptual del *Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS)*

En esta etapa el consultor desarrollara un diseño preliminar el cual será sujeto a un proceso de verificación para validar que se cumpla con las SRS y el SIL objetivo durante el ciclo de vida del SIS.

Las actividades a efectuar son:

- Seleccionar la tecnología para los sensores, lógica (hardware y software) y los elementos finales a utilizar.
- Seleccionar la arquitectura del SIS
- Seleccionar la filosofía e intervalos de prueba de los SIS.

Diseño detallado del *Sistema Instrumentado de Seguridad(SIS)*

En esta etapa el consultor o firma de ingeniería documenta y concluye el diseño conceptual. Es necesario contar con los manuales de seguridad del fabricante para asegurar que para cada componente del SIS se consideran las recomendaciones y restricciones de seguridad del fabricante. Dentro de las actividades relevantes a efectuar se encuentran:

- Elaboración de las especificaciones de todos los componentes del SIS incluye: sistemas de suministro de energía, conexiones a tierra y sistemas de ambientación de los SIS.
- Elaboración de típicos de instalación.
- Elaboración de diagramas de alambrado.
- Elaboración de planos para construcción.
- Elaboración de los procedimientos de instalación, operación, mantenimiento, pruebas e inspección de los SIS tomando como referencia los manuales de seguridad de los fabricantes.
- Control de cambios los cuales serán administrados y aprobados por el Subcoordinador.
- Especificaciones para la configuración de desplegados al operador.
- Especificaciones de la lógica de control.



- Bases de usuario de la lógica de control.
- Bases de usuario para la adquisición de los SIS y los servicios requeridos para su instalación.
- Definir los controles administrativos y responsables de estos para la instalación operación y mantenimiento de los SIS.
- Relación de competencias con las que debe contar el personal que instalara, operara y mantendrá el SIS.

Fase de Operación

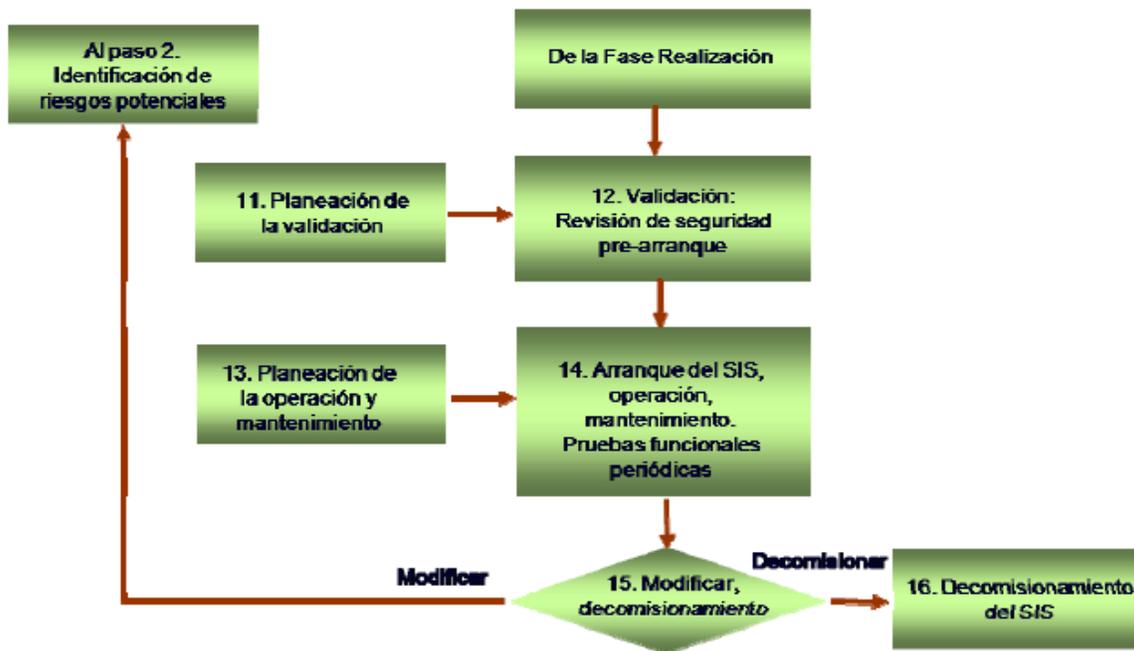


Figura 1.20. Fase de Operación del Ciclo de Vida del SIS

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Funciones Protectoras Instrumentadas.* Diagrama.

Validación

Durante las pruebas de aceptación en sitio de posterior a estas, se debe llevar a cabo el proceso de validación del SIS, en donde una persona o equipo independiente a los que participaron en las etapas anteriores, verifique que toda la



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

documentación referente al análisis de peligros, diseño, instalación, pruebas, procedimientos de mantenimiento y operación, y administraciones al cambio, han sido elaborados satisfactoriamente, además verificara que todo el sistema haya sido instalado y probado conforme a las especificaciones de diseño.

El especialista o equipo responsable de efectuar esta actividad, podrá ser propio o contratado, debiendo contar con capacitación en el ciclo de vida de seguridad.

Una vez que el consultor o equipo independiente valide el SIS, el Subcoordinador de FPI aprobara el inicio de las actividades de arranque y operación del SIS.



1.2.9. Administración de Libranzas y Reparaciones

El proceso de Administración de Libranzas/Reparaciones Mayores Programadas, debe entenderse como un ciclo en el que de manera intrínseca se cuentan con etapas predecesoras y sucesoras y que a efectos de obtener los resultados esperados de cada una de ellas, sus insumos deben cumplir con requerimientos establecidos. Es decir que cada etapa, son los insumos de la siguiente.

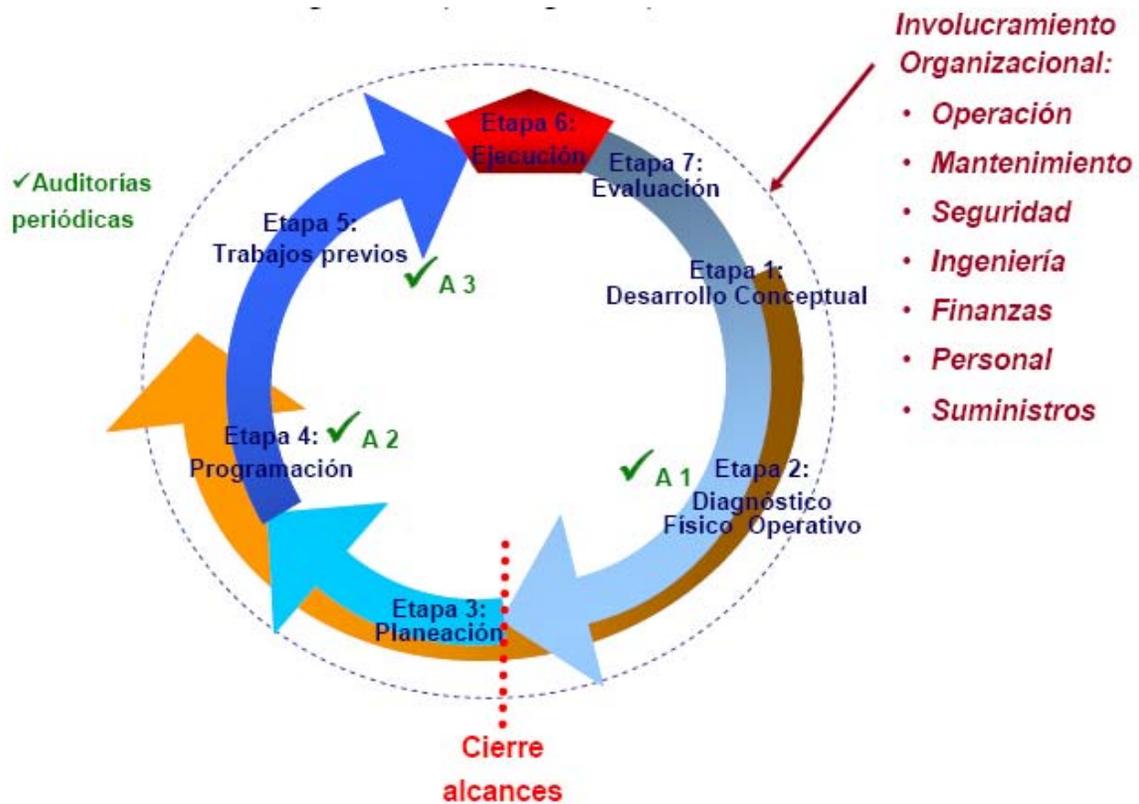


Figura 1.21. Proceso para la Administración de Procesos

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Administración de Libranza y Reparaciones. Figura.

Para la aplicación del proceso de administración de Libranzas/Reparación Mayores Programadas tomaremos como ejemplo a Petróleos Mexicanos, se tiene definidos dos procedimientos administrativos institucionales, Norma de Pemex 800-167-PAI-003 "Procedimiento Administrativo Institucional para Administrar Libranzas/Reparaciones Mayores Programadas en las Instalaciones de



Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios” y 800-16700-PAI-004 “Procedimiento Administrativo Institucional para Determinar las Actividades que deben Realizarse en las libranzas/Reparaciones Mayores Programadas en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios”. Cada uno de los procedimientos se clasifica por etapas de acuerdo a requisitos y tiempos que cubrir.

Estas alertas están definidas con la filosofía de la metodología de gestión de proyectos de inversión FEL (frontendloading), esta metodología ayuda a ahorrar costos y mantener al proyecto en fecha, ya que cada fase, antes de ser iniciada, debe estar correctamente planificada y aprobada.

Las fases son:

- **FEL1:** Etapa de selección del proyecto “viabilidad del negocio”.
- **FEL2:** Selección de la alternativa tecnológica más adecuada “ingeniería conceptual”.
- **FEL3:** Planificación de la ejecución “ingeniería básica”.

FEL 1	FEL 2	FEL 3	EPC	OPERACIÓN
Dominio del Negocio		Operación y Mantenimiento		
Dominio de Ingeniería y Proyectos				
\$= 1 %	\$= 4 %	\$= 10 %	\$= 85 %	
T= 3 meses	T= 6 meses	T= 12 meses	T=36 meses	
<u>Alcance:</u>	<u>Alcance:</u>	<u>Alcance:</u>	<u>Alcance:</u>	
Estudio de mercado	Costeo -15% + 30%	Costeo -10% + 20%	Planta instalada funcionando	
Alternativas posibles	Selección de la alternativa	Alcance	Lecciones	
Asuntos legales y ambientales	Sitio definido	P&I (planos)		
Análisis técnico económico	Ingeniería Conceptual	Plan de procura		
Costeo -50% + 100%				

Figura 1.22. Proceso FEL, metodología basada en el concepto de puertas de aprobación, donde en cada puerta aprueba, o no, el pase a la siguiente etapa.

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Administración de Libranza y Reparaciones. Figura.



El primer grupo de entregables del proceso de planeación de las Libranzas/Reparaciones Mayores Programadas debe estar terminado 16 meses antes de la fecha de la reparación programada.

Es muy importante que para efectos de cumplir con el objetivo de tener concluidos los preparativos de las reparaciones al menos 3 meses antes de su inicio, se deban realizar las gestiones para registrar los requerimientos presupuestales y en su caso solicitar la plurianualidad presupuestal en las fechas establecidas para asegurar los materiales y los contratos de servicios con oportunidad.

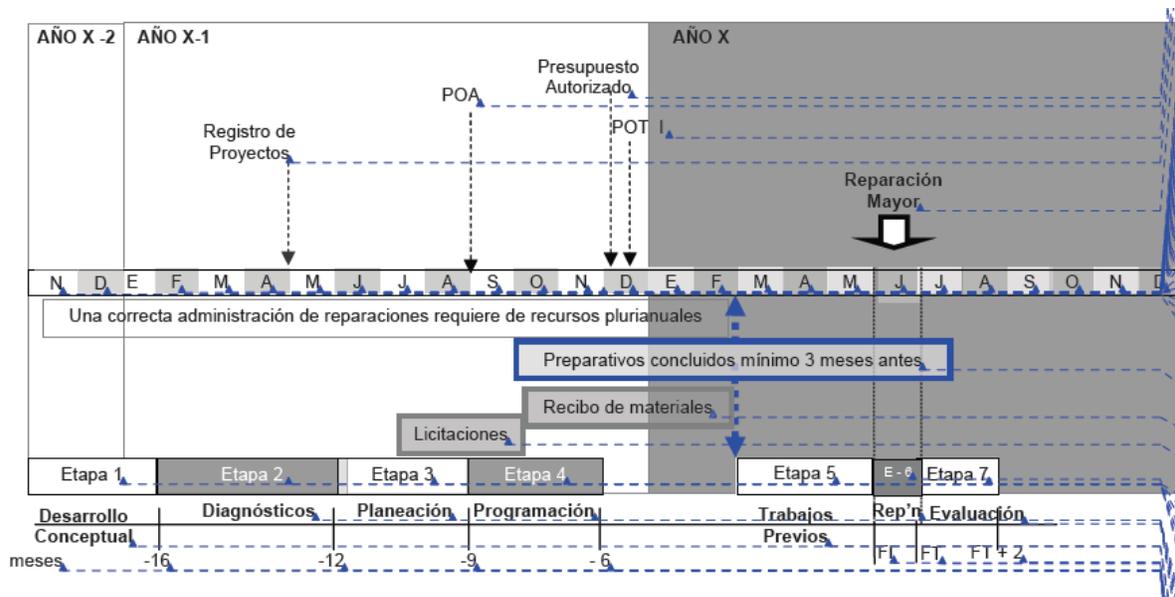


Figura 1.23. Principales eventos presupuestales y de programación.

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Administración de Libranza y Reparaciones. Figura.

En el cual se presentan las siete etapas de la práctica de administración de Libranzas/Reparaciones Mayores Programadas a lo largo de las cuales se va realizando una serie de auditorías; y de la Matriz de Valoración Basada en Riesgos la cual está considerada en el proceso para determinar las tareas que deben llevar a cabo en las Libranzas/Reparaciones Mayores Programadas.

1. **Desarrollo Conceptual.** La determinación de la estrategia a seguir para la Libranza/Reparación Mayor Programada es dirigida principalmente por el Grupo Natural del Centro de Trabajo al definir y establecer lo que se espera



con la ejecución de la Libranza/Reparación, por ejemplo, las mejoras que deben implementarse, determinar si se modernizarán algunos equipos o si se incrementará la capacidad de proceso de la planta o instalación y estimación del presupuesto requerido.

2. **Diagnósticos físicos y operativos.** Se define el alcance de la Libranza/Reparación, con el soporte de un análisis Costo-Riesgo-Beneficio de todas las actividades propuestas a ejecutarse; a través de la integración de datos técnicos, operativos y económicos, sobre las condiciones en las que se encuentran la instalación y su proyección operativa. el objetivo de la realización de estos diagnósticos, es que no se tenga una diferencia significativa (mayor al 5%) en el volumen de trabajos entre lo planeado y lo que se realice realmente durante la Libranza/Reparación.
3. **Planeación.** Para dar inicio a esta etapa se debe inmovilizar el alcance de la reparación y anunciar que no se admitirán mas actividades, a partir de este punto. En esta etapa se planea el que, ejemplo; que actividades se realizan por Administración y que por terceros, se planean los tiempos de las licitaciones para los contratos de servicios y las entregas de materiales, se planean que Grúas y equipos de trabajo se utilizarán, y se elabora el plan para la utilización de los recursos humanos, con todo esto se podrá calcular de forma más precisa el presupuesto requerido.
4. **Programación.** En esta etapa se aterrizan todas las actividades que fueron planeadas en la etapa anterior, aquí se especifica a mayor detalle el cuándo, y él quien, ejemplo; fechas de realización de las actividades por Administración (mecánicos, eléctricos, soldadores, tuberos, etc.) y por terceros (Compañías), fechas límites de las licitaciones para los contratos de servicios y las entregas de materiales, de lo anterior se deriva de la Ruta Critica de la Reparación.
5. **Trabajos previos.** En esta etapa se deberán realizar los preparativos y prefabricaciones necesarios, antes de ejecutar el proceso de Libranza y



Reparación Mayor Programado, los cuales consisten en preparar las piezas necesarias, como son líneas provisionales para vaciar y vaporizar, para pruebas, estructuras de apoyo y piezas o componentes susceptibles de instalar antes o durante la reparación.

6. **Etapas de ejecución.** El Coordinador Líder del Grupo de Ejecución, durante esta etapa, debe considerar, como parte esencial, la comunicación con los responsables de cada actividad o especialidad así como con los supervisores de contratos, y será responsable de llevar el control del avance de la reparación en base a lo programado, además coordinar el suministro de equipos, materiales y mano de obra, y dar seguimiento al costeo general de la reparación incluyendo las actividades adicionales a los contratos con terceros.
7. **Evaluación.** Una vez terminada la Libranza/Reparación se revisan los resultados contra los objetivos y premisas planteados al inicio, para saber si fueron alcanzados y en caso de no haberse logrado, determinar las causas que lo impidieron. Con todo esto se elabora el reporte final De la reparación en el que también se incluirán los trabajos que presentaron dificultades y sus razones, los que no se realizaron y sus causas, las recomendaciones para la próxima reparación y con esta base, se estima el tiempo de corrida de la planta.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

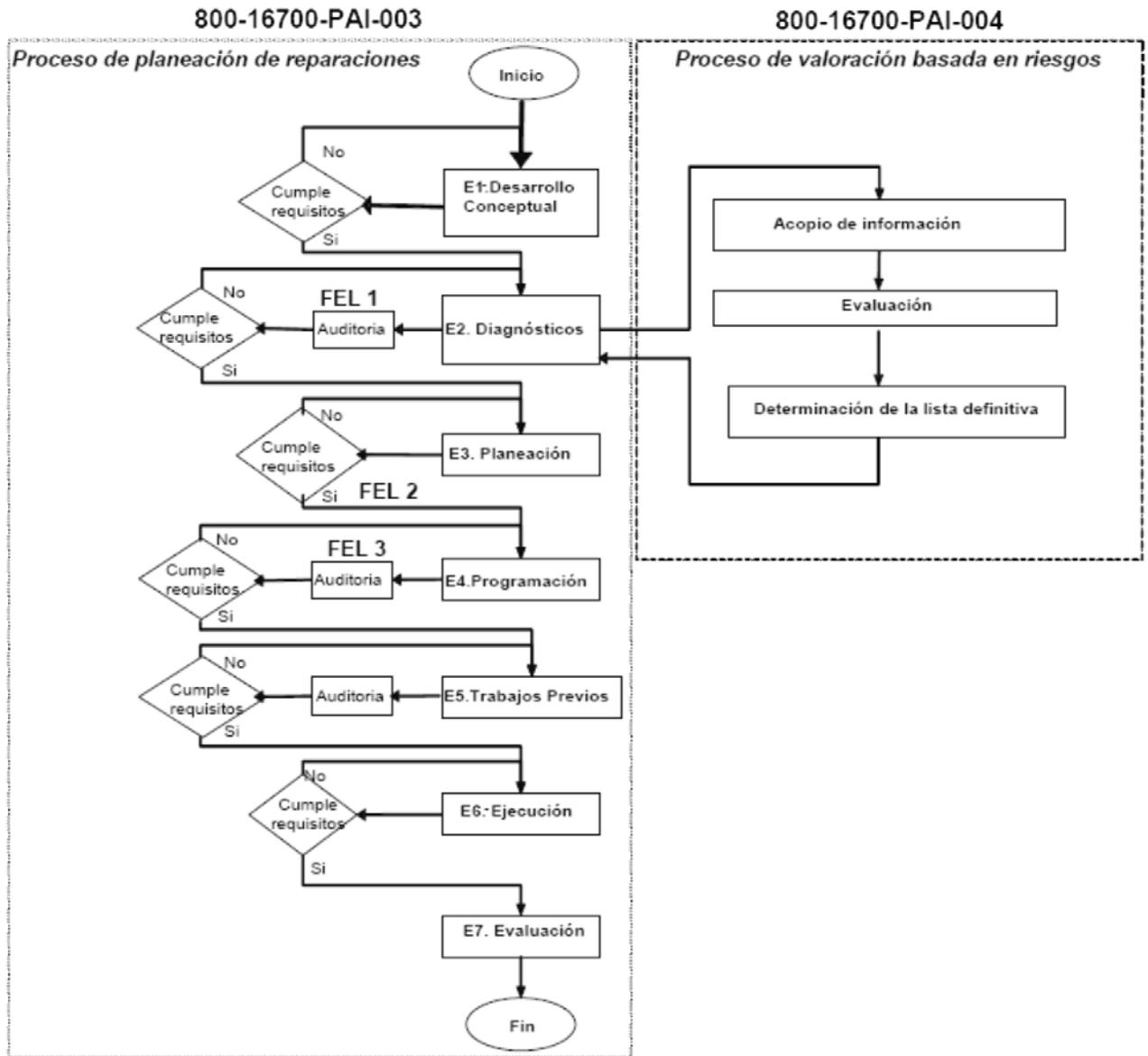


Figura 1.24. Diagrama de flujo de las metodologías de Libranzas/Reparaciones

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Administración de Libranza y Reparaciones. Diagrama.



1.2.10. Administración del Trabajo (Planeación y Programación)

El proceso de Planeación y Programación de los trabajos de mantenimiento considera todos los equipos de una empresa y cuya operación confiable es fundamental para el cumplimiento de las metas en materia de rendimientos, eficiencia y producción, sin embargo, con el fin de iniciar el proceso de la Administración del Trabajo, Planeación y Programación de Mantenimiento concentrando los esfuerzos en las áreas más problemáticas, se recomienda iniciar su aplicación bajo la siguiente secuencia:

Primero.- Los sistemas y/o equipos que por su alta tasa de fallas y altas consecuencias están produciendo pérdidas considerables del negocio, problemas de seguridad y/o protección al medio ambiente.

Segundo.- Los sistemas de las plantas o instalaciones existentes que de acuerdo a los Análisis de Riesgo de Proceso sus consecuencias serían altas en caso de falla en los procesos.

Tercero.- Los sistemas existentes que de acuerdo a los análisis de riesgo de proceso, sus consecuencias son altas en caso de falla.

Cuarto.- Los sistemas de las plantas o instalaciones en proceso de diseño y/o construcción, que de acuerdo a los análisis de riesgo sus consecuencias serían altas en caso de falla.

Identificación de Requerimientos de Trabajo de Mantenimiento.

La Planeación y Programación del mantenimiento requiere de información base para su proceso, en este sentido, requiere contar con: Censos, Históricos de equipos, Planes capturados, despiece de refacciones o artículos que integran a los equipos, avisos de averías, etc., así también, es de vital importancia contar con un plan de mantenimiento integrado al plan táctico de producción (entre 3 y 5 años).



Especial atención debe darse al Plan de Mantenimiento del próximo ejercicio ya que implica contar con el nivel máximo disponible de detalle, además de que sirve de base para el Plan de Producción del año siguiente.

El Planificador/Programador debe considerar para la identificación de requerimientos, todos los medios actuales a través de los cuales se registran las necesidades de atención a los activos de las instalaciones, estas necesidades deben estar capturadas, si no es el caso, debe ser uno de los principales promotores para que se registren todas las necesidades en el Sistema. Esta es la mejor forma de conocer y jerarquizar los requerimientos solicitados.

Preparar el Plan de Mantenimiento.

El Plan anual de mantenimiento además de incluir la atención de libranzas y reparaciones mayores programadas de plantas, servicios principales y otras instalaciones industriales, contiene la identificación de las actividades necesarias para tener un Plan integral de los activos, entre otros, debe contener los recursos para atender el mantenimiento rutinario (Mantenimiento preventivo y predictivo), los rezagos identificados y un estimado para tratar el mantenimiento correctivo planeado.

Entre otros aspectos, es de suma importancia considerar los resultados obtenidos de la aplicación de los Planes, Programas y Presupuestos de los ejercicios anteriores y presente, estos representan una parte fundamental de la base para el Plan de mantenimiento y el anteproyecto de presupuesto del próximo ejercicio.



1.2.11. Censo de Equipos y Taxonomía

El censo de instalaciones y equipos es la relación de los activos con los que cuentan un centro de trabajo, este debe incluir sus especificaciones técnicas, características de funcionamiento, la cuenta contable, el grado de criticidad y el código único de identificación como información básica; un censo bien elaborado permite realizar la administración correcta de la operación y conservación de los activos físicos.

La Taxonomía de equipos es una metodología que permite la clasificación ordenada de grupos de familias, incluyendo las observaciones y actividades relacionadas con dichos grupos. Como parte de la integridad mecánica, la taxonomía es considerada como un elemento clave, el cual permitirá a la empresa asegurar que se utilicen los mismos términos para describir los equipos, las mismas observaciones y actividades relacionadas con trabajos de mantenimiento en sitios y regiones, ayuda a realizar los análisis de datos relacionados con los equipos, así como a garantizar que el equipo cumpla con las condiciones de funcionamiento para las cuales fueron diseñados.

La Taxonomía Corporativa de Equipos está compuesta por los siguientes elementos:



Figura 1.25 Elementos de la Taxonomía Corporativa de Equipos

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Censo de equipos y Taxonomía.* Figura.

- a) **Observaciones y Actividades Estándares:** Esta sección contiene palabras o frases cortas para describir en forma consistente la condición de un objeto o el trabajo de mantenimientos realizado en u objeto.
- b) **Fallas funcionales:** Estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado.
- c) **Jerarquía de Clasificación de Equipos:** Lista de niveles múltiples que describe las Clases de Equipos que pueden encontrar en una instalación dada y muestra la relación entre los mismos.
- d) **Partes del Objeto y Artículos Mantenibles:** Estas listas identifican los componentes y subconjuntos más relevantes que forman cada equipo. Por lo general, estos componentes no tienen un identificador único.



- e) **Características Técnicas:** Las Características Técnicas contienen la información técnica más comúnmente utilizada, relacionada con las Clases de Equipos.

Censo de instalaciones y equipos.

El censo de instalaciones y equipos es la base de la información para realizar la gestión de los activos en la empresa. En ellos se deben especificar la necesidad de la asignación del perfil y rol correspondiente a los especialistas que realizaran altas y bajas en el sistema.

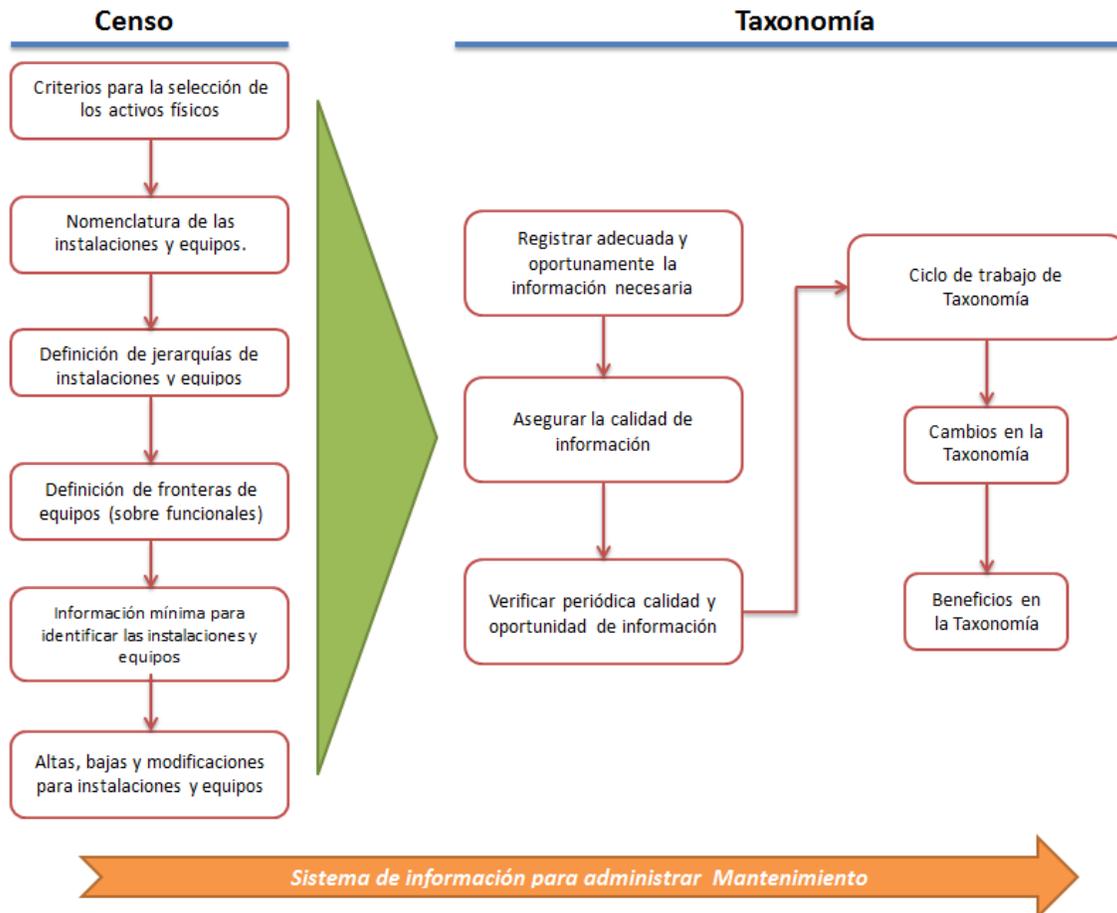


Figura 1.26. Criterios para elaborar, actualizar y corregir la información faltante y/o existente en el censo de instalaciones y equipos.

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Censo de equipos y Taxonomía.* Figura.



Criterios para la selección de los activos físicos

En este censo se deben incluir los activos susceptibles de mantenimiento de todas las instalaciones de la empresa.

Como primera instancia se deben seleccionar los activos físicos sujetos a la conservación y mantenimiento los cuales permiten a las áreas operativas y administrativas realizar sus principales funciones, como por ejemplo:

- Equipos utilizados en la producción, procesamiento y transporte.
- Equipos necesarios en los servicios de las instalaciones que forman la cadena productiva.
- Activos varios como son: edificios administrativos, vehículos de trabajo, hospitales o Estaciones de transmisión y recepción de telecomunicaciones, entre otros.

Una vez concluido el censo de los equipos importantes, deberán incluirse todos aquellos equipos o instalaciones que requieran en forma regular atención para su conservación y como consecuencia requieran de la gestión administrativa (orden de trabajo, contrato de servicio) del personal de mantenimiento con erogación de recursos financieros (mano de obra, compra de refacciones, sustitución del equipo, rehabilitación, modernización).

Nomenclatura de las instalaciones y equipos

La nomenclatura de las instalaciones debe ser simple y acorde con los nombres oficiales asignados a las instalaciones de la empresa. Esto permitirá localizar en forma rápida, toda la información existente referida a la instalación y equipos en la misma.



Además deben utilizarse los nombres cortos de los Organismos Subsidiarios, claves descriptivas que permitan identificar fácilmente la estructura orgánica de la empresa y/o claves financieras ampliamente conocidas en la empresa.

Definición de jerarquías de instalaciones y equipos

Para lograr la homologación en el sistema, las instalaciones deberán ser dadas de alta como ubicaciones técnicas; se deben utilizar la funcionalidad ofrecida por el sistema para crear ubicaciones técnicas superiores de las cuales se pueden derivar en forma jerárquica otros objetos que permitan describir en forma lógica el arreglo de una instalación.

A continuación se muestra los niveles que deberían de estar contenidos en los sistemas informáticos con relación a la Jerarquía de equipos:

- a) Centro de trabajo
- b) Planta a la que pertenece el equipo
- c) Sección de la Planta
- d) Sistema
- e) Equipo
- f) Componente
- g) Parte mantenible

El esquema de la estructura o jerarquía para la representación de instalaciones y equipos, tiene una visión contable, por lo que cada Ubicación Técnica está ligada a un Centro de Costo al que transfirieren los costos de mantenimiento.

Definición de las fronteras de equipos (sobre funcionales)

Definen un conjunto de Ubicaciones en el Proceso/Equipo requerido para ejecutar una función y asegurar un entendimiento común de los sistemas, componentes, partes mantenibles pertenecientes a un equipo y facilitar el registro de eventos de mantenimiento y fallas en los equipos.



El sobre funcional de un sistema o equipo principal, incluye los elementos (válvulas, elementos mecánicos como coples o transmisores de potencia, instrumentos y motrices) necesarios para que dicho equipo realice su función dentro del proceso industrial al que pertenece. Este concepto es útil para dar seguimiento a los datos de confiabilidad y mantenimiento del conjunto de elementos y no solo a un equipo.

Información mínima requerida para identificar instalaciones y equipos

Información para instalaciones:

La empresa debe de ofrecer una configuración mínima recomendada para registrar los datos más importantes de las instalaciones. Se deberá aplicar en la medida de lo posible dicha configuración la cual incluye además del campo para la clave de la instalación, un campo para su descripción y todos los campos referidos a las claves financieras y departamentales a las cuales, esta asignada la instalación, además de, las fechas de creación y modificación del registro en el sistema y las claves del departamento(s) responsable(s) de su mantenimiento.

Información de equipos:

La configuración estándar para el censo de los equipos además de los datos mencionados en el párrafo anterior, se debe anexar al número de serie, el fabricante del equipo, la fecha de construcción, la fecha de instalación, y algunos campos para describir datos de su función.

Para instalaciones y equipos, los sistemas informáticos ofrecen funcionalidad adicional que permite clasificar estos objetos por tipos de familia a las cuales, se les puede asociar sus características de diseño y construcción. Las clases y características para cada tipo de equipo han sido definidas durante la implantación de la Taxonomía corporativa.



Altas, bajas y modificaciones de instalaciones y equipos

Para conservar la integridad de la información, deben aplicarse los procedimientos vigentes en cada Orden Subsidiario, que señale cuando y como debe darse de alta o baja en el censo, una instalación o equipo. Es importante considerar:

- Desvincular de las ubicaciones superiores aquellas que sean desincorporadas como activos de planta. Taller o laboratorio.
- Vincular a las ubicaciones superiores aquellas que sean integradas como activos a la planta, taller o laboratorio.
- Crear y actualizar las listas de materiales de ubicaciones técnicas y equipos.
- Si el activo se da de baja es necesario asignarle el estatus “petición de borrado”, para que no sea contabilizado dentro de los activos ‘productivos del centro de trabajo.
- Una vez realizadas estas modificaciones es necesario aplicar el procedimiento de administración del cambio, asegurar que todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento de esos equipos este enterado del cambio.

Registrar adecuadamente y oportunamente la información necesaria

El mecanismo disponible para el manejo de la Taxonomía se encuentra dentro de la funcionalidad del módulo de mantenimiento para dar tratamiento al registro de anomalías, averías o requerimientos de mantenimiento.

Debido a la importancia de tener información confiable para el análisis estadístico y la evaluación de la gestión de mantenimiento, es obligación de todos los responsables de operación y mantenimiento, asegurarse que sean cargados



todos los eventos de los equipos o activos ya sea que dicha esta información provenga de actividades realizadas por administración y/o terceros.

Asegurar la calidad de la información

La norma ISO-14224-2006, en el apartado 7 (Quality of data) indica que cualquier análisis es dependiente de la calidad de sus datos, por lo cual la información utilizada se debe caracterizar por lo siguiente:

- a) Completa en referencia a su especificación.
- b) Cumplir con las definiciones de los parámetros de confiabilidad, por su tipo de dato y formatos recomendados.
- c) Entrada, transferencia, dirección y Precisión de datos (manualmente o electrónico)
- d) Cantidades suficientes y tomas periódicas adecuadas para obtener confianza en su manejo estadístico.
- e) Información relevante para el usuario.

Es importante señalar que los datos recolectados conformaran la base de datos la cual contendrá información valiosa y suficiente, con el fin de facilitar el análisis estadístico y así poder determinar la confiabilidad de los equipos y sistemas.

Verificar en forma periódica la calidad de la información

Evaluar mensualmente la confiabilidad de los datos registrados en avisos/solicitudes de trabajo y órdenes de trabajo registradas. Las desviaciones encontradas deberán ser corregidas estableciendo el plan de trabajo con tiempos definidos de atención y responsables de las tareas.

Ciclo de trabajo de la Taxonomía



Para darle una utilización adecuada a la taxonomía, se deben realizar las acciones que a continuación se indican:

- Extraer información de los equipos censados en periodos mensuales con lo que se genera la base de datos para utilizarse en el ciclo de trabajo de taxonomía, se puede iniciar con los avisos de averías cerrados de los equipos marcados con criticidad “A” sin limitarse a tomar en cuenta otros equipos con una criticidad diferente.
- Determinar las clases de equipo con mayor incidencia de falla (compresores centrífugos, bombas, cambiadores de calor, motores eléctricos, etc.)
- Analizar las fallas funcionales, las partes del objeto, los síntomas de avería y las causas de falla de los equipos con mayor incidencia de falla en el análisis individual por clase de equipo así como determinar las plantas de proceso (instalación) con mayor incidencia de falla.
- Encontrar las causas que originan estas fallas y adecuar los planes preventivos para eliminar las causas de avería.
- Verificar los resultados obtenidos con las acciones realizadas y aplicar disciplina operativa al ciclo de trabajo de taxonomía.

Cambios en la Taxonomía

La Taxonomía de equipos está controlada mediante la administración del proceso de cambio y lineamientos, su principal objetivo de la administración formal del proceso de cambios es garantizar la consistencia de la información de la Taxonomía



Figura 1.27.Ciclo de Trabajo de Taxonomía

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Censo de equipos y Taxonomía. Figura.

Beneficios de la Taxonomía

El efectuar los pasos anteriores nos ayudara a obtener los siguientes beneficios:

- Mejorar la recolección de datos de equipos para usar estándares corporativos y hacer consistentes los análisis de costos, fallas, etc.
- Sustentara la confiabilidad y la disponibilidad de los activos para mejorar el desempeño de los procesos de producción, transporte y comercialización.
- Incrementar la disponibilidad de partes de repuesto de equipos críticos.
- Disminuir los costos por almacenamiento de refacciones.
- Optimizar los costos unitarios de mantenimiento.
- Mejorar la calidad de la información en las bases de datos para el mantenimiento.



1.2.12. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología cuya aplicación elimina o reduce la probabilidad de ocurrencia de los modos y causas de fallas de los sistemas durante su ciclo de vida, mediante la aplicación de tareas a ejecutar por el personal de operación, mantenimiento e inspección.

El plan que se obtiene de la aplicación es un conjunto de tareas las cuales pueden ser predictivas, de monitoreo a la condición, rediseño, restauración, remplazo, pruebas y correr hasta la falla, las cuales son efectivas y económicamente viables, que agrupadas bajo un plan y programa buscan conservar la función de un sistema o equipo durante su ciclo de vida.

El objetivo principal del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es determinar los programas de mantenimiento más adecuados y económicamente viables, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas.

La implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayores cumplimientos de las normas de seguridad y medio ambiente.

Para definir el contexto operativo se deberá:

- Definir los límites físicos del sistema a analizar. El sistema será definido de acuerdo a los procesos unitarios con que cuente la planta.
- Establecer los estándares de desempeño. Se deben identificar los rangos de operación permitidos (calidad, cantidad, seguridad, emisiones y variables de control) del sistema o equipo. Para efectuar este análisis se debe representar al sistema o equipo como una caja negra en donde se definan sus entradas, funciones y salidas.



Para el caso de un sistema que no cumpla con la intensidad de diseño o el desempeño requerido, será necesarios revisar los Análisis Causa Raíz para aquellas fallas en las cuales se desconoce el origen de la falla, y con ellos conocer las causas raíz física, humana o de sistema; causas que son requeridas como insumos para efectuar un FMECA (Análisis de Modos, Efectos de Falla y Criticidad).

De lo cual se identifica las fallas de la función primaria y las fallas de la(s) función(es) secundaria(s) del sistema.

Determinar las consecuencias de la falla

Para lo cual se debe considerar: costos históricos de reparación (materiales, mano de obra, repuestos y servicios asociados a la ocurrencia de la falla), impacto a la producción, al medio ambiente, a la seguridad y costos de oportunidad.

Establecer tareas de mitigación

Para cada causa raíz y modo de falla establecer las tareas específicas que:

- Eliminen o reduzcan su probabilidad de ocurrencia.
- Eliminen o reduzcan sus consecuencias.

Para los sistemas existentes comparar las tareas de mitigación propuestas contra las que actualmente se están llevando a cabo y modificar, eliminar o crear tareas al plan vigente.

Evaluar las tareas.

Al recomendar una tarea verificar que la misma sea técnicamente factible y viable económicamente.

Para los sistemas existentes evaluar los beneficios y consecuencias de modificar los alcances y frecuencias del plan de integridad vigente.



1.2.13. Inspección Basada en Riesgo (IBR)

Desde hace pocos años ha tomado especial relevancia en el mundo industrial, el concepto de control de gestión basada en el riesgo, debido a que los procesos son cada vez más complejos, los recursos más restringidos y se vienen produciendo muchos siniestros y pérdidas productivas en diversos tipos de empresas. Esto debido a que el proceso de toma de decisiones va centrándose en sectores de la empresa cada vez más específicos y con mayor autonomía.

Ante este nuevo panorama, es de primordial importancia la búsqueda de herramientas de apoyo a los procesos de gestión, empleando modelos de control de riesgo basados en su medición por medio de indicadores.

En el sector petrolero existen definidas normas técnicas para la inspección de equipos e instalaciones productivas, basadas en el riesgo, que han sido elaboradas por la API (American Petroleum Institute). Por ser esta herramienta de mucha utilidad, ella va ganando su aplicación en múltiples tipos de empresas productivas entre ellas la industria siderúrgica, bajo la denominación de “Inspección Basada en Riesgo” (RiskBasedInspection – RBI) API 580 y 581.

Karamoko D. (2009) establece que: *“La Inspección Basada en Riesgos (IBR) es un proceso que identifica, evalúa y realiza un mapeo de los riesgos industriales (debido a corrosión y grietas por esfuerzo), los cuales pueden comprometer la integridad del equipo, tanto en equipo presurizado como en elementos estructurales. La Inspección Basada en Riesgo trata sobre riesgos que pueden ser controlados a través de inspecciones y análisis apropiados”.*

Durante el proceso de IBR, los ingenieros diseñan estrategias de inspección de qué, cuándo, y cómo inspeccionar, que coinciden de la manera más eficiente con los mecanismos de degradación proyectados u observados.



Aplicación de la metodología IBR

Los siguientes pasos consistentes en la aplicación del IBR están elaborados en base a las normas API RP 580 Risk Based Inspection, primera edición de mayo 2002 y el API 581 Risk Based Inspection- Base Resource Document primera edición de mayo 2002 por lo que para profundizar con mayor en los temas tratados en esta acción consultar estas normas.

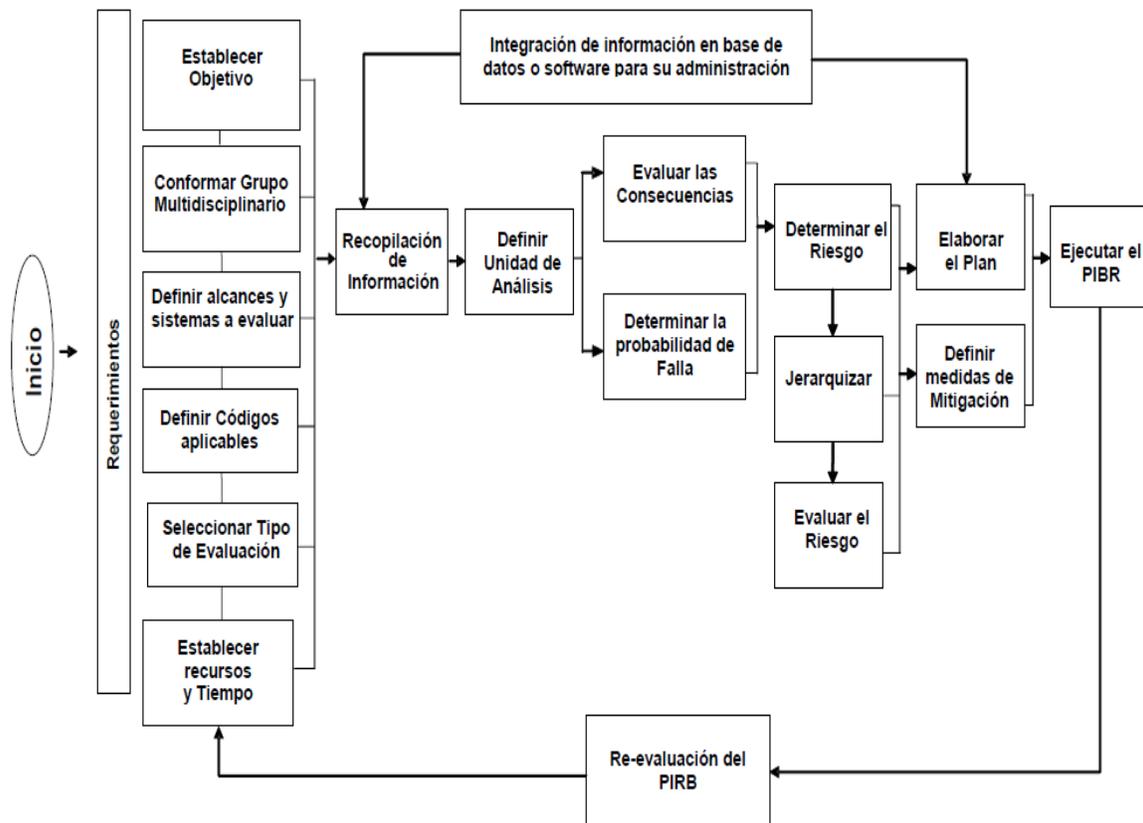


Figura 1.28. Diagrama de flujo del método IBR

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Basada en Riesgo. Diagrama.



Selección del tipo de evaluación de IBR.

Los tipos de evaluación de IBR son: por rangos (evaluación cualitativa) o detallada (semicuantitativa, cuantitativa).

Inspección Basada en Riesgo – Cualitativa. Evaluación que jerarquiza sistemas y componentes (equipos y líneas de una instalación) en forma relativa. Una evaluación cualitativa requiere relativamente de poca información detallada de la instalación o de sus condiciones, los datos son proporcionados como rangos, la evaluación se realiza a juicio de expertos por lo que se requiere tener especial cuidado en mantener la consistencia en los criterios de evaluación.

Inspección Basada en Riesgo –Semi Cuantitativa. Evaluación derivada de las evaluaciones cualitativa y cuantitativa, mezcla la rapidez del análisis cualitativo y el rigor de la evaluación cuantitativa. Los valores de riesgo son expresados en términos del índice de riesgo seleccionado (financiero y/o individual).

Inspección Basada en Riesgo – Cuantitativa (probabilística). Proporciona valores de riesgo financiero y/o individual para cada equipo o línea en una instalación. La evaluación considera el uso de modelos lógicos para analizar la combinación de eventos que pueden resultar en accidentes severos los cuales son evaluados a nivel probabilístico (árbol de fallos y árbol de eventos). Debido a la cantidad de información a analizar y la cantidad de cálculos a realizar, requiere de mayor tiempo para su realización.

Seleccionar el tipo de evaluación considerando los siguientes factores:

- Si la evaluación se requiere a nivel de instalación, unidad de proceso, sistema o equipo.
- Objetivo de la evaluación
- Disponibilidad y calidad de los datos.
- Disponibilidad de recursos y tiempo.



Definir la unidad de análisis.

Determinar la unidad de análisis requerida (sistema, equipo, nodo), considerando la delimitación del sistema y el tipo de evaluación a realizar.

Realizar la división del sistema a evaluar en la unidad de análisis establecida.

Lo anterior permite generar un árbol conformado por las unidades de análisis que pertenecen al sistema a evaluar, el cual puede ser estructurado en el software utilizado para la administración del riesgo.

Realizar el Análisis, Evaluación y Jerarquización de Riesgo.

Analizar sistemáticamente y consistentemente por cada unidad de análisis las consecuencias, mecanismos de deterioro, frecuencias de falla, evaluar el riesgo calculado para cada una de ellas respecto al riesgo tolerable y jerarquizar, como se indica en los siguientes apartados.

Valuar las consecuencias de la falla.

Las consecuencias pueden ser evaluadas en forma cualitativa como resultados de los peligros potenciales resultantes de las condiciones de operación y los fluidos de proceso manejados. Por medio del juicio de experto se pueden evaluar las consecuencias de interés salud, medio ambiente y/o económicas, obteniéndose una categoría de riesgo (que va de alto a bajo riesgo).

La evaluación de consecuencias a nivel semi-cuantitativo o cuantitativo, evalúa la posibilidad de que en un escenario se presente y requiere de modelos de dispersión, fuego y explosión para evaluar los impactos de interés (radiación, sobre presión y/o toxicidad o fluidos calientes), así como de estimar los costos generados por el impacto del evento no deseado (daños a la instalación, pérdidas de producción, daños al equipo) o daños a las personas los resultados son generalmente numéricos.



Determinar la probabilidad de falla

Para la determinación de la probabilidad de falla (cuantitativa o cualitativa), esta debe de considerar todos los mecanismos potenciales a los que puede ser susceptible la unidad de análisis como son: adelgazamiento, agrietamiento por corrosión y por esfuerzos, cambios metalúrgicos, y/o mecánicos, además de considerar la frecuencia con que ocurrían los eventos identificados en el análisis de consecuencias, (evaluando bajo criterios cualitativos o cuantitativos la efectividad de las líneas de defensa disponibles en las instalaciones y/o procesos).

La probabilidad de falla además del mecanismo de deterioro depende de la velocidad de corrosión, la susceptibilidad al deterioro, de la efectividad de la inspección para identificar los mecanismos potenciales de deterioro y del modo de falla (orificio pequeño, grieta o ruptura), es importante contar en esta etapa con la participación del especialista de Integridad Mecánica, Corrosión y/o Metalurgia.

Al combinar los parámetros mencionados, se puede obtener la probabilidad de falla para cada mecanismo de deterioro y modo de falla. La probabilidad de falla, se expresara en términos de frecuencia. Donde la frecuencia es expresada, como un determinado número de eventos ocurridos durante un periodo de tiempo específico.

Determinar el riesgo.

A nivel cualitativo se obtiene una categoría de riesgo correspondiente a la posición en la matriz de riesgo especificada tomada para efectuar el análisis a nivel semi-cuantitativo o cuantitativo se obtiene un valor numérico calculado como producto de la probabilidad de falla y la consecuencia de falla.

Jerarquizar el riesgo.

A nivel cualitativo ordenar las unidades de análisis en función del posicionamiento resultante en los cuadrantes de la Matriz de riesgo (que va de alto a bajo riesgo).



Para la evaluación semi-cuantitativa y cuantitativa las unidades de análisis se ordenan en forma decreciente respecto al nivel de riesgo.

Evaluar el riesgo.

A nivel cualitativo, de acuerdo al posicionamiento de las unidades de análisis en la matriz de riesgo, es posible decidir que partes de la instalación necesitan mas atención en inspección u otros métodos de reducción/ control de riesgo. También permiten determinar cuándo es necesaria una evaluación más detallada ya sea semi-cuantitativa o cuantitativa.

A nivel semi-cuantitativo y cuantitativo, para cada unidad de análisis comparar el nivel de riesgo obtenido contra el nivel de riesgo tolerable establecido, de esta comparación se puede determinar cuáles unidades de evaluación sobrepasan el nivel de riesgo tolerable, y requieren una reducción de riesgo a través de un plan de inspección para mantener el riesgo a un nivel aceptable, o aplicar una medida de mitigación.

	CONSECUENCIAS				
PROBABILIDAD	Insignificante	Menor	Moderado	Mayor	Catastrófica
Raro	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto
Improbable	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Posible	Bajo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo
Probable	Moderado	Alto	Alto	Extremo	Extremo
Casi Seguro	Alto	Alto	Extremo	Extremo	Extremo
Extremo	Los riesgos extremos deben ponerse en conocimiento de los Directores y ser objeto de seguimiento permanente.				
Alto	Los riesgos altos requieren la atención del Presidente/Director General/ Director Ejecutivo.				
Moderado	Los riesgos moderados deben ser objeto de seguimiento adecuado por parte de los niveles medios de Dirección.				
Bajo	Los riesgos bajos deben ser objeto de seguimiento por parte de los supervisores.				

Figura 1.29. Matriz de Riesgo

Fuente: Tapia, R. 2013. El mapa de peligros en una empresa. Figura. Recuperado de <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=81>



Revisión del Plan de Mantenimiento e Inspección

El análisis de riesgo permite identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, al objeto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir el programa óptimo de inspección, en función de su influencia en el riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento.

1.2.14. Almacenamiento y Suministro

Los almacenes representan un eslabón fundamental en la Cadena de Suministro, aportando importantes ventajas en la gestión eficiente de la misma. La Cadena de Suministro representa el conjunto de sub-cadenas necesarias para la entrega satisfactoria de materiales (en calidad, cantidad, lugar y momento adecuado) a un cliente y/o a un mercado.

El termino almacén se utiliza cuando la función principal es la de almacenar o depositar materiales. Sin embargo, cuando la distribución de dichos materiales es su función principal, se emplea el término centro de distribución. En este último caso, es probable que la función de almacenamiento o almacenaje tenga menor importancia, y los productos incluso se reacondicionen y expida sin necesidad de almacenar (De Koster et al. 2007).

El almacenaje de productos puede ser visto como un sobrecoste innecesario, por lo que la filosofía de gestión como el Just in Time proponen su eliminación (Stock and Lambert. 2001). Sin embargo, debido a los requerimientos de los clientes, los almacenajes pueden aportar importantes ventajas en la gestión de la Cadena de Suministro (Lambert et al. 1998).



Logística de suministro de bienes y servicios.

a) Identificación de necesidades

El primer paso consiste en: la identificación de los bienes y servicios requeridos, los cuales se obtendrán de:

- Planes y programas Operativos de Producción.
- Planes y programas de Libranzas y Reparaciones Mayores.
- Planes y programas de mantenimientos planificados.

Estos planes y programas, deberán estar cargado en la base de datos y contener como mínimo: la jerarquización de las actividades considerando la criticidad de los sistemas y equipos, definida las listas de materiales, refacciones, sustancias químicas y servicios con las cantidades y las fechas de requerimiento.

Para esta actividad, es necesaria la interacción entre las áreas de planeación y programación de producción y mantenimiento con suministros y almacenes.

b) Consolidación de bienes y servicios.

Con los planes y programas antes mencionados los departamentos de Suministros y Almacenes consolidaran los materiales, refacciones, equipos y servicios y con esta información integraran el plan anual y plurianual de adquisiciones y contratación de bienes y servicios, bajo el siguiente figura 1.30:

Plan plurianual.- Bienes y servicios de uso recurrente así como no recurrente de largo plazo de entrega.

Plan anual.- Bienes y servicios no recurrentes, de tiempos de entrega menores a 6 meses y para uso inmediato, en el ejercicio presupuestal bajo el cual se solicitó.

Una vez que se cuente con las autorizaciones presupuestales tanto anual como plurianual, los departamentos de Suministros y Almacenes, en conjunto con los



planificadores de producción y mantenimiento, harán los ajustes finales al programa de adquisiciones. El programa anual de adquisiciones, será revisado por los departamentos antes mencionados, efectuando los ajustes procedentes, acorde a las adecuaciones presupuestales que se presenten en el transcurso del ejercicio.

c) Estrategias para la adquisición y contratación de bienes y servicios.

El objetivo de esta etapa es establecer las estrategias para adquirir y contratar los bienes y servicios que aseguren la disponibilidad de estos a un óptimo costo. En función de la jerarquización de las actividades, establecidas en los planes y programas, así como a la criticidad y condición de los activos.

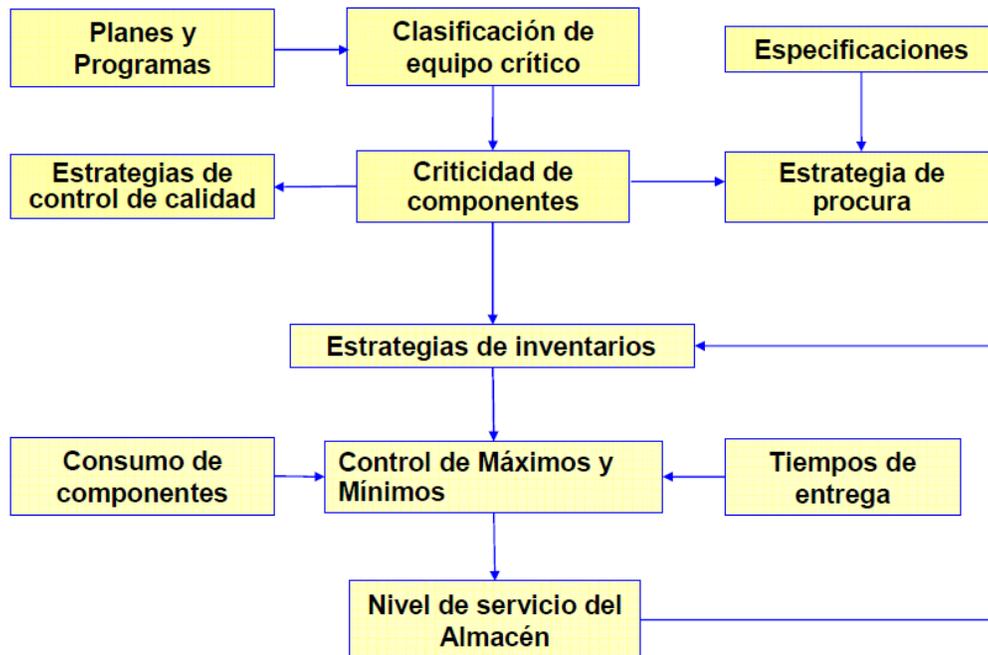


Figura 1.30. Diagrama de flujo para la definición de estrategias de procura e inventarios.

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Diagrama.



Otro de los factores a considerar para la determinación de las estrategias de adquisición de bienes, está relacionado con la optimización de los inventarios del almacén en el cual se debe establecer, el óptimo nivel de existencias, bajo un análisis costo vs riesgo. Este análisis nos permitirá determinar las estrategias de suministros: Pedidos abiertos con máximos y mínimos, Bienes estratégicos, etc. En la siguiente imagen se muestra el balance óptimo de nivel de inventarios vs. el riesgo de no contar con inventarios.

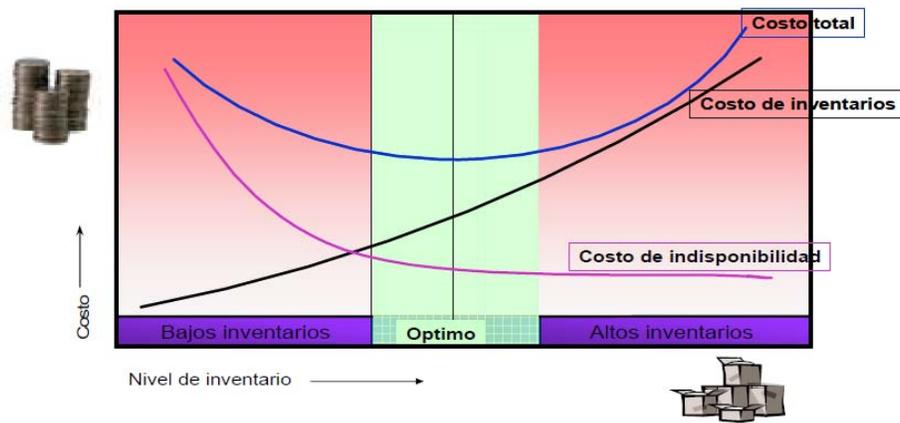


Figura 1.31. Balance óptimo del nivel de inventarios.

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Grafica.*

Las estrategias recomendadas son las siguientes:

- Bienes y servicios recurrentes. Estos bienes se deben administrar mediante contratos plurianuales y del tipo abiertos, en donde se cuenten con estándares de disponibilidad máxima y mínima en almacén así como valores para reabastecimiento de forma automática.

Las cantidades de materiales requeridos se obtendrán de los planes y programas antes mencionados en forma sistemática, así como mediante las estadísticas de consumo controladas por los almacenes.



Máximos y Mínimos

Para el control de máximos y mínimos de bienes a resguardar en el Almacén, se debe utilizar el control estadístico de inventarios. El objetivo del control estadístico de inventarios se centra en identificar sistemáticamente los niveles máximos y mínimos de inventario de materiales y refacciones de uso recurrente, utilizando para esto los consumos históricos registrados. Implica una revisión periódica de los niveles existentes, la definición del punto de reabastecimiento y de la cantidad de bienes a solicitar para cumplir con los niveles y la reserva de seguridad establecidos.

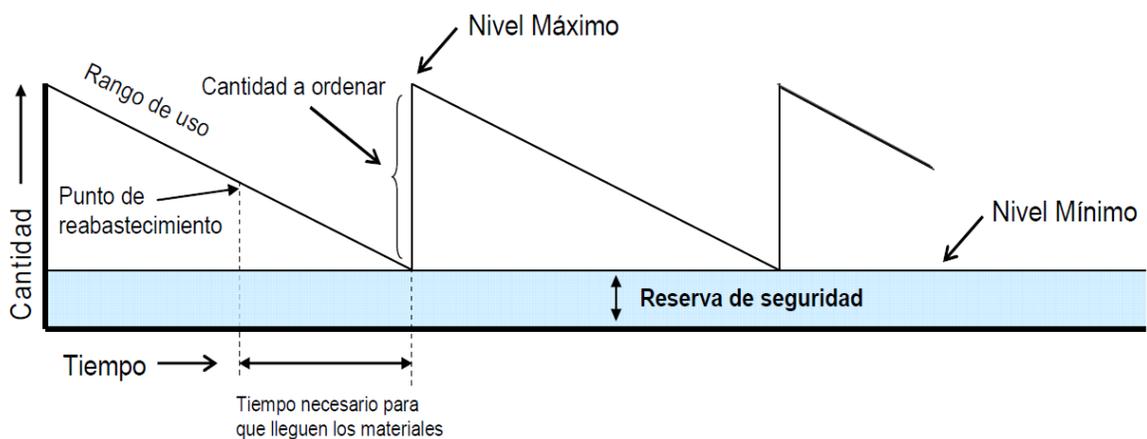


Figura 1.32. Control estadístico de inventarios, control por máximos y mínimos.

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Gráfica.*

- Bienes no recurrentes

- Planeada y programada su adquisición

Las cantidades de bienes requeridos se obtendrán de los planes y programas antes mencionados en forma sistemática

Para optimizar costos de almacenamiento serán administrados bajo un esquema de suministro Justo a tiempo y entrega en sitio bajo control del área de almacenes.



- Estratégicos y de adquisición bajo demanda del usuario.
Los criterios para la adquisición y almacenamiento de estos materiales, refacciones, equipos y servicios se determinaran considerando los modos de falla de los activos y el riesgo de no contar con estos en existencia utilizando la siguiente figura:

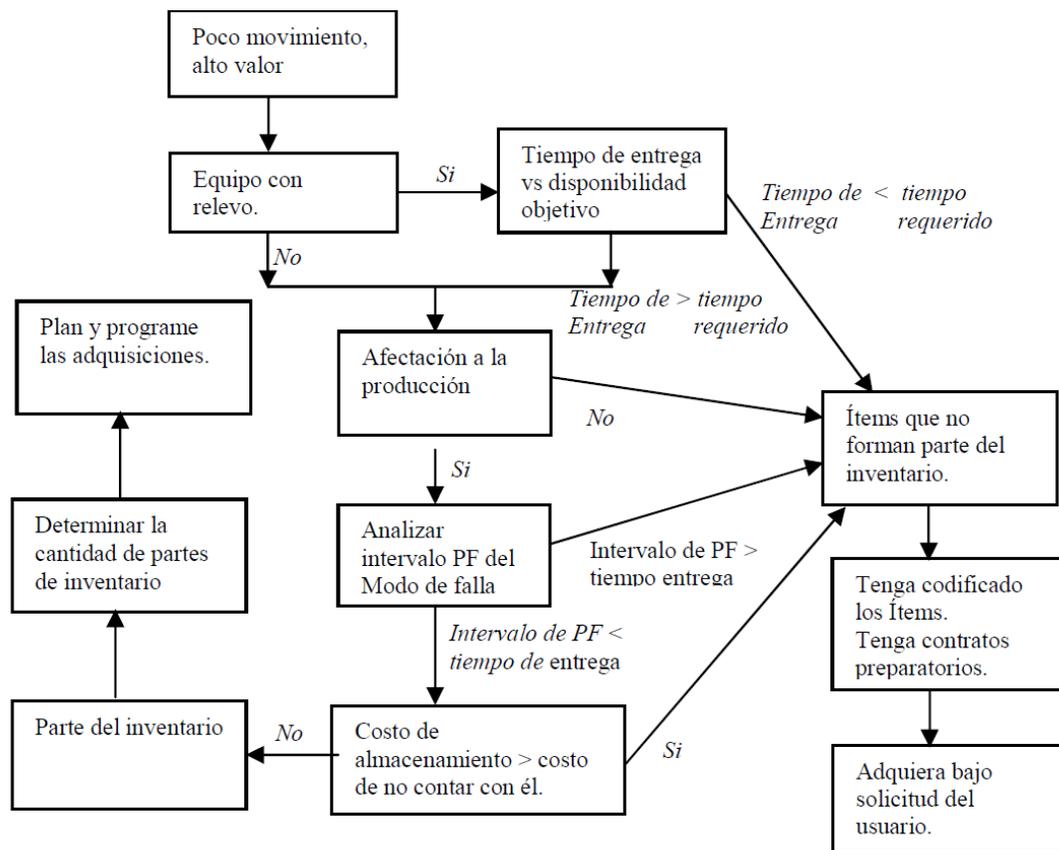


Figura 1.33. Diagrama de decisión para la selección de bienes no recurrentes que requieren en la lista de inventarios. Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Diagrama.

Para los materiales que bajo el diagrama, se determinó que no se requiere mantener en inventarios, su adquisición se gestionara bajo la siguiente estrategia.

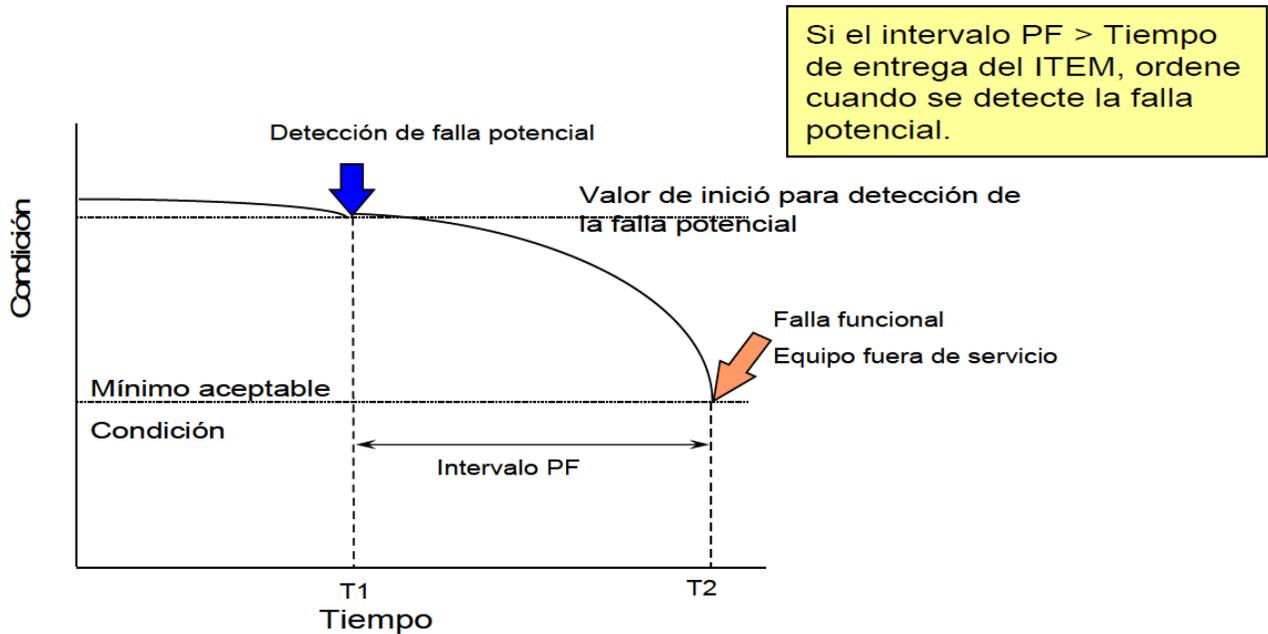


Figura 1.34. Selección de puntos para orden de bienes no recurrentes que no se requieran en la lista de inventarios.
Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Gráfica.

Este proceso debe ser aplicado por los planificadores de producción, reparaciones y en mantenimiento e informar a las áreas de almacenes y suministros los bienes que entran en esta categoría.

d) Actualizaciones de precios de bienes y servicios.

Los departamentos de Suministros deberán mantener actualizada los precios de los bienes y servicios que han sido adquiridos. Esta información servirá como referencia para la estimación de presupuestos requeridos, así como para la elaboración de las solicitudes de pedido.

e) Contratos preparatorios.

Se debe establecer como una buena práctica el desarrollo y empleo de los contratos preparatorios con fabricantes y/o sus proveedores autorizados. Estos no deben limitarse exclusivamente al suministro de refacciones, por lo que se debe



buscar la mezcla optima de servicios de forma tal que se optimicen los tiempos y costos de la etapa operativa del ciclo de vida. Sin ser limitativos estos servicios son:

- Capacitación y certificación de operadores y personal del almacén.
- Transferencias tecnológicas.
- Programas de mantenimiento predictivo y preventivo.
- Realización de reparaciones con personal externo y/o de la compañía.
- Información sobre mantenibilidad de sus refacciones críticas.

Administración de los almacenes

Para garantizar la integridad de los bienes almacenados, este departamento debe contar con procedimientos para la recepción, almacenamiento y despacho de estos, con la aplicación de Disciplina Operativa. El personal del almacén tendrá interrelación con los programadores de producción y mantenimiento de la siguiente manera:

Para los programas de mantenimiento planificado y programas de producción:

- Debe conocer los requerimientos de bienes solicitados en programas por lo menos con una semana de anticipación a la ejecución de los trabajos en base a las reservas de materiales efectuadas.
- Entregar los materiales en el sitio de trabajo, para lo cual se deben confirmar las reservas de materiales por los programadores de producción y mantenimiento en base al programa diario.
- Efectuar los trámites de reingreso al almacén de bienes no utilizados.

Para los programadores de libranzas y reparaciones mayores:



- Debe montar bodegas de despacho de materiales en los sitios de trabajo previamente asignados. En las cuales se concentraran los bienes a utilizar previo al inicio de trabajos.
- Cuantificar la relación de materiales utilizados en la reparación.
- Efectuar los trámites de reingreso al almacén de materiales sobrantes.

1.3. Definición de Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

Un proceso de desarrollo de la Confiabilidad Operacional implica un cambio en la cultura de la empresa, creando un organismo diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión clara de los fines del negocio. La variación en conjunto o individual que pueda sufrir cada uno de los aspectos que lo marcan, afecta el desempeño general del sistema. Cualquier hecho aislado puede traer beneficios, pero al no considerarse los demás factores, sus ventajas son limitadas o diluidas y pasan a ser el resultado de un proyecto y no de un cambio organizacional.

La confiabilidad es más que una probabilidad; es una nueva forma de ver el mundo (la nueva industria de clase mundial), en realidad es una cultura que debe implementarse a todos los niveles de la industria desde la alta dirección hasta el empleado de más bajo nivel. La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la



primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.

Esto implica un cambio en la mentalidad de todo el personal de la planta, nuevas formas de pensar y actuar, nuevos paradigmas; por esto es de radical importancia que la dirección de la empresa tome conciencia de la nueva situación y de su dificultad de conseguirla.

1.3.1 Herramientas y Aplicación de la Confiabilidad Operacional

Herramientas de Confiabilidad Operacional

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional.

Son múltiples las herramientas de que sirven la Confiabilidad Operacional con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento. Las más utilizadas son:



Figura 1.35 Las metodologías comúnmente utilizadas en la Confabilidad Operacional
Fuente: García.O.2005. *El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confabilidad Operacional*. Recuperado de <http://equiposrotativos.galeon.com/Analisis.pdf>

Análisis de Criticidad (CA). Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (FMECA). Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presenta.



Análisis Causa Raíz (RCFA). Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

Inspección Basada en Riesgo (RBI). Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.

Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA). Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad.

Costo de Ciclo de Vida (LCC). El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo o en servicio.

Aplicación de la Confiabilidad Operacional

Las estrategias de Confiabilidad Operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos de instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afectan los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de planta.



La Confiabilidad Operacional impulsa el establecimiento de tecnologías que faciliten la optimización industrial, entre las cuales se pueden destacar:

- Modelaje de sistemas, en la confiabilidad operacional se gasta a nivel de elementos (equipos, procesos y clima organizacional) y se recibe beneficios a nivel planta.
- Confiabilidad Organizacional, llamada también en forma sesgada error humano siendo este el ancla más fuerte.
- Gestión del Conocimiento, valor agregado de nuevas prácticas y conocimientos, a través de mediciones sistémicas, bancos de datos, correlaciones, simulaciones, minería de datos y estadísticas.
- Manejo de la incertidumbre, a través del análisis probabilístico de incertidumbre y riesgo asociado.
- Optimización Integral de la Productividad, a través de pruebas piloto en seguridad y confiabilidad desde el diseño.



1.4. Parámetros de la Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional se basa en el ciclo de vida de los activos, sus diseños y la normatividad aplicable, considera los análisis estadísticos y de condición, orientados a mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos a través de acciones proactivas que eviten las fallas. Está orientado a maximizar la rentabilidad de la empresa; con la firme participación e involucramiento entre los procesos primarios y de soporte, acorde a lo establecido.

La optimización de los activos es una iniciativa de negocio que requiere una participación activa y de equipo entre Mantenimiento y Producción.

1.4.1 Confiabilidad Humana

Se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivados del conocimiento y actuar humano, durante su competencia laboral, dentro de un entorno organizacional específico. El sistema de Confiabilidad Humana incluye varios elementos de proyección personal, que permite optimizar los conocimientos, habilidades y destrezas de los miembros de una organización con la finalidad de generar “Capital Humano”.

El *Capital Humano* representa el incremento en la capacidad de producción alcanzando mediante el desarrollo de las competencias de los trabajadores de la empresa. Está formado por el conocimiento y el ingenio que hacen parte de las personas, su salud mental y la calidad de sus hábitos de trabajo. También es común señalar al *Capital Humano* como indispensable para la competitividad de las economías modernas ya que su productividad se basa en la generación, difusión y utilización del conocimiento.

El mejoramiento de la Confiabilidad Humana se puede lograr mediante la integración de estrategias que incluyan una adecuada gestión del conocimiento, la



consolidación de los equipos naturales de trabajo, aplicación de modelos de competencia y la creación de comunidades del conocimiento para desarrollo del mantenimiento, gestionando su desempeño, con el fin de asegurar la competitividad y poder preservar el conocimiento de la organización

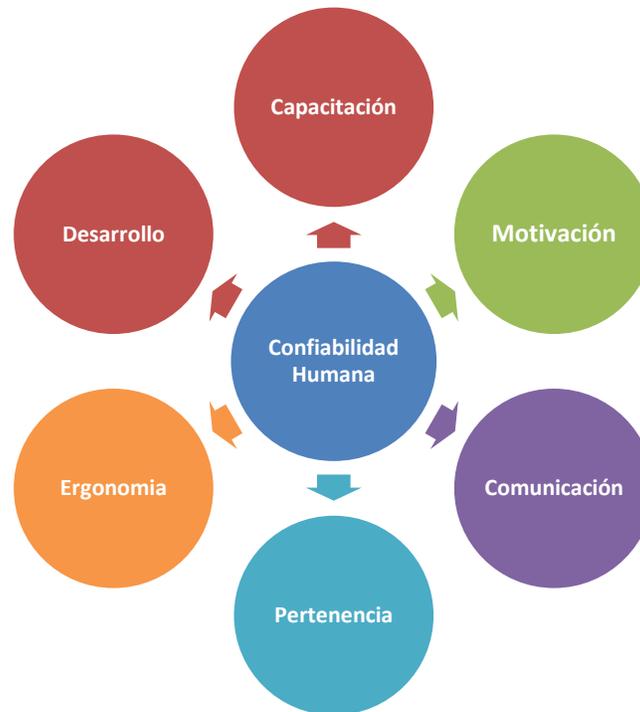


Figura 1.36. Elementos de la Confiabilidad Humana

Fuente: García.O.2006. *La Confiabilidad Humana en la Gestión del Mantenimiento*. Recuperado de <http://www.verriveritatis.com.br/Toro/outubro2010/Confiabilidad-Humana.pdf>

1.4.2. Confiabilidad de Diseño

Es la probabilidad de fallas inherentes que se establece durante la fase de proyectos a los equipos, sistemas y plantas. Se define como el uso sistemático de criterios y métodos de confiabilidad partiendo desde su diseño, hasta su desincorporación, con el propósito de obtener el nivel de confiabilidad requerida a un óptimo costo a lo largo de su ciclo de vida.



La aplicación de la Confiabilidad de Diseño influye en la toma de decisiones a lo largo de la vida de un activo, ayudando a definir el desempeño a través de la identificación de los niveles de productividad, seguridad, confiabilidad y riesgo asociado a las decisiones de operar, adecuar la inversión inicial, gastos de operación y los costos de ciclo de vida de los activos.

La correcta instalación del activo, el comisionamiento con un entrenamiento adecuado a la medida del activo, el conocimiento del proceso que desempeñará el activo, el knowhow de las personas que diseñan, la integración temprana entre los departamentos de Ingeniería de Fabricación-Operaciones-Mantenimiento, las correctas y pertinentes pruebas de operación, así como el uso de las “Lecciones Aprendidas”, son factores que si se aplican correctamente en la fase de Confiabilidad de Diseño, integrando cada uno de ellos de manera adecuada y en la medida que el activo requiere, garantizarán el éxito de este componente de la Confiabilidad Operacional y así el activo tendrá fortalezas evidentes desde su nacimiento



Figura 1.37. Herramientas para garantizar la Confiabilidad de Diseño
Fuente: Rojas, N.2010. Integración de Herramientas para el aseguramiento de la Confiabilidad Operacional. Diagrama.

1.4.3 Confiabilidad de Proceso

Es la probabilidad de que el proceso entregue el producto requerido en un tiempo determinado y bajo ciertas especificaciones de calidad, cantidad, seguridad, salud del personal, costos y seguridad de los procesos. La Confiabilidad de Proceso es un sistema que permite establecer el rango óptimo para operar y producir de forma segura, rentable, confiable y sostenible a lo largo del ciclo de vida del activo, este rango se puede simbolizar con la llamada “Ventana Operativa” que tiene dimensiones fundamentadas en un análisis de costo/riesgo/beneficio.



Herramientas para asegurar la Confiabilidad del Proceso

Una vez el activo ha entrado en funcionamiento, la organización implementará herramientas alrededor del proceso que este va a desempeñar, garantizando así disminuir al máximo, fallas o averías ocasionadas por procesos indebidos, así como procesos que el activo no está en capacidad de desarrollar.

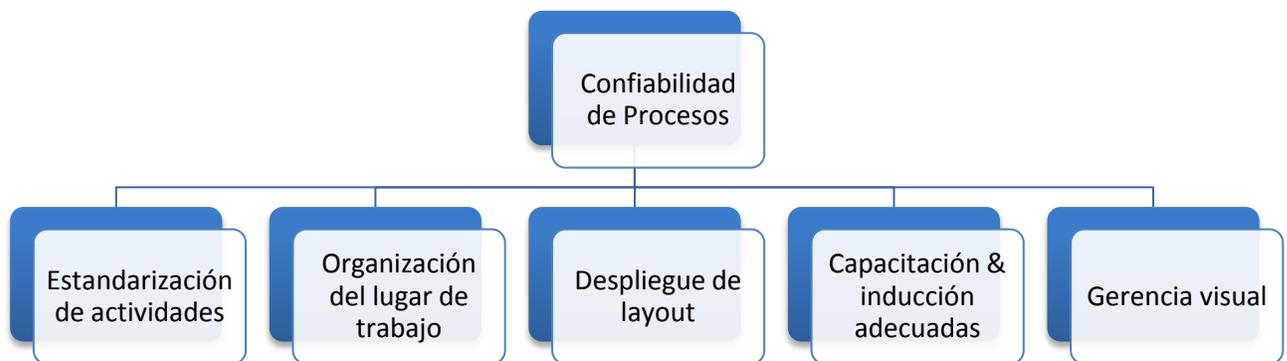


Figura 1.38. Herramientas para garantizar la Confiabilidad del Proceso
Fuente: Rojas, N.2010. Integración de Herramientas para el aseguramiento de la Confiabilidad Operacional. Diagrama.

La estandarización de actividades, (que siempre se hagan de la misma manera), la organización y preservación del lugar de trabajo en condiciones óptimas mediante la técnica de las 5's, el despliegue de un Layout, (Plano de ubicación como guía para los activos y procesos), una capacitación e inducción con el suficiente tiempo y contenido para el conocimiento pleno del proceso a realizar, y la implementación de técnicas de gerencia visual, son herramientas determinantes para asegurar la Confiabilidad de Procesos.



1.4.4 Confiabilidad de Activos

Las estrategias y tecnologías de mantenimiento ofrecen recursos que contribuyen a lograr determinados niveles de confiabilidad de los activos, pero no pueden hacer realidad la decisión y el compromiso de ser consecuentes con ellas en la actuación cotidiana. Tal resolución pertenece a la dirección de las organizaciones y a los que tienen el privilegio de la sabiduría de conducir, por el camino adecuado, al capital humano.

Convengamos en que confiabilidad es la probabilidad de que un activo (o conjunto de activos) desempeñe su función, libre de fallos, y bajo determinadas condiciones, durante un periodo de tiempo también determinado. Es un grado de confianza de que un activo cumplirá su función, bajo ciertas condiciones, durante un tiempo dado.

Para hablar de confiabilidad integral de un activo, no es posible obviar los elementos representados (figura 1.38). Alcanzar la confiabilidad del activo supone siempre, en última instancia, la certeza de poder contar con una elevada confiabilidad humana. Tanto el diseño, como la gestión, como la operación y mantenimiento de los activos, están determinados por el ser humano. Trabajar la confiabilidad integralmente es un proceso grupal (preferible de grupos convertidos en equipos) y no es posible esperar alentadores resultados solo por el trabajo de individuos aislados. Es imprescindible la participación de todas las partes interesadas en la determinación de acciones para alcanzar y mantener particulares niveles de confiabilidad. La confiabilidad del activo no es una responsabilidad exclusiva de los especialistas y debe trabajarse durante las diferentes fases del ciclo de vida del activo.

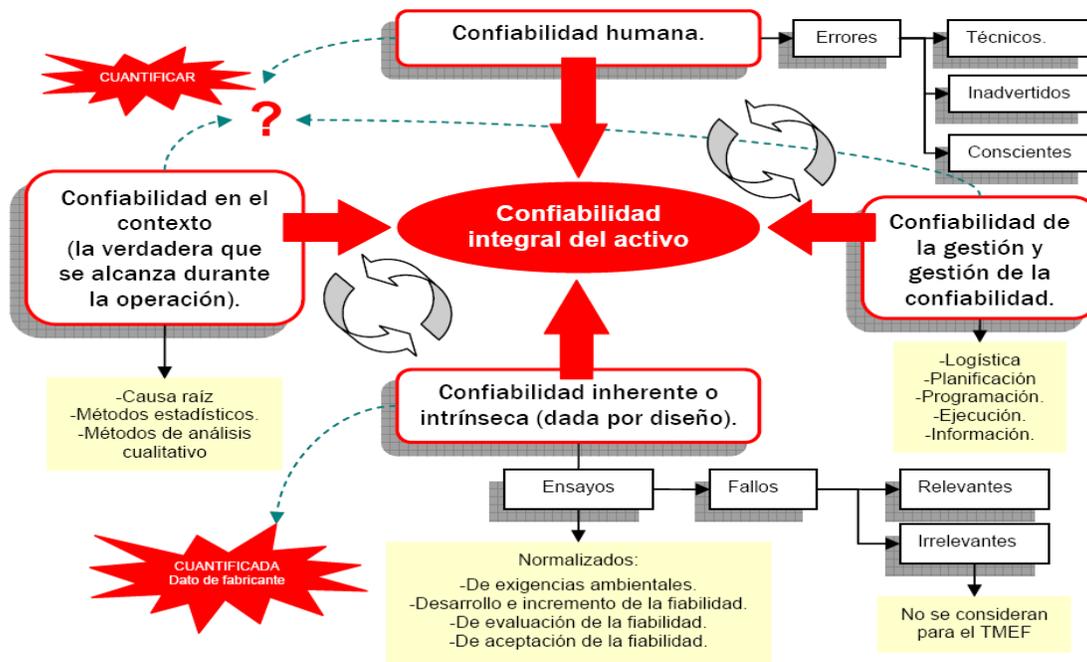


Figura 1.39. Las cuatro vertientes que conforma la confiabilidad integral del activo
Fuente: Sexto, L. 2005. *Confiabilidad Integral de un Activo*. Figura. Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/CONFIABILIDAD-MM.pdf>

Herramientas para asegurar la Confiabilidad de Activos

Es responsabilidad generalmente de los departamentos de mantenimiento, garantizar el cuidado de los activos de una organización, ahora bien, para que esto se cumpla, sería ideal, que dicho departamento contara con un programa sólido, estructurado, duradero y además que tenga como factor fundamental que todas sus acciones sean costo-efectivas.

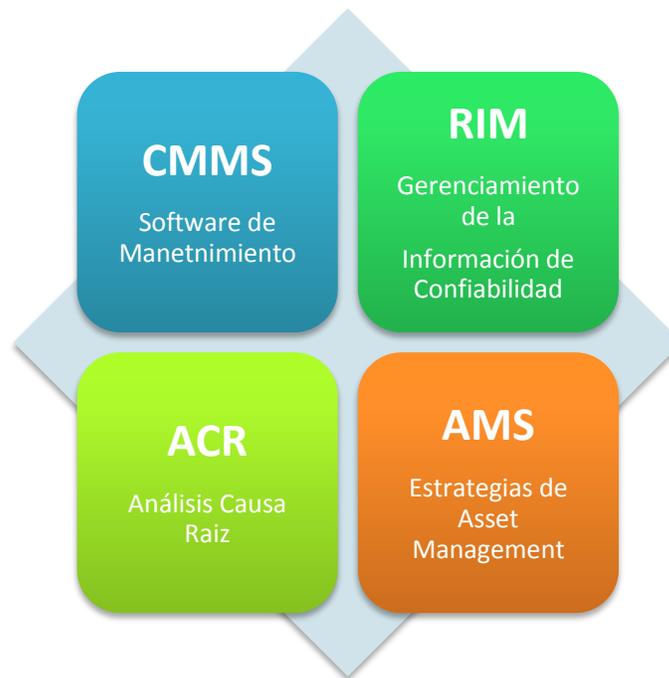


Figura 1.40. Pilares de un programa de Confiabilidad de Activos
Fuente: Rojas, N.2010. Integración de Herramientas para el aseguramiento de la Confiabilidad Operacional. Diagrama.

Los pilares de un programa de Confiabilidad, básicos son: La correcta implementación de un sistema CMMS, (Software para la Administración y Gestión de Mantenimiento), El Gerenciamiento de la Información (RIM) que se consigna en dicho software con el fin de tomar decisiones en aras de la mejora de la Confiabilidad, el Análisis de Causa Raíz (ACR) como herramienta de eliminación de fallas, y, por último, La Estrategia de Asset Management (AMS), (Gestión de Activos), debe ser algo corporativo.

Adicional a estas herramientas, la estrategia de mantenimiento, los sistemas de Backup, la gestión de reparaciones mantenimientos , el monitoreo y control, la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo, la automatización de activos, el gerenciamiento del MTBF, (Indicador de tiempo medio entre fallos), y el análisis de criticidad, son factores determinantes para la Confiabilidad de Activos.



1.4.5. Mantenimiento de Equipos

Se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general.

Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejores introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo.

El objetivo final de mantenimiento de equipos se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso reparar los fallos sobre los bienes
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de maquinas no programados.
- Evitar accidentes
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.



1.5. Ingeniería de Confiabilidad

La ingeniería de Confiabilidad puede definirse como la rama de la ingeniería que estudia las características físicas y aleatorias del fenómeno conocido como falla. Las discusiones relacionadas con el concepto de falla suelen ser discretas, pues es extremadamente difícil conseguir un concepto que satisfaga todos los criterios o puntos de vista que pueden existir.

Se propone un concepto con amplitud suficiente, que no genere complicaciones y facilite las estimaciones de confiabilidad y riesgo.

Dentro del área de la Ingeniería de Confiabilidad, coexisten dos escuelas con enfoques específicos:

- Confiabilidad basada en el análisis probabilístico del tiempo para la falla o historial de fallas (StatisticalBasedReliabilityAnalysis).
- Confiabilidad basada en el análisis probabilístico del deterioro o físico de la falla (PhysicsBasedReliabilityAnalysis).

Ambas escuelas tienen un objetivo común: “Caracterizar probabilísticamente la falla para hacer pronósticos y establecer acciones proactivas dirigidas a evitarla o mitigar su efecto”

Las dos proponen el término probabilístico confiabilidad como indicador básico para lograr esta caracterización. Otro punto de coincidencia es el reconocimiento de la “aleatoriedad o incertidumbre” de las variables analizadas y su tratamiento probabilístico.

Parámetros de la Ingeniería de Confiabilidad

El rendimiento de confiabilidad de un producto depende de que su comportamiento sea cíclico o dependiente del tiempo. Luego depende del tipo de misión, si es única o cíclica o si es finita o continua. Cuando el rendimiento es



dependiente de un ciclo y se presenta por única vez se basa en la probabilidad que el sistema rinda con éxito esa primera vez, pues es la única.

Cuando el rendimiento es dependiente de un ciclo y se presenta en ciclos repetidos, esa probabilidad de éxitos se da pero en cada uno de esos ciclos.

Si el rendimiento es dependiente del tiempo y la misión es finita, se da una condición de confiabilidad con el tiempo finito, o sea que hay un inicio y un final. En el caso de sistemas que operan continuamente, el rendimiento se puede medir permanente en el tiempo.

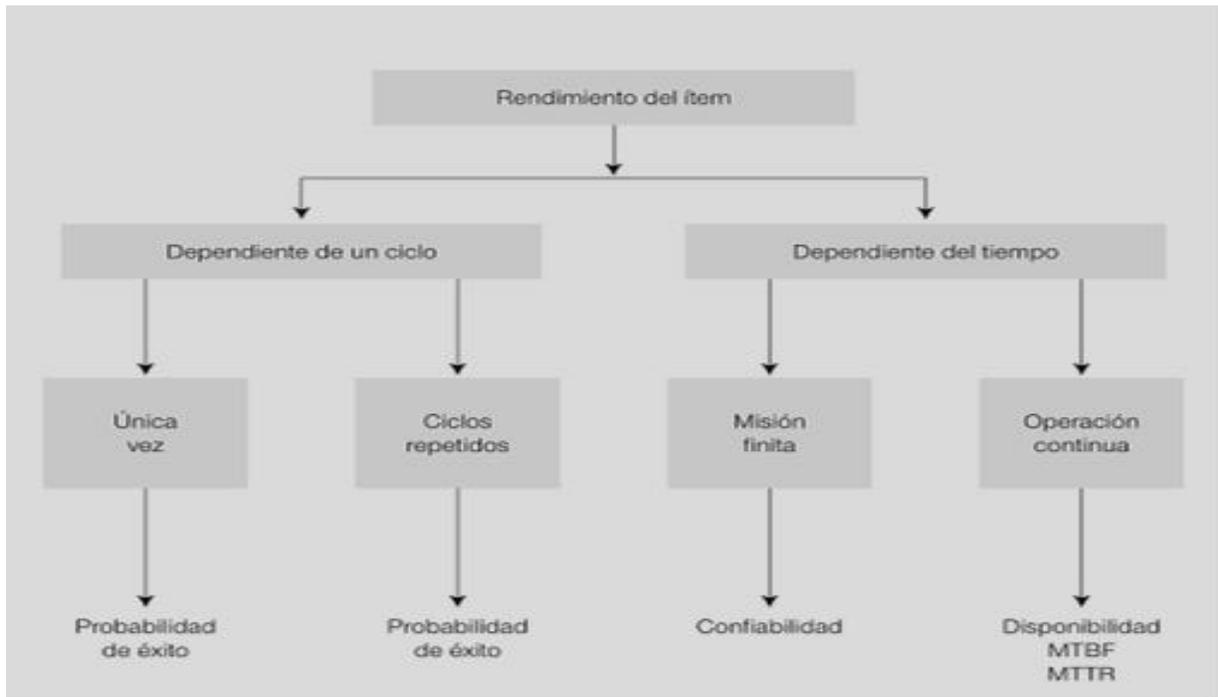


Figura 1.41. Representación de los parámetros de la confiabilidad
Fuente: Acuña Jorge.2003. *Ingeniería de Confiabilidad*, Editorial Tecnológica de CR. PAG. 27



Ingeniero de la Confiabilidad

Un ingeniero de la Confiabilidad requiere una gran gama de conocimientos y destrezas adicionales a las requeridas para diseñar y manejar equipos. Estas están relacionadas a la solución de problemas, la generación de planes de mantenimiento y operación así como a la optimización de las paradas productivas en planta, el manejo del personal, los cambios culturales y el saber conducir las acciones en situaciones de incertidumbre.

Estas funciones distintivas podemos describirlas como las funciones de un Ingeniero de la Confiabilidad:

- Gestión de la base de datos de equipos, jerarquía y criticidad.
- Asegurar que todos los activos de la planta tengan los correspondientes planes de mantenimiento, para los modos de falla esperados.
- Desarrollo y gestión del programa de Mantenimiento Predictivo.
- Análisis estadístico y modelamiento de las fallas de equipos para determinar los cambios necesarios en los planes de mantenimiento
- Liderar el programa de Análisis Causa Raíz

Gestión de la Base de Datos

La precisión y totalidad de la base de datos es esencial para definir las estrategias de mantenimiento. Contar con la información necesaria de cada activo es fundamental. Realizar el inventario de todos los manuales disponibles de los equipos (instalación, operación, mantenimiento, partes). Las características técnicas de los activos y datos de la adquisición de los mismos. Establecer la categorización jerárquica de los activos. Definir ubicaciones, activos, componentes, repuestos.

Así mismo el Ingeniero de Confiabilidad debe establecer los parámetros para evaluar la criticidad de los activos. Esto permitirá que la importancia de cada activo



sea entendido por operaciones, mantenimiento en sus aspectos productivos, de seguridad, efectos sobre el medio ambiente, logística, etc. La norma NORSOK STANDARD Z-008 Criticalityanalysisformaintenancepurpose, puede ser de utilidad.

Gestión de los planes de mantenimiento

Basado en el análisis de criticidad el Ingeniero de Confiabilidad establecerá la estrategia del mantenimiento más apropiada a cada activo. Para ello contará con la información de los fabricantes anteriormente organizada, como primera fuente de información para crear los planes de mantenimiento. Podrá usar también la experiencia con activos similares en otras operaciones y cuando cuente con base de datos propia suficiente, afinar estos planes de mantenimiento, basados en las tendencias identificadas.

El Análisis de Modo de Falla y Efecto (FMEA) será una herramienta indispensable y podrá evaluar en este punto la viabilidad de un enfoque basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Desarrollo y Gestión del Programa de Mantenimiento Predictivo

Siendo el responsable de la estrategia y la gestión de los planes de mantenimiento, corresponde al Ingeniero de Confiabilidad, el desarrollo e implementación del programa de monitoreo por condición, también denominado programa de mantenimiento predictivo. Deberá definir las técnicas a aplicar, basado en el FMEA realizado previamente. También definir los equipos a monitorear basado en la criticidad evaluada durante la gestión de la base de datos. Finalmente definir el flujo de la información recopilada a través del monitoreo de condición para las recomendaciones de intervención y la toma de decisiones por parte del área ejecutora del mantenimiento.



Liderar y Gestionar el Programa de Análisis de Causa Raíz

Un programa de Análisis de Causa Raíz, es una herramienta fundamental para la previsión de fallas y el profesional más indicado para liderar este programa es el Ingeniero de Confiabilidad. Actuando como facilitador de las reuniones de análisis y responsable de conducir a término las soluciones propuestas producto del análisis del problema y evaluar los beneficios del programa.

Cada organización determinara la descripción de puesto acorde a sus políticas y estrategias, lo recomendable es no perder de vista la esencia de las funciones del Ingeniero de Confiabilidad, para que pueda contribuir de forma eficaz al logro de los objetivos del área.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAPÍTULO 2

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD



2.1. Antecedentes

El enfoque del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se documentó por primera vez en el libro detallado sobre el tema escrito por F. Stanley Nowlan, Director de Análisis de Mantenimiento, y Howard F. Heap, Gerente de Planeación del Programa Mantenimiento, ambos pertenecientes a United Airlines. El libro fue patrocinado por el Departamento de la Secretaría de Asistencia a la Defensa (Mano de Obra, Cuestiones de la Reserva y Logística) y se publicó en 1978. De ese libro se extrae:

Una de las suposiciones subyacentes de la teoría de mantenimiento siempre ha sido que hay una relación fundamental entre la causa y el efecto y entre el mantenimiento programado y la confiabilidad de la operación, la confiabilidad de cualquier equipo se relaciona directamente con la antigüedad de operación.

En 1960 se llevó a cabo una influencia sobre la tarea de FAA y el personal de la aerolínea para investigar el mantenimiento programado y dio como resultado en un FAA/Programa de Confiabilidad de la Industria en 1961. Con base en este trabajo, en 1965 United Airlines desarrollo una técnica rudimentaria de decisiones-diagramas. Esta técnica se detalló y se incorporó en el Manual del Grupo de Direccionamiento de Mantenimiento 747 (MSG): Evaluación de Mantenimiento y Desarrollo del Programa (MSG-1) de la Asociación de Transportación Aérea en 1968.

El MSG-1 se utilizó para desarrollar el programa de mantenimiento para el Boeing 747, el primer programa de mantenimiento en aplicar los conceptos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

A principio de los años setenta este trabajo atrajo la atención del departamento de la Secretaría de Defensa. La Marina fue la primera organización militar en aplicar el MCC tanto para un diseño nuevo como para las aeronaves en servicio. También a principios de los años setenta, la Marina se embarcó en un programa mayor



para cambiar la forma en que se les daba mantenimiento a los submarinos nucleares.

Posteriormente la metodología MCC se ha aplicado en una amplia variedad de aplicaciones comerciales y militares. El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) ha probado la metodología en diversas plantas de servicio de energía nuclear de Florida Power & Electric, Duke Power, y Southern California Edison. La NASA durante mucho tiempo ha utilizado el MCC para el análisis de los Transbordadores Espaciales y los Sistemas de Soporte a Transbordadores Espaciales. A principios de los años noventa, la NASA tomó participación en un proceso en el que fundamentó el enfoque para las plantas de mantenimiento con base MCC. Y en 1995, el Grupo de Aeronaves Comerciales Boeing adoptó el MCC como una de las herramientas en la implantación de un programa de mantenimiento más robusto y estandarizado. Esto fue muy significativo ya que unos de los grupos clave en fomentar el MCC en sistemas complejos (Aeronaves Boeing) ahora estaban aplicando el enfoque a un equipo de instalaciones industriales comunes.

Más recientemente, los problemas que circundan el MCC se veían más enfocados a la aplicación de la técnica y menos en proporción a su valor. En la Conferencia de Mantenimiento Internacional 2003 se presentó un excelente artículo en relación con las variaciones de la metodología. Sin importar el enfoque seleccionado, el resultado del análisis MCC se enfocó en la selección de estrategias de mantenimiento más efectivo y en los casos en que el mantenimiento no puede proporcionar la confiabilidad necesaria, se deben identificar los requisitos de rediseño.



2.2 Definición

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es el proceso para determinar la Estrategia o (Enfoque) de Mantenimiento más efectivo. Específicamente, los objetivos del MCC como los definieron en 1978 Nowlan y Heap son:

- Asegurar la realización de la seguridad inherente y los niveles de confiabilidad del sistema o el equipo.
- Restaurar el sistema o equipo a esos niveles inherentes cuando se ha presentado el deterioro.
- Obtener la información necesaria para mejorar el diseño de esos rubros cuya confiabilidad inherente se ha probado que son insuficientes.
- Cumplir con las metas a un costo total mínimo, incluyendo los costos de mantenimiento, costos de soporte, y consecuencias económicas de las fallas operacionales.

Nowlan y Heap definieron MCC como “Una disciplina lógica para desarrollar un programa de mantenimiento programado que toma en cuenta los niveles de confiabilidad inherentes de equipos complejos a un costo mínimo”.

En 1999 la *Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE)* emitió su Criterio de Evaluación para los Procesos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). En dicho documento definieron el MCC como “un proceso específico que se utiliza para identificar las políticas que deben implantarse con el fin de administrar los modos de falla que podrían provocar la falla de la funcionalidad de cualquier activo físico bajo cierto contexto de operación”.



2.3 Términos de Mantenimiento

El lenguaje relacionado con el mantenimiento y la confiabilidad a menudo no es consistente entre las diferentes industrias. En algunas ocasiones varía hasta dentro de su propia organización. Las definiciones seleccionadas se presentan a continuación son las más comúnmente utilizadas.

Mantenimiento: Las actividades realizadas para retener la función. A menudo hay un amplio significado de toda la extensión de mantenimiento que va desde la retención de la función hasta el departamento que supervisa los servicios de consejería.

Reparación: Las actividades relacionadas con la restauración de la función. La función de reparación a menudo se le llama Mantenimiento Correctivo o Mantenimiento Reactivo. Una buena práctica es evitar utilizar la palabra mantenimiento cuando se está hablando de trabajo de reparación.

Es importante distinguir entre las dos funciones al realizar un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) ya que la reparación se da después de la falla. El enfoque es la identificación de las actividades que reducirán la probabilidad de falla.

Estrategia o (Enfoque) de Mantenimiento: El resultado del análisis MCC, el plan (actividades) para administrar un activo. Para las organizaciones que utilizan SAP, a esto se le llama Plan de Mantenimiento. Dentro del Estándar MCC de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE JA1011), el término es Política de Administración de la Falla.

Monitoreo de Condiciones: las actividades para identificar y realizar las tendencias y condición de materiales. A esta función también se le conoce en la industria como Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento con base en Condiciones, y Mantenimiento por Condiciones.



2.3.1 ¿Por qué hay que dar mantenimiento?

Las máquinas más sencillas tienden a tener una función específica y una degradación que se entiende claramente así como el modo de falla. Para estas máquinas, de forma similar el mantenimiento a menudo es sencillo y por lo regular se relaciona con el desgaste. Debido a que la meta es prevenir la falla, el término a menudo se ha aplicado al Mantenimiento Predictivo y la actividad realizada se hizo para mejorar la confiabilidad.

Como los equipos no pueden mantenerse en buen funcionamiento por si solos, se debe contar con un grupo de personas que se encarguen de ellos, conformando así el departamento de mantenimiento de nuestras empresas.

2.3.2 Mantenimiento y Reparación

A menudo se usan como una sola palabra, pero el mantenimiento y la reparación se enfocan en dos áreas diferentes. La estrategia (o enfoque) del mantenimiento es la retención de la función. La reparación es la restauración de la función, por lo regular después de una falla.

A veces reparamos objetos antes de que fallen. ¿A esto se le llama mantenimiento o reparación? La mayor parte de la gente lo considera cualquier acción que mejora la condición del material como una reparación, lo opuesto a mantenimiento. La excepción general a esto es reemplazo de los componentes desgastados, como bandas, que no requieren el desensamble del sistema o de la máquina.

Todas las acciones de mantenimiento recaen en dos categorías:

- Acciones de mantenimiento con base en tiempo o ciclos.
- Acciones de mantenimiento con base en condiciones.

Las acciones con base en tiempos o ciclos incluyen las actividades que realizamos de vez en cuando que ha probado ser efectivas para prevenir la falla. Los rubros



tales como la lubricación y restauración de desgaste encajan en esta descripción. Otros rubros que se basan en tiempos y ciclos son inspeccionados y monitoreo de condiciones. La inspección se hace para encontrar fallas ocultas; el monitoreo de condiciones se hace para identificar, y cuantificar cuando es posible, la condición del material.

Las acciones con base en condiciones son los rubros que se realizan cuando la condición del sistema/maquina indica que se necesita una acción para evitar la falla o para iniciar la reparación antes de la falla.

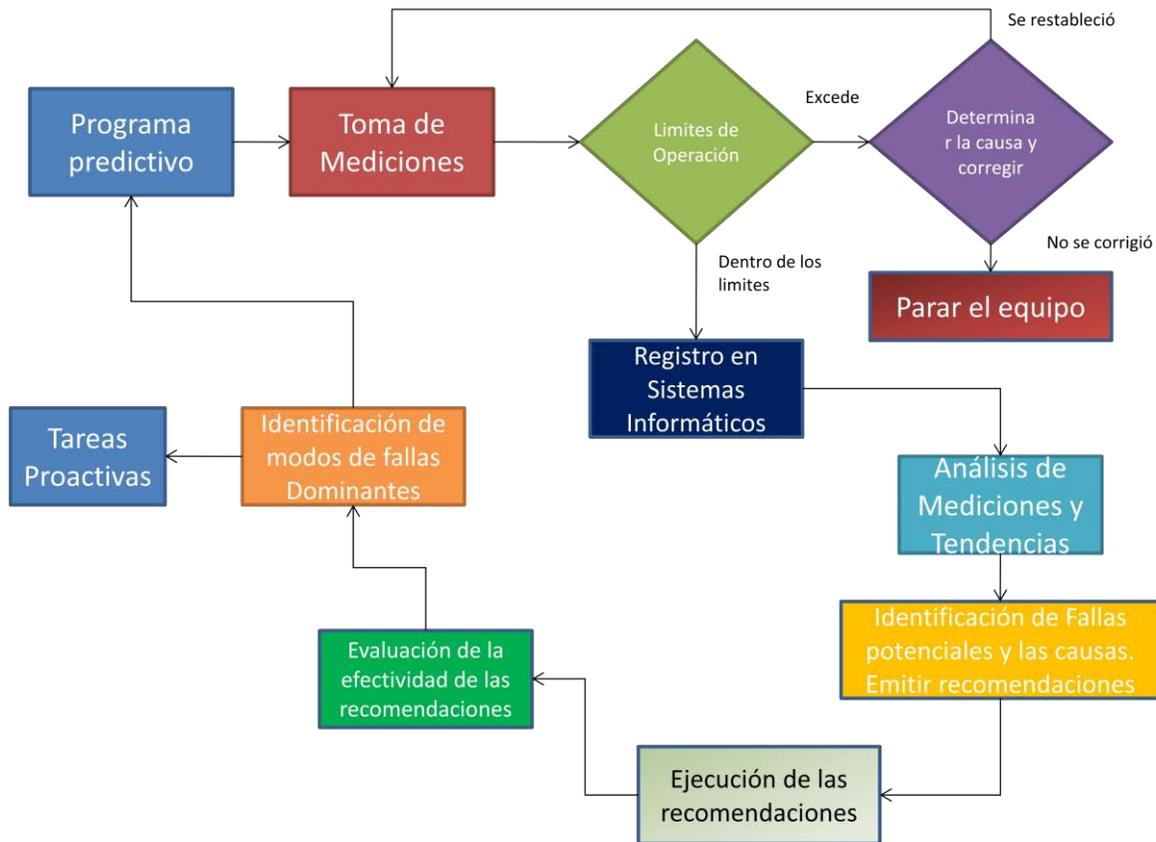


Figura 2.1. Plan de monitoreo

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Diagrama.



Un plan de monitoreo basado en condiciones consta de las siguientes etapas:

- Toma de mediciones
- Registro de mediciones en los sistemas informáticos establecidos
- Análisis de mediciones y tendencias en conjunto personal de operación y mantenimiento
- Identificación de fallas potenciales y las recomendaciones para su eliminación y/o corrección
- Ejecución de las recomendaciones
- Evaluación de la efectividad de las recomendaciones y seguimiento al comportamiento del equipo
- Semestralmente por familia de equipos se deben identificar los modos de falla dominantes y establecer las tareas proactivas que se deberán integrar a los planes de integridad para minimizar o eliminar su recurrencia.

Para la elaboración del plan de monitoreo a la condición se debe:

- Identificar los modos de falla dominantes de los equipos
- Identificar las técnicas predictivas existentes en el mercado, evaluarlas y seleccionar la o las técnicas más efectivas para su incorporación en los planes de mantenimiento y operación
- Establecer planes de monitoreo a la condición integral donde se consoliden diferentes técnicas predictivas (ejemplo: Análisis de Vibración, Ultrasonido, Termografía, Análisis de Aceite, Ventanas Operativas, Inspección de Estado de Protecciones, entre otras), para un mismo equipo efectuadas por equipos de trabajo multidisciplinarios
- Contar con personal capacitado y certificado en los niveles 1 (ejecutor) y 2 (analista de información) por organismos acreditados
- Contar con equipo de monitoreo certificado para efectuarse las tareas predictivas



- Identificar y aplicar las Ventanas Operativas en todo los equipos críticos “A”

La aplicación consistente de estas actividades reflejada en el mejoramiento de la confiabilidad a través de los indicadores establecidos.

2.4 Cultura en el Mantenimiento

Una de las labores más complicadas a la hora de lograr el éxito en la gestión del mantenimiento es conseguir dentro de la compañía una cultura que apoye como es requerida la estrategia elegida, y siendo un poco más críticos, podría decirse que incluso conseguir la cultura en el personal responsable del mantenimiento no es del todo fácil.

Para poder comprender el porqué trabajar con estas estrategias resulta muchas veces tan complejo, y para luego trabajar en la cultura para el mantenimiento, debemos incursionar en disciplinas como la antropología y la sociología, donde muchos autores han realizado importantes trabajos logrando dar elementos valiosos para la construcción de una cultura empresarial que al final es donde los mantenedores aportan.

El lenguaje usado para transmitirse esta tradición o la costumbre de hacer algo, es simple, y común usado por cada grupo, la cercanía, los abrazos y hasta las peleas, muestran como el contacto físico es importante para la transmisión de la cultura ayudar al otro es algo que no se nos enseña, solo sabemos entre otras cosas que “al que ayuda, Dios lo ayuda”.

Para el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es imperioso hablar de los PET (pequeños Equipos de Trabajo) pero ¿Por qué estos grupos no entregan tanto como se espera de ellos en nuestros países? La respuesta podría ser *LA CULTURA*, el MCC por su parte plantea la creación de Grupos de Revisión conformados por expertos en un tema, y aun siendo nuestro personal tan bueno,



¿Por qué no logra resolver con facilidad los problemas propuestos? Nuevamente se considera que la respuesta es *LA CULTURA*.

Se debe entonces revisar el cómo se implementa, más que como se impone un nuevo modelo de cultura dentro de un grupo, que como dice Morcillo, “El triunfo de la fase de implementación de una nueva cultura depende de tres parámetros:

1. Nivel de consenso alcanzado entre la dirección de la empresa definidora del modelo de cultura, y los empleados, los que desarrollan y ponen en práctica.
2. Los beneficios esperados por parte de los empleados tras la adopción y desarrollo de la nueva cultura.
3. Los esfuerzos que deben acometer los empleados para adaptarse y aplicar nuevas reglas derivadas del nuevo modelo.

Analizando estos aspectos, se evidencian algunos errores que se pueden cometer por algunos industriales y sus colaboradores, al imponer los modelos culturales, imposiciones disfrazadas de consensos, pero al que no participa se le hace a un lado a la espera de que se canse y renuncie o en el peor de los casos, obtenga su pensión sin aportar u obstaculizar. Por otro lado se ven los beneficios esperados o más bien solicitados por los empleados, solicitudes que muchas veces son inalcanzables para los empresarios, quienes acosados por absurdas decisiones de grupos de trabajadores, su terquedad y reacción negativa al cambio han tenido que cerrar muchas empresas.

Y en lo concerniente a los esfuerzos que hay que realizar, cualquiera de estas dos estrategias o su mezcla implican una serie de esfuerzos que muchas veces chocan con la cultura del grupo, esfuerzos que hacen que modelos tan buenos definitivamente no funcionen.



Mediante una recopilación de información de industrias y universidades sobre cómo se podría hacer una construcción sobre una cultura en el mantenimiento, se llegaron a estos puntos:

1. Plantear una buena visión de lo que quiere ser como grupo de apoyo bajo una cultura que lo haga sobresalir y a su vez lo haga feliz.
2. Realice un proyecto de aprendizaje, lo que quiere que se convierta en tradición y costumbre dentro del grupo para que sea realizado naturalmente por todo el personal, definiendo el lenguaje y los medios para ser difundido.
3. Abra espacios de comunicación fluidos, dinámicos y accesibles a todos preferiblemente donde oprime el contacto personal (evítelos correos electrónicos y la comunicación a distancia).
4. Genere un clima de confianza dentro de la empresa, sin amenazas, sin sobornos.
5. Promueva la creación de grupos, personas con afinidades culturales individuales y que busquen metas similares.
6. Cree mecanismos efectivos de motivación, recuerde que las motivaciones son individuales y todos aprecian de igual forma una palmadita de felicitación en la espalda incentivos.
7. Empoderar al personal, entregándoles muchas de las labores que los hagan partícipes de lo que se hace, genere responsabilidades individuales y de equipo.
8. Crear mecanismos de difusión, mostrar lo que espera, lo que se ha logrado, lo que falta y los errores que se han cometido para que todo el personal esté atento a lo que debe de hacer.
9. Montar indicadores para ver como evoluciona el modelo.
10. Reiniciar el ciclo, es decir regresar al punto uno si tiene diferencias entre lo que se desea y lo que se obtiene o si ya alcanzo lo que quería para buscar nuevas metas y nuevos logros.



2.5 Tipos de Mantenimiento

Actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir fallos, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, etc.

Los tipos de mantenimiento que se estudian son los siguientes:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Productivo Total

Mantenimiento correctivo

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconvenientes, que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, en el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. Asimismo, fallos no detectados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes entre otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación.



Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto.

Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema.

Las desventajas que presenta este sistema son:

- **Cambios innecesarios:** al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo prolongado.
- **Problemas iniciales de operación:** cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se montan y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.
- **Coste en inventarios:** el coste de inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- **Mano de obra:** se necesitara contar con mano de obra intensiva y especial para periodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo mas rápidamente posible.
- **Mantenimiento no efectuado:** si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los periodos de intervención y se produce una degeneración del servicio.

Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en:

- Definir que partes o elementos serán objeto de este mantenimiento.
- Establecer la vida útil de los mismos.
- Determinar los trabajos a realizar en cada caso.



- Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones.

Mantenimiento predictivo

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo de un sistema, que permite una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo.

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que se presenten el buen funcionamiento del equipo analizado.

Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento nos permite contar con un registro de la historia de las características en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance TPM)

Este sistema está basado en la concepción japonesa “Mantenimiento al primer nivel”, en la que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento como: reglaje, inspección, sustitución de pequeñas cosas, etc., facilitando al jefe de mantenimiento la información necesaria para que luego las otras tareas se puedan hacer mejor y con mayor conocimiento de causa.

- ✓ **Mantenimiento:** Para mantener siempre las instalaciones en buen estado
- ✓ **Productivo:** Está enfocado a aumentar la productividad
- ✓ **Total:** Implica a la totalidad del personal, (no solo al servicio de mantenimiento)



Este sistema coloca todos los integrantes de la organización en la tarea de ejecutar un programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los bienes.

Centra el programa en el factor humano de toda compañía, para lo cual se asignan tareas de mantenimiento que deben ser realizadas en pequeños grupos, mediante una dirección motivadora.

2.6 Siete preguntas del MCC

La metodología MCC utiliza un enfoque de sistemas. En lugar de tratar a las máquinas como objetos independientes, el MCC analiza el sistema como una unidad de funcionamiento con elementos que interactúan entre sí. El paso preliminar es el proceso de identificación de los sistemas, o agrupamiento, necesarios para asegurar que se entiende por completo la pérdida de la función.

Virtualmente cualquier planta, instalaciones, sistemas, línea de proceso o activo físico se puede definir de una manera en donde se pueden identificar los datos de entrada, datos de salida, recursos y restricciones. Se puede utilizar un enfoque de arriba hacia abajo o viceversa para construir los sistemas ligados. De esta manera los procesos complejos se pueden desglosar en sub-sistemas interconectados.

De la misma forma, los activos físicos se pueden incorporar dentro de un sistema. El límite por lo regular se basa en un proceso donde un dato de entrada se ingresa lo que da como resultado en donde un dato de salida. Los rubros opcionales que se utilizan en el proceso pueden ser recursos consumidos en el proceso y restricciones o condiciones relacionados con el proceso.

Se pueden identificar fuentes de información múltiples para ayudar a construir límites del sistema. Las fuentes incluyen diagramas de Bloque Funcionales, DTIs, Manuales de Operación del Sistema y el Equipo, Procedimientos o Manuales de Operación y Diagramas de cómo se Construyeron.



Pregunta #1 ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño asociados con este contexto de operación?

La identidad y funciones del sistema de documentar son un prerequisite crítico para identificar las fallas, modos de falla y poder desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas. La función de un objeto se puede cuantificar de varias formas como cantidad del material en el objeto o por sus parámetros de desempeño.

Las funciones se clasifican en dos:

Primarios: Son los motivo(s) básicos por las que adquirió e instalo el sistema.

Secundarios: Por lo regular son menos obvias, pero aun así puede tener consecuencias de falla muy serias y se deben comprender.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

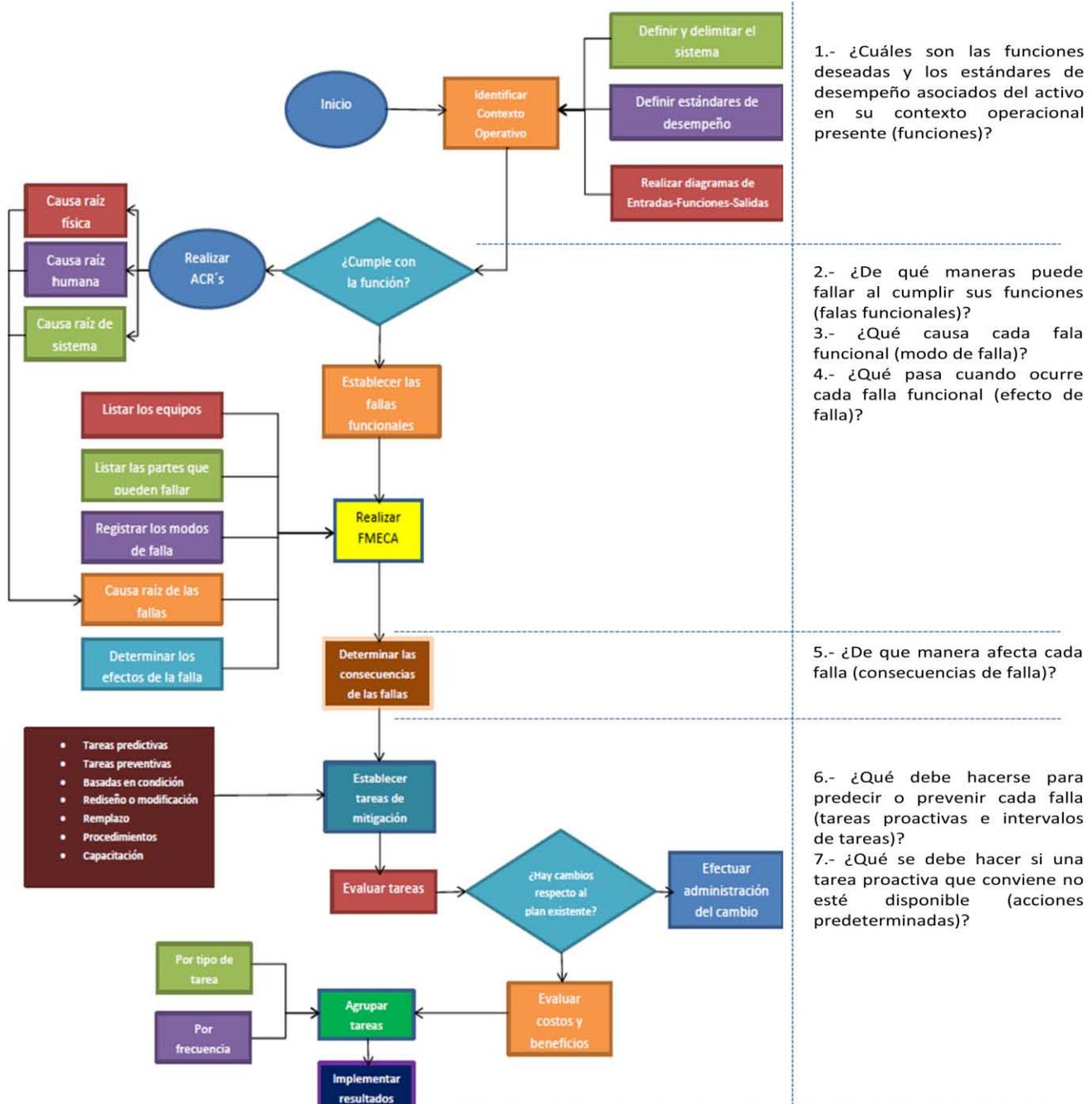


Figura 2.2 Diagrama de flujo de las 7 preguntas del MMC

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Inspección Almacenamiento y Suministro. Digrama.



Enunciados de Función

El propósito es el describir las funciones y un enunciado de la función bien redactado tiene ciertas características. La primera característica es que comienza con una frase que utiliza un verbo activo, es decir en infinitivo (terminar en ar, er, ir, etc.) como “proporcionar”, “mantener”, o “contener”. La segunda característica es que el verbo tiene un objeto y un nivel cuantificable de desempeño. Los enunciados del sistema o equipo.

Enunciados de Función Mal Redactados	Enunciados de Función Bien Redactados
Proporciona válvulas de descarga de seguridad de 1250 psi.	Proporcionar la descarga a la atmosfera cuando el gas de proceso sea mayor a 1250 psia (± 25 psia).
Proporciona una bomba centrifuga de 750 GPM en el lado descarga del cabezal de 14.	Mantener un flujo de salida de 750 GPM (± 10 GPM) del cabezal 14.
Proporciona un radiador de enfriamiento de aire para el enfriado de la máquina.	Mantener una temperatura de operación del motor a 180 °F (+15°F, -25°F)

Tabla 2.1. Enunciados en Función

Fuente: PEMEX. 2012. *Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Tabla.*

Pregunta #2 ¿De qué formas el activo no cumple con su función?

Cuando existe una falla que es la interrupción del funcionamiento o desempeño de lo que se solicita o espera, o la incapacidad de cumplir con un estándar.

Hay dos subconjuntos de Falla importantes:

- Falla Oculta: falla que no es evidente para el usuario o el operador de un sistema o maquina, mientras no existan condiciones normales.



- Falla Potencial: condición de degradación del material que indica una falla futura.

Adicionalmente, para cada tipo de fallas, existe la posibilidad de tener ya sea una falla total o parcial. La falla total por lo regular indica que ha fallado una o más funciones primarias. La falla parcial por lo regular indica que ha fallado una función secundaria, o una función primaria parcial.

La detección de fallas depende de tener la capacidad de detectar y contar con el estándar que define la falla. La capacidad de detectar la falla puede simplemente significar estar en el lugar correcto a la hora correcta para ver la falla. Más a menudo, en sistemas complejos, significa contar con el equipo de prueba o instrumentos necesaria para medir la condición del material. El personal de mantenimiento a menudo identifica la falla oculta o potencial.

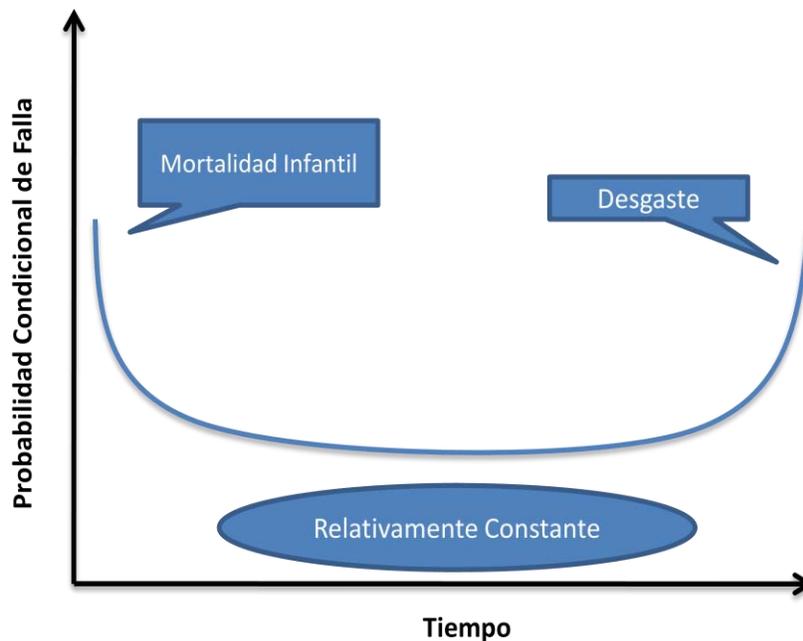
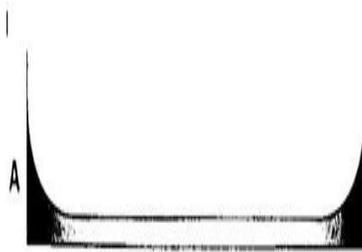


Figura 2.3. Probabilidad de Falla

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Grafica.

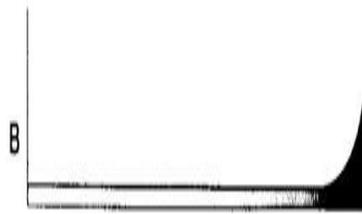


Todos los sistemas y equipo muestran una o más características de la falla:

Falla en la Vida temprana/Mortalidad Infantil.

Falla Aleatoria

Degaste/ Falla en la Vida Tardía.



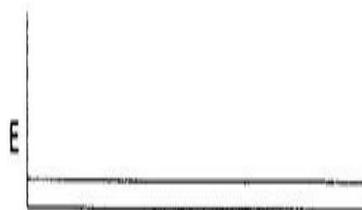
En algún momento se creyó que todas las maquinas presentaban todas las características de falla y que seguían la curva de tina de baño. La curva de falla que representa a continuación identifican las diferentes características que los sistemas y equipos pueden llegar a presentar.



A.-La curva de la bañera: mortalidad infantil, seguida primero por una probabilidad de falla en aumento de forma constante o gradual, y después es seguida por una región pronunciada de desgaste.



B.-Probabilidad de falla en aumento de forma constante o gradual, y después por una región "desgaste" pronunciado.



C.-Probabilidad de falla en aumento de forma constante o gradual, pero no se identifica una antigüedad relacionada con el desgaste.

D.-Probabilidad baja de falla cuando el objeto es Nuevo o se acaba de restaurar, seguido por un aumento rápido y un nivel constante.

E.-Probabilidad constante de falla en todas las antigüedades. (Distribución de supervivencia exponencial.)



F.-Mortalidad infantil, seguida por una probabilidad de falla que aumenta de forma constante o gradualmente.



Pregunta #3 ¿Qué provoca cada una de las fallas funcionales?

Las fallas se han identificado como la interrupción del funcionamiento. Por cada falla hay por lo menos un modo de falla y por lo regular hay modos de falla múltiple. En algunos casos hay un modo de falla dominante (un modo de falla que representa la mayoría de las fallas).

En el análisis de modo de falla deben considerarse tanto los modos de falla conocidos como los modos de falla potenciales. Los modos de falla potenciales son aquellos eventos que todavía no se presentan, pero con base en un entendimiento del diseño y operación, se ha determinado que se puede presentar falla.

Al identificar el Modo de Falla primero se identifican los componentes o enunciar la falla. Después, utilizar la frase “debido a” y enuncie la forma en que falló. Esto ayuda a enfocar o aclarar que ha fallado y como.

Visión Retrospectiva – Análisis de Falla de la Causa Raíz (RCFA)

Es el proceso de explorar, muy a detalle, todas las causas posibles relacionadas con la falla de la máquina. Las causas de la falla están agrupadas en categorías generales para su análisis posterior. Las causas se pueden relacionar con maquinaria, gente, métodos, materiales, políticas, ambiente y medición. Se debe documentar muy bien la falla con la mayor cantidad posible de información sobre el que, cuando, donde y con qué frecuencia. Una gráfica, tal como un hueso de pescado, a menudo se utiliza para documentar el proceso de análisis.

Visión Progresiva – Análisis del Árbol de Falla y Modos y Efectos de la Falla

El análisis del árbol de falla es un análisis de falla deductivo que se enfoca en un evento indeseable en particular que proporciona un método para determinar las causas de este evento. El evento indeseable consta de un evento en la parte superior en el diagrama del árbol de falla que se construye para dicho sistema, y



por lo general es una falla completa o catastrófica. Con cuidado seleccione el evento superior ya que es muy importante para que el análisis tenga éxito.

Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA).

El FMEA es una tabulación de los objetos del equipo de una instalación, sus modos de falla potenciales y los efectos de estas fallas en el equipo o instalaciones. El modo de falla es simplemente una descripción de lo que provocó que fallara el equipo. El efecto es un accidente, consecuencia o respuesta del sistema ante la falla.

El FMEA identifica los modos de falla únicos que pueden provocar o contribuir a la causa de un accidente. El FMEA no es útil en la identificación de combinación de fallas que puedan llevar los accidentes. El FMEA se puede utilizar junto con otras técnicas de identificación de peligros tales como el HAZOP para investigaciones especiales tales como sistemas críticos o sistemas de instrumentación complejos.

El propósito de un FMEA es identificar los modos de falla del equipo y el efecto de cada uno de los modos de falla en el sistema de proceso.

Pregunta #4 ¿Qué pasa cuando se presenta la falla?

Efecto de la Falla

Los efectos y consecuencias de la falla están muy relacionados (en algunas ocasiones los términos se utilizan de forma intercambiable). Ayudan a pensar en los efectos como un resultado directo del modo de falla (impacto en el equipo) y en las consecuencias como el resultado de un factor de seguridad/ambiental o económico (impacto en la planta).

Falla Oculta

La falla oculta, es una falla que no es evidente para los operadores o para otras personas en el área, y es de preocupación especial. Esta falla nunca tiene una consecuencia directa (si tuviese una consecuencia directa no sería oculta). Sin embargo, cuando se presenta un Segundo evento que necesita la función, entonces la falla oculta se vuelve evidente.



La falla oculta merece una preocupación especial porque a menudo se relaciona con la seguridad, sistemas de alarma o controles o de indicación (aunque seguramente no se limita a esas funciones). Las fallas ocultas son el efecto clave que se debe identificar en el proceso de análisis.

Pregunta #5 ¿En qué formas cada una de las fallas importa?

Al evaluar las consecuencias de la falla, primero analice las consecuencias de Seguridad, Salud y Ambiente. Afortunadamente para el personal de mantenimiento y operación, la identificación de los riesgos potenciales de la falla en términos de Seguridad, Salud y Ambiente se deben identificar en la fase de diseño y el diseño final debe incorporar las características que reduzcan la probabilidad de que se presente dicha falla.

Desafortunadamente, el diseño puede incluir características que requieran una acción de “mantenimiento” para reducir la probabilidad de que falle. Y a menudo las características pueden tener un modo de falla oculto.

Hay dos rubros que normalmente son dos indicadores clave de riesgo potencial para la Seguridad, Salud y ambiente del personal:

- Energía almacenada
- Material Tóxico

Para esto se basan en dos tipos de análisis; el análisis de peligros inicia con Análisis Preliminar de Peligros (PHA). El PHA identifica, evalúa y prioriza los peligros. Con esta lista de peligros, se pueden identificar las restricciones de diseño de seguridad de alto nivel.

Con estas restricciones en mente, se lleva al cabo el Análisis de Peligros del Sistema (SHA). El SHA examina las interfaces del sub-sistema para evaluar la seguridad del sistema al trabajar como un todo. Las restricciones de diseño que se



genera con el PHA se redefinen y capacitan para los componentes individuales (incluyendo al operador del sistema).

Consecuencias Económicas

Después de identificar los riesgos de la falla en relación con la Seguridad, Ambiente y Salud, se identifican todos los demás riesgos de fallas mediante el uso de términos económicos. Esta identificación no es un proceso de esto o aquello. Es decir, es altamente probable que los modos de falla relacionados con la Seguridad, Ambiente y Salud también tengan una consecuencia económica.

Los factores económicos que se deben considerar en el proceso del análisis de consecuencias MMC incluyen:

- *Costos por la Perdida de Funciones*

Evaluar el costo de perder la función incluye el paro de la producción, cantidad de la producción y calidad de la producción. La pérdida de función podría resultar en la incapacidad de cumplir con las expectativas del cliente con la pérdida asociada del ingreso actual y futura. La reducción en la calidad de producción dará como resultado en los costos de re- trabajo o perdidas completas del producto.

Cada sistema dentro de una organización industrial o servicios tiene una función con cierta relación para lograr el éxito de esa organización. Se debe enfocar en el costo para la organización cuando se pierde la función.

- *Costo de Reparación*

Considere las partes, material y mano de obra necesaria para restaurar la función. Adicionalmente considere los costos de las primas para los contratistas externos y equipos ya sea para realizar o facilitar la reparación.



- *Litigio o Sanciones*

¿La organización violara un contrato o violará una ley u ordenara si se presenta la falla? Estos acontecimientos pueden dar como resultado en una sanción financiera. En casos extremos puede haber sanciones penales.

Cuantificación de las Consecuencias de la Falla

Es similar a la clasificación de la falla, es posible proporcionar una clasificación de la cuantificación de las consecuencias de la falla.



Clasificación		Consecuencia (Gravedad) Comentarios
10	Peligro	Problema potencial de Seguridad, Salud o Ambiente. La falla se presentara sin advertencia.
9	Peligro	Problema potencial de Seguridad, Salud o Ambiente. La falla se presentara con advertencia.
8	Muy Alto	Una interrupción muy alta en la función de la instalación. Se pierde toda la producción. Retraso significativo en la restauración de la función.
7	Alto	Una interrupción muy alta e la función de la instalación. Se pierde parte de la producción. Retraso significativo en la restauración de la función.
6	Moderado a Alto	Interrupción moderada de la función de la instalación. Se pierde parte de la producción. Hay un retraso moderado en la restauración de la función.
5	Moderado	Interrupción moderada de la función de instalación. 100% de la producción es posible que se necesite re trabajar o se retrasa el proceso.
4	Bajo a Moderado	Interrupción moderada de la función de instalación. Parte de la producción es posible que se necesite re trabajar o se retrasa el proceso.
3	Bajo	Interrupción menor de la función de instalación. Es posible que la reparación de la falla sea más prolongada, pero no retrasa el proceso.
2	Muy Bajo	Interrupción menor a la función de instalación. La reparación de la falla se puede hacer durante una llamada telefónica para solucionar el problema.
1	Ninguno	No hay motivo para esperar que la falla tenga algún efecto sobre la Seguridad, Salud, Ambiente o Producción.

Tabla 2.2. Categorías de la Consecuencia (o Gravedad).

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Tabla.



Pregunta #6 ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?

Selección de las Tareas de Mantenimiento

Todas las acciones de mantenimiento recaen dentro de una de las dos categorías. Acciones de mantenimiento con base en tiempo o ciclos. Una tercera estrategia de mantenimiento se puede describir de mejor forma como una acción de mantenimiento. Esta es la estrategia que permite a las maquinas correr hasta la falla.

Con base en Tiempo o Ciclos

- Las tareas tradicionales tales como la lubricación, desecho aquellas acciones tales como el reemplazo de un filtro, y la restauración de objetos desgastados.
- Prueba e Inspección – se hace para encontrar las fallas ocultas.
- Monitoreo de Condiciones – se realiza para identificar y cuantificar la condición del material.

Con base en condiciones

- Acciones de mantenimiento de repaso que se llevan al cabo como resultado del Monitoreo de Condiciones o Pruebas e Inspección.

Monitoreo de Condiciones

En su forma más sencilla, el Monitoreo de Condiciones, también conocido como Mantenimiento Predictivo, es el monitoreo continuo o periódico y el diagnóstico del equipo y componentes para poder predecir las fallas. El Mantenimiento con base en tiempo o ciclos puede introducir problemas dentro de máquinas por decirlo así saludables, o en casos extremos, dar como resultado en una revisión o reemplazo prematuro.



El Monitoreo de Condiciones es un subconjunto del mantenimiento con base en tiempos o ciclos y está orientado hacia la predicción. Siempre se prefieren las técnicas de inspección que son no intrusivas/no destructivas, con el fin de evitar la introducción de problemas.

El monitoreo de condiciones por lo general involucra dispositivos de recopilación de datos, análisis de datos y base de datos computacionales para almacenar y crear tendencias de la información.

Probabilidad de Detección

La detección de la falla es más que observar el no-desempeño. Claramente el uso del monitoreo de condiciones debe proporcionar cierta visión sobre las condiciones del material en degradación. De la misma forma, algunas condiciones de falla no serán de inmediato aparentes.

Clasificación		Probabilidad de Detección
10	Muy Baja	Falla Oculta: falla que no es detectable sin una prueba o inspección especial. El inicio de la falla no se puede detectar.
9	Baja	No es posible identificar la falla a través de una actividad rutinaria. El inicio de la falla no se puede identificar.
8	Baja	Es probable que la falla se pueda identificar a través de una actividad rutinaria. El inicio de la falla no se puede detectar
7	Moderada	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de por lo menos 2 días.
6	Moderada	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 2 a 6 días.
5	Moderada	El inicio de la falla se detecta con una anticipación de 7



		a 14 días.
4	Alta	El inicio de la falla es detectable con una anticipación de 15 a 29 días.
3	Alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 1 a 3 meses.
2	Muy Alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 3 a 6 meses.
1	Muy Alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación mayor a 6 meses.

Tabla 2.3. Categorías de la Probabilidad de Detección

Fuente: PEMEX. 2012. Guía técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Tabla.

Evaluación de la Efectividad de las Tareas de Mantenimiento

Una herramienta útil para evaluar las tareas de mantenimiento potenciales es el Número de Prioridad de Riesgo (RPN, por sus siglas en ingles). El RPN es el producto matemático de las tablas de clasificación presentadas anteriormente.

- Consecuencias (Gravedad) de la Falla
- Probabilidad de Detección

Al estimar el RPN antes de realizar el MCC y después al re calcular el RPN después del MCC, se podrá cuantificar su expectativa de cambio. Se necesitara determinar si la tarea es Aplicable y Efectiva y se necesitara evaluar la efectividad general de los cambios.



Aplicable y Efectivo

Las tareas de mantenimiento aplicables son aquellas actividades que reducirán la probabilidad de falla, identificarán el inicio de la falla, o descubrirán la falla oculta. La selección de las tareas aplicables se basa en el mecanismo de falla.

Las tareas de mantenimiento efectivas se caracterizan por realizar su función definida con un alto grado de éxito para un costo específico. Una tarea de mantenimiento primero debe ser aplicable y después efectiva. El beneficio de realizar la tarea se debe evaluar contra el costo.

Pregunta #7 ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea de mantenimiento adecuada?

Correr hasta la Falla o Rediseñar

El correr hasta la falla se ha planteado como un posible resultado del proceso del análisis MCC. Esta estrategia se acepta con base en un costo bajo, para equipo que es fácil de reparar y que no tiene una consecuencia grave si falla. En algunas ocasiones el correr hasta la falla es la estrategia de mantenimiento más efectiva en cuanto a costos, aun cuando haya consecuencias de la falla.

Si la estrategia de mantenimiento que se ha desarrollado no proporciona el nivel requerido de confiabilidad funcional, entonces es posible que se necesite rediseñar el sistema. Debido a que la funcionalidad del sistema por lo regular es la meta principal, entonces el diseño del sistema puede ser la respuesta.

En este caso la confiabilidad del componente o del equipo puede permanecer sin cambios, pero se mejora la confiabilidad del sistema en general.



2.7 Cálculo de la Confiabilidad en el Mantenimiento

Para tener una práctica más completa, se hace necesario analizar el índice de confiabilidad junto con la disponibilidad, la mantenibilidad, etc. Aun así, la metodología para llevar a cabo el cálculo de este índice no aparece con claridad en los textos especializados o se remiten al empeño de la distribución de Weibull, el cual es complejo por el cálculo de sus parámetros-; que estos solo se limitan al cálculo de variables como el MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio Para Reparación) como un indicativo de la confiabilidad y ninguna referencia directa al cálculo de ésta.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un método para el cálculo de este índice, con base en el MTBF y MTTR dependiendo el sistema.

Es de aclarar que el método de cálculo de la confiabilidad que se presenta es un método discreto, en contraposición al método que emplea la distribución de Weibull, que es una distribución continua.

El método se basa en la ecuación que presenta el Ingeniero Lourival Augusto Tavares para el cálculo de la confiabilidad.

Con respecto a esta ecuación, el ingeniero Augusto Tavares dice lo siguiente: “La fórmula indicada es la más sencilla de utilizar y el valor, aun con un pequeño error (que no llega a perjudicar el análisis y la toma de decisiones) puede ser depurado cuando se utiliza los cálculos estadísticos, como los indicados en la distribución de Weibull.

Los Datos Base

Para que la confiabilidad calculada tenga una alta credibilidad, los datos con los cuales se efectúa el cálculo deben ser igualmente creíbles; y estos datos no son



más que los registros de los paros de los activos. Es por ello que el registro de los paros debe hacerse de la manera más imparcial y objetiva posible.

El registro de los paros implica: codificación y clasificación; esta última se puede subdividir en propios, ajenos y programados.

Los paros propios son aquellos imputables al equipo.

Los paros ajenos son paros no imputables al equipo pero que causan paradas del mismo. Por ejemplo, una falta de energía externa.

Los paros programados son aquellos que están establecidos en el programa de mantenimiento anual.

Dentro de la división anterior, es necesario clasificarlos por especialidad: Mantenimiento y Producción, ya que, si se desea calcular la confiabilidad por mantenimiento únicamente, por ejemplo, solo se deben tener en cuenta los paros imputables a este.

La codificación permite establecer rápidamente la falla que se imputara al activo sin ambigüedades.

Ecuación Básica

La ecuación para el cálculo se basa en la expresión desarrollada por el ingeniero Lorival Tavares, en la cual la confiabilidad está en función del MTBF y MTTR

$$R = f(MTBF, MTTR)$$

Donde:

R: Confiabilidad

MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas

MTTR: Tiempo Medio Para Reparación



La cual se relacionan de esta manera:

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Como se observa en la ecuación, dicha expresión no es más que la definición de probabilidad según Laplace: Número de aciertos (MTBF= tiempo total que funciona el activo sin fallar) sobre el número total de eventos (tiempo total que funciona el activo más el tiempo que estuvo parado para reparaciones). Esta es la ecuación básica para el cálculo de la confiabilidad.

Ahora bien, ¿Cómo se determinan el MTBF y el MTTR?

Las ecuaciones siguientes son las siguientes.

$$MTBF = \frac{h_T}{p} \times 100$$

$$MTBF = \frac{h_P}{p} \times 100$$

Dónde:

h_T : Horas trabajadas o de marcha durante el periodo de evaluación.

P: Número de paros durante el periodo de evaluación

h_p : Horas de paro durante el periodo de evaluación.

Es aquí donde se hace importante tener, de manera clara, la clasificación de los paros por mantenimiento o producción, pues si se quiere calcular la confiabilidad por mantenimiento, por ejemplo, las horas de paro y el número de paros deben ser los imputados a mantenimiento exclusivamente.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS CAUSA RAÍZ



3.1 Definición

Una de las actividades de más importancia de la Ingeniería de Confiabilidad es el ACR (Análisis Causa Raíz). Las fallas nunca se planean y sorprenden a la gente de mantenimiento y producción, porque casi siempre originan una pérdida en la producción.

Hallar el problema subyacente, o la raíz de la causa de las fallas provee a la empresa una solución al problema, y elimina el enigma del porque fallan los equipos. Una vez que se han identificado las causas raíz, se puede ejecutar su plan correctivo.

El ACR es un método de solución de problemas, para cualquier tipo de fallas, que utiliza la lógica sistémica y el árbol de causa raíz de falla, usando la deducción y prueba de los hechos que conducen a las causas reales. Esta técnica de análisis permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

El objetivo del ACR es determinar el origen de la falla, la frecuencia con que aparece y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez tomada las acciones correctivas que sugiere el análisis.

Existen tres tipos de causas que deben ser identificados durante el desarrollo del ACR.

Causa Raíz Física: Es la causa tangible de por qué está ocurriendo una falla. Siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de tratar y siempre requieren verificación.

Causa Raíz Humana: Es producto de errores humanos motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nacen por la ausencia de decisiones acertadas,



pueden ser por convicción u omisión. Nunca utilizan nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa.

Causa Raíz Latente: Son producto de la deficiencia de los sistemas de información. Proviene de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que ocasionan nuevas fallas.

3.1.1 Análisis Causa Raíz: Árbol Lógico

La mayoría de los analistas de fallas han escuchado el término: Análisis Causa Raíz y seguramente cada quien tiene una interpretación diferente de su significado. Esta es la razón por la cual en muchos casos se tiene una forma poco efectiva de usarlo, y hay comunicación deficiente o nula entre quienes lo usan. Si está usando diversas formas de ACR, entonces, al comparar los resultados no se estará comparando “manzanas con manzanas”.

Algunos aplican esfuerzos indisciplinados como el método de “prueba y error” como su perspectiva de ACR. Esto significa que se percatan de un problema, y se va directo a lo que es la causa más obvia, ¡PARA LOS ANALISTAS!

Usando la perspectiva del “producto terminado” no se valida ninguna de las suposiciones, simplemente se adopta una y se gasta dinero en un arreglo esperado que funcione. La experiencia ha demostrado que esta forma de hacerlo es cara e inefectiva. Aplicando un sistema disciplinado tipo Mantenimiento Productivo Total (TPM) de ACR, un ÁRBOL Lógico permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que conducen a descubrir el evento indeseable y cuál fue la causa raíz del problema.

En este procedimiento, se debe identificar claramente el evento indeseable y todos sus detalles asociados mediante hechos que los respalden. Los hechos deben



respaldarse con observación directa, documentación y algunos conceptos científicos. ¡No pueden ser rumores ni suposiciones!

Un ejemplo para desarrollar este tipo de análisis pondremos un caos que comúnmente sucede en una empresa “la bomba”. En el caso que se presenta, la mayoría de las personas insistirán en comenzar con la falla del rodamiento. Sin embargo, cuando el evento se presentó, ¿por qué llamó la atención? No llamó la atención el rodamiento fallado, si no el hecho de que la bomba dejó de proveer el fluido. Por lo tanto el evento final que llamó la atención fue la falla de la bomba. Una razón o modo de que la bomba falle fue debido a la falla del rodamiento. Esto resulta evidente cuando se ve el rodamiento dañado (evidencia física).



Fig. 3.1 Parte alta del Árbol de Lógica: Evento no deseado
Fuente: Espinosa, F. 2005. Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas. Pág. 6. Diagrama

La pregunta más común que se hace ante esto es ¿Cómo puede fallar un rodamiento? La hipótesis que se dan pueden ser: erosión, corrosión, fatiga, lubricación o sobrecarga. ¿Cómo se puede verificar cuál de ellas es la verdadera causa? Simplemente se puede solicitar que un laboratorio metalúrgico y un experto hagan su análisis del rodamiento.

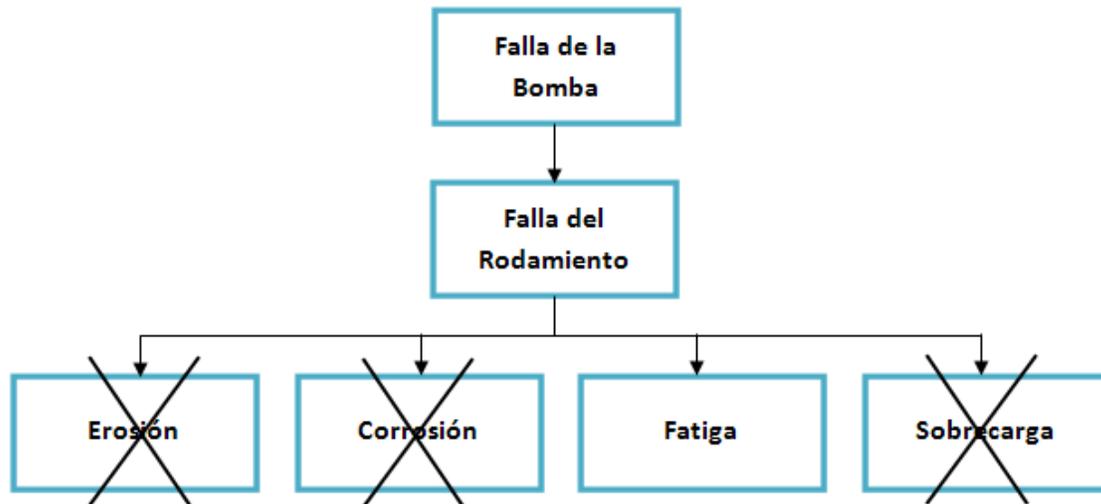


Fig. 3.2 Causa de las fallas de rodamiento

Fuente: Espinosa, F. 2005. *Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas*. Pág. 6. Diagrama

Se puede ver que a medida que se desarrollan nuevas series de hipótesis, se irá probando lo que se dice a cada nivel del proceso. De esta forma, cuando se llega a conclusiones en cada etapa, esas conclusiones eran las correctas, porque no se están haciendo suposiciones, sino están basando en hechos.

Así que para algunos, el ACR es pedir que un experto local se le proporcione una solución al problema, mientras para otros, representa el reunirse y discutir para llegar a una conclusión; para otros más, ACR representa usar un proceso disciplinado de pensamiento hasta llegar a la verdadera causa original del problema.

- 1) Cuando el “experto” proporciona una solución, se confía, se hace un gasto para aplicar la solución que propuso, y se ve si funciona.
- 2) Cuando se forman grupos y participan en tormentas de ideas, se estará llegando a conclusiones como resultado del consenso de los participantes.
- 3) Cuando los grupos de trabajo usan un proceso disciplinado que requiere que las hipótesis sean desarrolladas para ver exactamente por



quéocurrieron las causas, y luego requiere también una verificación para asegurar si es o no cierto, entonces se está usando Calidad en el Proceso, en vez de basarse en suposiciones y estar expuestos a la ignorancia.

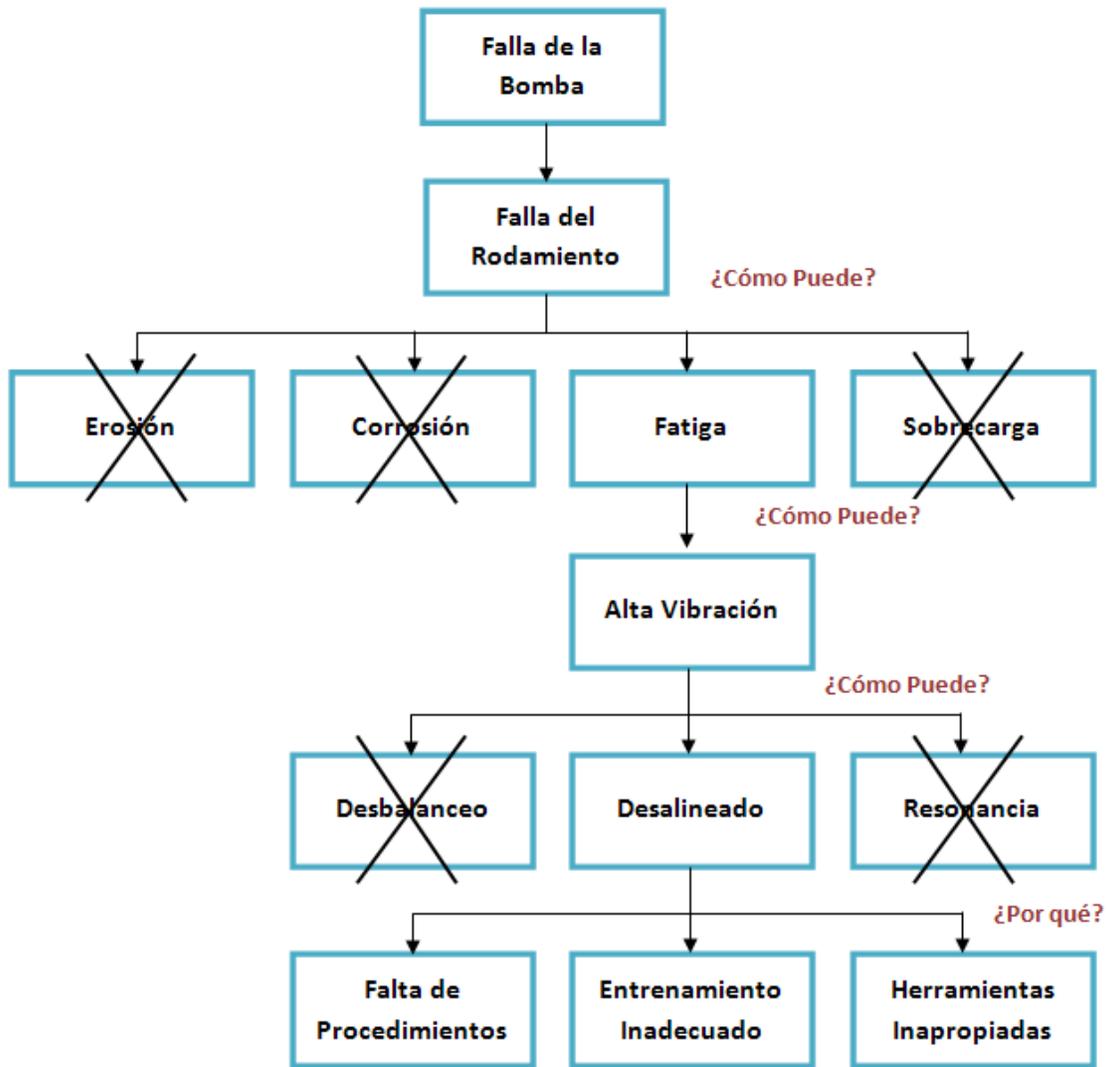


Fig. 3.3 Causa de una alta vibración

Fuente: Espinosa, F. 2005. Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas. Pág. 8. Diagrama



Al verificar los registros y se confirma que había demasiada vibración. ¿Qué puede estar causando la vibración? Hipótesis: Puede ser por desbalanceo, resonancia o desalineamiento. Se le pide al mecánico que lo alinee la última vez que describa y muestre el procedimiento de alineación usado. Al preguntar, se enteran que él no ha sido enterado al respecto, sus herramientas no están en buen estado, y además no existe un procedimiento a seguir. Ahora se está en conocimiento de la Real Causa raíz, así que se pueden desarrollar las soluciones.

Los estilos indisciplinados de ACR son atractivos para las organizaciones por la rapidez de sus resultados, no siempre esos resultados son de calidad. El verdadero ACR requiere que se tome el tiempo necesario para aprobar lo que se dice en vez de hacer el gasto o el esfuerzo y arriesgar a estar equivocados.

Los ingenieros proporcionan las piezas “¿CÓMO?” del rompecabezas y es a los “detectives del mantenimiento” a quienes les corresponde determinar “¿POR QUÉ?” se causó el problema. El resultado indeseable fue que la bomba dejó de efectuar su función asignada. Para lograr un “caso sólido” se deberá entender las relaciones causa-efecto que dieron como resultado tal evento. Esto implicara el uso de dispositivos y recursos científicos para probar o eliminar la hipótesis.

Hipótesis	Técnicas de Verificación
Erosión, Corrosión, Fatiga y Sobrecarga	Análisis Metalúrgico
Alta Vibración	Instrumentos y Vigilancia de la vibración
Desalineamiento	Tecnología de Alineación Laser

Tabla 3.1 Hipótesis y sus posibles variables

Fuente: Espinosa, F. 2005. *Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas*. Pág. 9. Tabla.



Estas relaciones aclaran el “¿Cómo?”, y el “¿POR QUÉ?” En este caso alguien dejó la bomba desalineada y tal acción o decisión causó una serie de causas y efectos para que finalmente la bomba fallase prematuramente. Como analista, si se va a profundidad en el proceso de pensamiento, se llegara a saber ¿Por qué la persona o personas tomaron tal decisión o acción? (Raíz Latente), se descubrirá exactamente la CAUSA RAÍZ y el porqué de las fallas físicas. Se podría ver que la gente con frecuencia deja el equipo desalineado porque:

- Nunca ha sido entrenados en prácticas apropiadas de alineamiento.
- No existe un procedimiento que defina el alineamiento y sus especificaciones como una práctica requerida.
- El sistema que se está utilizando está desgastado o descalibrado en algunos casos.

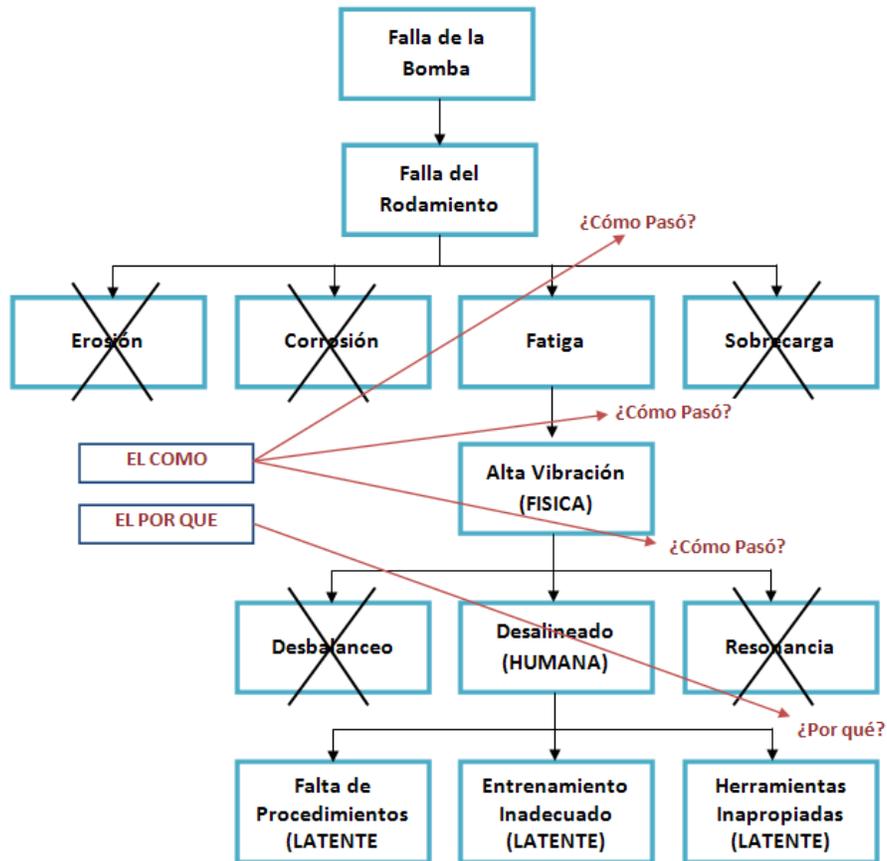


Fig.3.4 El cómo y porqué de las falla del activo

Fuente: Espinosa, F. 2005. Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas. Pág. 10. Diagrama

Si no se explora el “¿Por qué?”, es posible que el ¿Cómo? se vuelva a presentar una y otra vez”. En el caso anterior, ¿creen ustedes que el sólo cambiar el rodamiento eliminará el problema en forma permanente? Aun si se identifica una vibración excesiva y se toman medidas para identificarla más pronto la próxima vez antes que la bomba falle, ¿será la forma de eliminar el problema? Si se castiga al mecánico por no haber alineado correctamente, ¿se evitara la falla recurrente?



Como se puede ver, ninguna de esas soluciones que con frecuencia son implementadas, evitaría la recurrencia de la falla en la bomba. Solo con una acción efectiva sobre el ¿Por qué? Se podrá evitar que ocurra la falla nuevamente.

3.1.2. Análisis Causa Raíz: Árbol de Eventos

El término “evento se utiliza para identificar de forma genérica los sucesos que producen o tienen el potencial para producir este tipo de consecuencias. El ACR es una herramienta diseñada para ayudar a identificar no sólo qué y cómo se produjo un evento, sino también por qué sucedió. Solo cuando los investigadores son capaces de determinar por qué un suceso o la falla se produjeron van a ser capaces de especificar las medidas correctivas viables que eviten futuros eventos del tipo observado.

Entender por qué se produjo un evento es la clave para desarrollar recomendaciones eficaces. En general, los errores no ocurren por casualidad, pero se puede remontar a algunas de las causas bien definidas.

La identificación de las causas fundamentales es la clave para la prevención de recurrencias similares. Un beneficio adicional de un efectivo ACR es que, con el tiempo, las causas identificadas en la población de los sucesos pueden ser utilizadas para identificar las principales oportunidades de mejora.

Para su definición, se basa en lo siguiente:

1. **Las causas fundamentales son producto de las causas subyacentes.** El objetivo del investigador debe ser la identificación de causas subyacentes específicas. Cuanto más específico sea el investigador acerca del por qué se produjo un evento, más fácil será llegar a las recomendaciones que eviten recurrencia.
2. **Las causas fundamentales son las que razonablemente se puede identificar.** La investigación de incidentes debe estar apoyada en la razón



costo-beneficio. Un ACR estructurado ayuda a los analistas a sacar el máximo partido del tiempo que han invertido en la investigación

3. **Las causas fundamentales son aquellas sobre las que la gestión tienen el control.** Los analistas deben evitar el uso de las calificaciones generales de las causas, como un error del operador, fallas de equipos o factor externo. Esas causas no son lo suficientemente específicas como para permitir que la administración haga cambios que tengan efecto. La administración necesita saber exactamente por qué se produjo una falla antes de que puedan ser tomadas acciones para prevenir la recurrencia.
4. **Las causas fundamentales son aquellas para las que se pueden generar recomendaciones efectivas.** Las recomendaciones deben directamente abordar las causas fundamentales identificadas durante la investigación. Si los analistas llegan a recomendaciones vagas, entonces probablemente no ha encontrado unas causas bastantes básicas y específicas y necesitan gastar más esfuerzos en el proceso de análisis.

3.1.2 5 porqués para resolver problemas

Inventado en 1930 por Kiichiro Toyoda y se hizo popular en la década de 1970 por el Sistema de Producción Toyota. La estrategia de 5 porqués implica observar cualquier problema y preguntar: “¿Por qué?” y “¿Qué causó este problema?” Six Sigma, un sistema de gestión de calidad (SGC) utiliza “5 porqués” en la fase de análisis de la metodología Six Sigma: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar (DMAIC).

Al plantear la pregunta “¿Por qué?” se puede separar los síntomas de las causas de un problema. Esto es fundamental ya que los síntomas suelen enmascarar las causas de los problemas. Teniendo una efectiva clasificación de incidentes, basar las acciones en los síntomas la peor practica posible.



5 Porqués ofrece algunas ventajas reales en cualquier nivel de madurez:

- **Simplicidad.** Es fácil de usar y no requiere de las matemáticas o herramientas avanzadas.
- **Eficacia.** Sin duda ayuda a separar rápidamente los síntomas de las causas e identificar la causa raíz de un problema.
- **Exhaustividad.** Ayuda a determinar las relaciones entre las diversas causas del problema.
- **Flexibilidad.** Funciona bien solo y cuando se combina con otros para mejorar la calidad y las técnicas de resolución de problemas.
- **Atractivo.** Por su propia naturaleza, fomenta y produce el trabajo en equipo y equipos dentro y fuera de la organización.
- **De bajo costo.** Se trata de una guía, centrada en el ejercicio del equipo. No hay costos adicionales.

Como utilizar el 5 por qué

1. Reunir a un equipo de gente experta en el elemento de la configuración que está fallando. Incluir especialistas de áreas relacionadas y usuarios del sistema en análisis si fuese necesario.
2. En un tablero de presentación escribir de lo que sabe sobre el problema. Trate de documentar el problema y describir lo más completo posible. Perfeccionar la definición con el equipo. Llegar a un acuerdo sobre la definición del problema en cuestión.
3. Un miembro del equipo pregunta “¿Por qué?” el problema descrito puede ocurrir, y escribe la respuesta por debajo de la descripción del problema.
4. Si la respuesta dada a partir de 3, no se resuelve el problema, debe repetir los pasos 3 y 4 hasta que lo haga.



5. Si la respuestas dada a partir de 3, parece probable que para resolver el problema, asegúrese de que el equipo está de acuerdo e intentar una resolución con la respuesta.

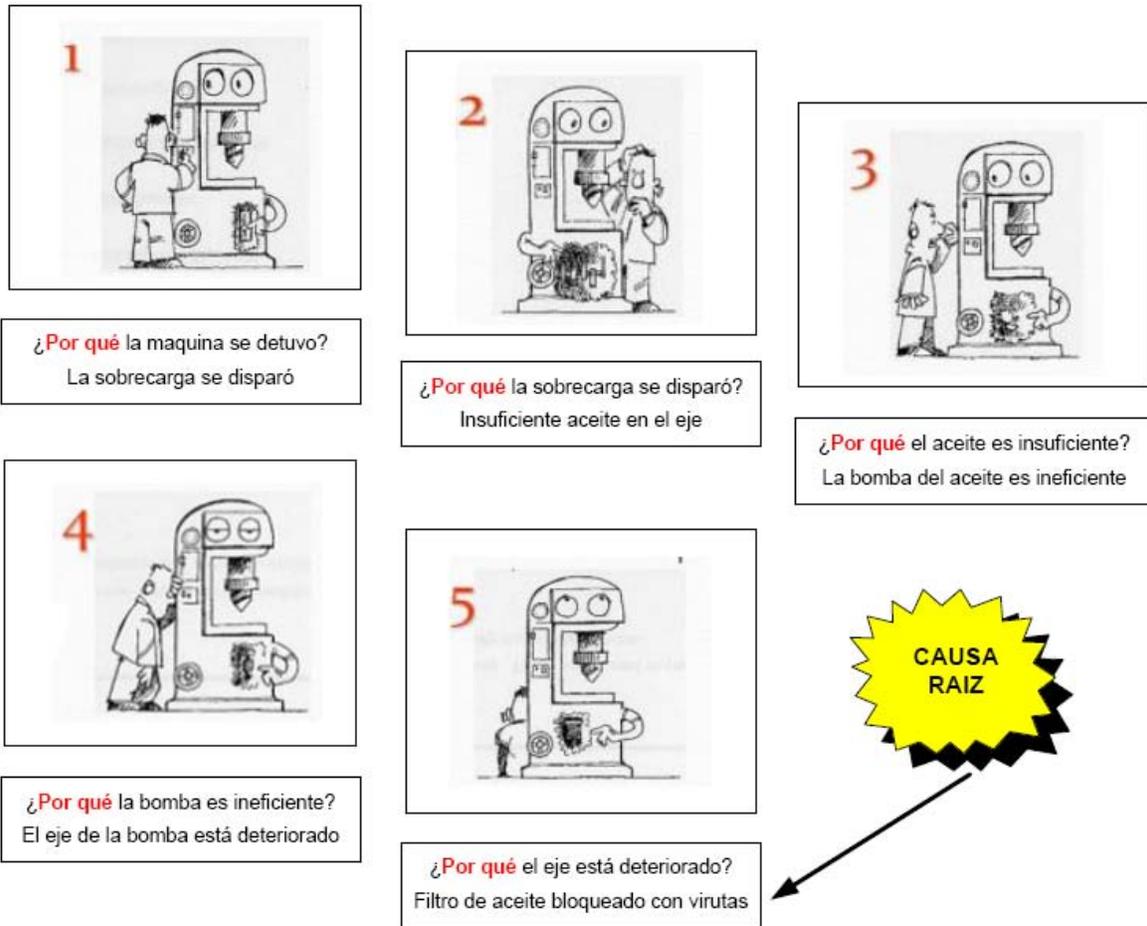


Fig. 3.5Ciclo de los 5 por qué

Fuente: Espinosa, F. 2005. Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas. Pág. 27. Figura.

El dominio de los 5 por qué

Es de suma importancia basar las causas raíz propuestas (respuesta al “por qué”) en la observación directa y no en la especulación o la deducción. Si no se puede ver u observar el “por qué” de primera mano, entonces sólo se esta adivinando. Uno de los problemas comunes de quienes utilizan los 5 porqués es caer en



conjeturas en su informe. Es evidente que la adivinación es contraproducente. Gente experimentada en la técnica de exigen la precisión preguntado los 5 porqués de nuevo para cada propuesta para la causa raíz – sólo que esta vez preguntando por qué el equipo piensa que la propuesta de la causa raíz es la correcta.

Para validar las potenciales causa raíz que está bajo su control, puede aplicar las validaciones siguientes a sus respuestas o causa raíz. Haga las siguientes preguntas para cada posible causa raíz identificada a todos los niveles de los 5 porqués:

- ¿Hay alguna prueba (algo que se puede medir u observar) para apoyar esta determinación de causa raíz?
- ¿Hay alguna historia o el conocimiento que indique que la posible causa raíz en la actualidad podría producir el problema?
- ¿Hay algo “por debajo” de la posible causa raíz que podría ser una más probable?
- ¿Hay algo que esta posible causa raíz requiere para producir el problema?
- ¿Hay alguna otra causa que pudiera producir el mismo problema?

Si se agrega a estas preguntas validadas y los resultados a la descripción del problema y las preguntas y respuestas, se producirá una indicación mucho más clara del problema y es posible identificar otras posibles soluciones. Si se diagrama este proceso, el resultado final será con un árbol de factores que conducen al problema.



3.2 Metodología ACRF

Para aplicar un Análisis Causa Raíz de Fallas (ACRF) se debe tener una definición clara del sistema, para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permite a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

La metodología para implementar un sistema ACRF está definida por un procedimiento de trabajo de seis pasos. Este proceso inicia preparando la investigación a realizar y termina con un reporte de los hallazgos.

Paso 1: Identificar los eventos más significativos

En este paso se recolecta la información, se define las fallas y se calculan las pérdidas debido a las fallas ocurridas. El objetivo es determinar cuáles son los eventos y fallas más importantes. Esta información se utiliza para analizar los costos de las fallas en una instalación y clasificar los problemas encontrados en orden de importancia económica.

Lo primero que se debe hacer es identificar los problemas específicos que dan el mejor retorno a la inversión. Hay dos tipos de problemas básicos: esporádicos y crónicos. Los problemas o eventos esporádicos son aquellas que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes y por la naturaleza del problema capturan la atención de todos; individualmente son los más costosos.

Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. A diferencia de los eventuales, los problemas crónicos tienen alta frecuencia de ocurrencia y no llevan mucho tiempo para corregirse. Cuando se consideran individualmente cada evento tiene un costo relativamente bajo. Sin embargo, cuando la frecuencia del evento se multiplica por los costos se



encuentra que la pérdida total es significativa. Los problemas crónicos ocurren dentro de las situaciones normales y presentan una gran oportunidad de mejoramiento.

Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas

Es la parte en la que se comienza a analizar un problema específico. La recolección de datos en un aparte integral del Análisis Causa Raíz. Sin la información de la falla, es virtualmente imposible descubrir las causas raíz.

La metodología de las 5 P's se ha desarrollado como un medio de ayudar al analista a recolectar los diferentes tipos de datos. Las 5 P's es una sigla para Partes, posición, Personas, Papel y Paradigmas.

- 1. Partes.** Equipo o componente que fallo. Rodamientos, tuberías, sellos, instrumentos, cables, motores, bombas, herramientas, etc.
- 2. Posiciones.** Ubicación física del equipo o componente en falla. Posición física de las maquinas, de los equipos, de los instrumentos, nivel de presión, personal en la hora de la ocurrencia, información ambiental, etc.
- 3. Personal.** Entrevistas al personal involucrado en la falla. Entrevistas al personal de mantenimiento, operaciones, administración, manejo, calidad, etc.
- 4. Papel.** Todos los reportes escritos relacionados con la falla. Reportes de mantenimiento. Políticas, planos, cuarto de control, procedimientos, especificaciones, entrenamientos, documentación del fabricante, histórico, etc.
- 5. Paradigmas.** Frases comunes que el personal de operaciones usa para evitar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejora. “No tenemos tiempo para un ACRF”, “Hemos tratado de resolverlo desde hace muchos años”, “Es un equipo viejo y por supuesto falla”, “Siempre ha funcionado así”, “Esto es imposible de resolver”, etc.



Paso 3: Ordenar el Análisis

Es la organización del equipo de trabajo y el procedimiento. La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que deben ser expertos y tener conocimientos relacionados directamente con los problemas a analizar. El ACRF debe ser dirigido por un facilitador, quien tenga entrenamiento específico en la metodología ACRF. El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro.

El equipo ACRF, por lo regular, debe incluir:

- El facilitador que dirige el proceso
- Un operador familiarizado con el proceso operativo
- Un técnico de mantenimiento (en equipos mecánicos, eléctricos, o de instrumentación)
- Un ingeniero (mecánico, eléctrico, químico, o de otra especialidad).

El facilitador NO debe estar familiarizado con el evento que se está analizando. Lo único en lo que el analista principal debe ser un experto es en facilitar el análisis. Además, debe ser un individuo TENAZ. Los facilitadores exitosos son siempre aquellos que facilitan el ACRF, sin ser dominantes y sin permitir el parar el proceso.

Paso 4: construir el Árbol de Fallas

El analista debe continuar con la construcción estructurada del árbol lógico de fallas con niveles de causa y efecto. El árbol lógico trata estrictamente con datos reales y utiliza la lógica deductiva para trabajar sistemáticamente a través del problema, para llegar a la causa raíz real.

Los pasos para construir un “árbol lógico de fallas” en la aplicación de un proceso ACRF, son:

- Describir el evento de falla
- Describir los modos de falla
- Hacer una lista de las causas potenciales de falla y verificarlas
- Determinar y verificar las causas raíz físicas
- Determinar y verificar las causas raíz humanas
- Determinar y verificar las causas raíz del sistema (latentes).

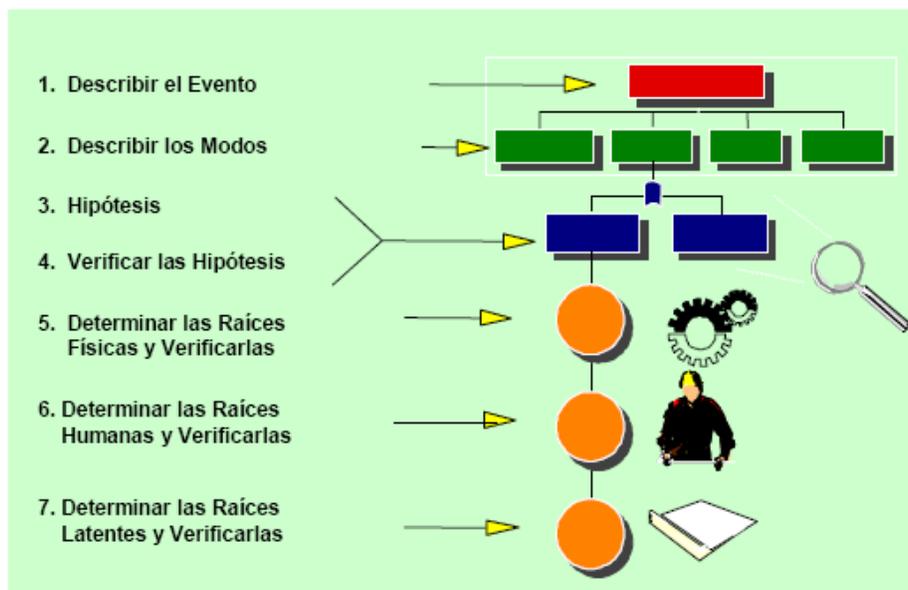


Fig. 3.6. Árbol Lógico de Fallas

Fuente: Espinosa, F. 2005. *Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas*. Pág. 27. Diagrama

Los dos primeros niveles del árbol lógico consideran todos los “hechos conocidos” del problema a analizar. Estos dos niveles conforman la Caja Superior y representan la definición de la falla. El primer nivel es la declaración del evento, la razón por la que se está analizando el problema. El segundo nivel representa los modos del problema. Se pueden analizar los modos de falla como las causas aparentes del evento. En el tercer nivel se produce a realizar hipótesis de “como” pudo haber ocurrido. La clave es ampliar e incluir todo lo posible en las hipótesis. La idea es agrupar las razones (o causas) en categorías generales. En esencia, el árbol lógico debe ir de lo general a lo específico, aplicar la lógica deductiva.



El siguiente paso, el más crítico, es la verificación de las hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis para ver cuál es verdadera y cuáles no lo son. La verificación de las hipótesis da la confianza necesaria para llegar a las causas raíz correctas. Este proceso de lógica deductiva y verificación se reitera una y otra vez hasta que todas las raíces se determinan acertadamente.

Paso 5: Comunicar los resultados y las recomendaciones

El análisis de fallas y la verificación de las causas raíces, determinan las causas raíz físicas, humanas y del sistema, para cualquier tipo de falla. Comunicar los resultados es el paso esencial para documentar los hallazgos en las investigaciones de ACRF y las recomendaciones asociadas. Estos hallazgos se deben analizar con el personal apropiado y pueden requerir de reuniones con la alta gerencia.

Para que el analista tenga éxito comunicando sus resultados y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero debe darse cuenta de la posición de la administración con respecto al resultado del análisis. La administración debe ser consciente de las responsabilidades financieras de la empresa.

Un informe formal por lo general ayuda a obtener el compromiso de la gerencia para resolver las fallas centrándose en las causas raíz determinadas en la investigación. El costo de implementar los resultados se debe comparar con el costo de las fallas. Se debe tener en cuenta que las causas raíz identificadas no son negociables. Sin embargo, las recomendaciones pueden ser diseñadas para cumplir los criterios de aceptación preestablecidos.

Se debe tener en cuenta que una de las metas principales de la Confiabilidad Operacional es incorporar el ACRF como una parte de la Cultura Organizacional. Esto facilitará el análisis y la deducción lógica del porqué de los problemas. Para lograr el apoyo masivo de la organización en el proceso, se requiere que participe



tanta gente como sea posible y que sean reconocidas ampliamente sus contribuciones.

Paso 6: Hacer seguimiento a los resultados

Parte de la responsabilidad que asume el facilitador del sistema, es analizar la implantación de las recomendaciones y realizar el seguimiento de su ejecución. Los resultados pueden ser comparados y medidos mediante la reducción en los costos de mantenimiento, el mejoramiento en las tasas de producción, la reducción de las tasas de falla, etc.

El ACRF sería una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Después de todo; es demasiado frustrante dar recomendaciones para la solución de problemas, asignar responsabilidades para la implementación, y establecer un plan de actividades para su realización, y aun así no ver el fruto de los esfuerzos.

Por lo tanto, es primordial que se tome el control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen el control de la organización. Para poder obtener los recursos necesarios para dedicar al trabajo futuro, sea trabajo de mejora, corrección, o rediseño, se debe analizar los problemas hasta las causas raíz y actuar de acuerdo con sus resultados.



3.3 Aplicación y Beneficios del ACR

El ACR se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos dentro de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas, por lo tanto se recomienda cuando:

- Se requiera el análisis de las fallas crónicas (repetitivas) que se presentan continuamente, tales como fallas de equipos comunes.
- Se presentan fallas esporádicas (una vez), en procesos críticos, tales como paradas de emergencias, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- Es necesario un análisis del proceso de diseño de nuevos equipos, de aplicación de procedimientos operativos y de supervisión de actividades de mantenimiento.
- Son comunes aspectos operativos tales como el congestionamiento, interrupción de las operaciones, aumento del consumo de energía, corridas más largas, defectos de calidad e incidentes ambientales.
- Es necesario identificar las definiciones organizacionales y programáticas.

Los beneficios que se obtienen al aplicar el ACR son:

- Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evita la repetición de las mismas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos.
- Mejora las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- Disminuye del número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAPÍTULO 4

“TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARTO AÑIL”



Para el análisis práctico se decidió optar por una de las empresas que ha estado implementando este método en la Ciudad de México; en este caso es PEMEX una de ellas pero para limitarlo aun mas decidimos tomar una de sus tantas terminales y la cual nos diera la oportunidad de poder aplicar el método. En este caso fue la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil, donde el Ing. Ricardo Enríquez muy buena gente nos abrió las puertas para poder realizar esta metodología.

4.1 Antecedentes

La Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) Añil, cuya operación inicio el 24 de febrero de 1967, está ubicada en la Delegación Iztacalco, en el Distrito Federal. Tiene una superficie de 136,660 m². Los combustibles que almacena y distribuye: Pemex Diesel, Pemex Magna y Pemex Premium, los recibe por dos poliductos de 8" y 12" diámetro, con los cuales se abastece a la zona oriente del área Metropolitana, así mismo, se abastece de combustibles por un poliducto de 8" de diámetro nominal a la agencia de ventas de Cuernavaca, Morelos, el cual se encuentra operando.

La terminal recibe un promedio de 57,000 bls/diarios, de ellos, un 60% corresponden a gasolina Pemex Magna, un 16% a Pemex Diesel y un 24% a gasolina Pemex Premium. Estos se almacenan en 5 tanques cuya capacidad operativa es de 116,530 bls.

Por otra parte, las ventas diarias de la Terminal de Almacenamiento y Distribución Añil, son de 45,000 bls., correspondiendo a la gasolina Pemex Premium el 5.5%, a la gasolina Pemex Magna el 80.5% y a Pemex Diesel el 15%, así mismo, la terminal dispone de instalaciones y equipo necesario para satisfacer el movimiento de productos, siendo estas las que a continuación se mencionan:



ALMACENAMIENTO	
PRODUCTO	N° DE TANQUE
Pemex Premium	TV-2
Pemex Diesel	TV-3
	TV-4
Pemex Magna	TV-8
	TV- 10
Contaminado	TV-6

Tabla 4.1. Tanques de Almacenamiento de TAR Añil

Fuente: Becerril, F. 2013. Propuesta de Actualización del SIMCOT para la Terminal de Almacenamiento Añil. Pag. 1.

4.2 Descripción del proceso

4.2.1 Los criterios de diseño de la instalación con base a las características del sitio y a la susceptibilidad de la zona a fenómenos naturales y efectos meteorológicos adversos.

La Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil, en el momento de su creación, realizó la búsqueda y la disponibilidad de un terreno para ubicarse en la parte Este de la Ciudad de México, para que de manera estratégica pudiera abastecer la Zona Oriente del Valle de México y realizar el envío de productos a la Terminal de Almacenamiento y Reparto Cuernavaca, en el Estado de Morelos; además se consideraron otros criterios como la ausencia de centros poblacionales cercanos, existencias de vías de acceso y la existencia adecuada en la dotación de diferentes servicios tales como agua, luz y drenaje.

El principal problema que enfrentaba actualmente la TAR Añil es el fenómeno de hundimientos diferenciales, que son un fenómeno que afecta a todos los terrenos ubicados en la zona lacustre del Ex lago de Texcoco, en gran parte a la Ciudad de México y la Zona Metropolitana del Oriente, debido entre otros factores, a la incesante sobreexplotación de los recursos hidrológicos subterráneos y sus distintos acuíferos, a tal grado que ha sido necesario hacer modificaciones



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

significativas en tanques y tuberías para contrarrestar tales efectos negativos por los hundimientos y poder seguir operando.

En cuanto a los fenómenos meteorológicos adversos, se contempló que sus efectos resultaban mínimos y no causaban daño a las instalaciones de la Terminal, por lo que se concluye que hasta el momento estos eventos no han sido significativos ni representan riesgo alguno.



4.2.2 Estación de autoconsumo.

La TAR Añil cuenta con una Estación de autoconsumo. Esta Estación, tiene como función principal recibir y suministrar el combustible PEMEX Diésel a los autotanques propiedad de la misma, los cuales distribuyen los productos. La Estación de autoconsumo se encuentra conformada por un dispensario totalmente automatizado, el cual es utilizado para el abastecimiento. La techumbre de la estación está construida con estructura de acero y lámina, soportado con columnas de concreto. El piso es de concreto hidráulico y cuenta con trincheras para captación de derrames, las cuales se conectan a una fosa de captación de drenaje aceitoso, las instalaciones en el área son a prueba de explosión. Esta estación se abastece de la línea del cabezal de PEMEX Diesel que va al área de llenaderas a través de una línea de 3" de Ø.

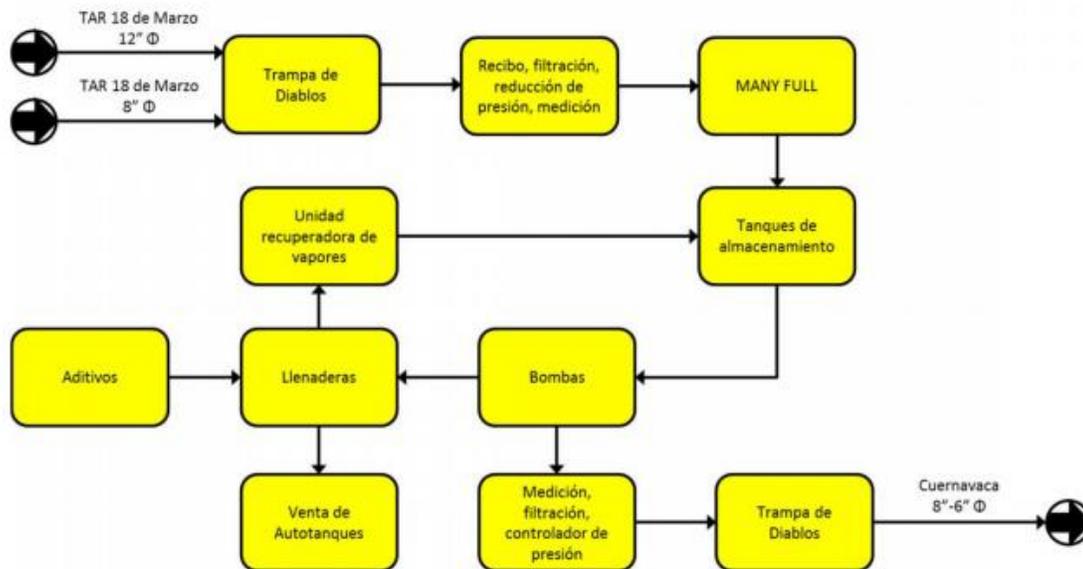


Fig. 4.1 Diagrama de bloques de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil
Fuente: PEMEX. 2000. Estudio de Riesgo de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil. Pág. 175. Diagrama.



4.2.2.1 Descripción detallada del proceso por líneas de producción reacción principal y secundaria en donde intervienen materiales considerados de alto riesgo.

La Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil tiene como principales funciones la recepción, almacenamiento, distribución y envío de Gasolinas PEMEX Magna y PEMEX Premium así como PEMEX Diesel.

Los Subprocesos que se consideraron cubrir para dar seguimiento a la metodología MCC y determinar su nivel de implementación en la terminal; objetivo de este trabajo de tesis son:

Almacenamiento

Los productos petrolíferos manejados en esta Terminal son PEMEX Magna y PEMEX Premium y PEMEX Diesel. Estos son almacenados en 5 tanques verticales atmosféricos con membrana flotante de aluminio, y un tanque destinado a almacenar el producto contaminado.

El almacenamiento de productos cuenta con un sistema de medición y control constituido básicamente por medidores de nivel, temperatura y sistema redundante de alarma (sonora y luminosa).

Tanque	Producto que almacena	Capacidad nominal		Capacidad útil		Dimensiones		
Tanque TV-2	PEMEX Premium	55 000	BLS	21 670	BLS	$\Phi =$	30.50	m
						H =	12.20	m
Tanque TV-3	PEMEX Diesel	35 000	BLS	14 635	BLS	$\Phi =$	24.30	m
						H =	12.20	m
Tanque TV-4	PEMEX Diesel	30 000	BLS	11 970	BLS	$\Phi =$	22.35	m
						H =	12.20	m
Tanque TV-6	Producto no conforme	6 000	BLS	2 079	BLS	$\Phi =$	9.15	m
						H =	12.19	m
Tanque TV-8	PEMEX Magna	55 000	BLS	31 040	BLS	$\Phi =$	34.49	m
						H =	09.11	m
Tanque TV-10	PEMEX Magna	55 000	BLS	35 136	BLS	$\Phi =$	30.50	m
						H =	12.20	m

Tabla 4.2 Censo de Tanques

Fuente: PEMEX. 2000. Estudio de Riesgo de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil. Pág. 169.



Llenado de Autotanques de Gasolina PEMEX Premium

El tanque de almacenamiento de gasolina PEMEX Premium TV-2, está conectado a un cabezal de succión, de donde las bombas de llenado de autotanques (dos en operación y una de relevo: BH1, BH2 y BHR), localizadas en casa de bombas, succionan la gasolina y la envían a un cabezal común para su distribución a los autotanques.

Llenado de Autotanques de Gasolina PEMEX Magna.

Los tanques de almacenamiento de gasolina PEMEX Magna TV-8 y TV-10, están conectados a un cabezal de succión, de donde las bombas de llenado de autotanques (dos en operación y una de relevo: BV1, BV2, BV3, BV4 y BVR), localizadas en casa de bombas, succionan la gasolina y la envían a un cabezal común para su distribución a los autotanques.

Llenado de Autotanques de Gasolina PEMEX Diesel.

Los tanques de almacenamiento de gasolina PEMEX Magna TV-3 y TV-4, están conectados a un cabezal de succión, de donde las bombas de llenado de autotanques (dos en operación y una de relevo: BV5, BV6, BH3, BVR y BHR), localizadas en casa de bombas, succionan la gasolina y la envían a un cabezal común para su distribución a los autotanques.

El llenado de autotanques se lleva a cabo por medio de garzas de llenado (brazo articulado de acero al carbón); cada garza de llenado posee su respectivo paquete de medición, en donde el fluido se filtra y cuantifica. Se cuenta con 18 posiciones de llenado.



Posición de llenado	Combustible
1-9, 12 y 13	Gasolina PEMEX Magna
17 y 18	Gasolina PEMEX Premium
10, 11, 14-16	PEMEX Diesel

Tabla 4.3 Censo de las llenadoras

Fuente: PEMEX. 2000. Estudio de Riesgo de la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil. Pág. 170.

Se cuenta con un sistema de Recuperación de Vapores conectado a todas las posiciones de llenado de autotanques.

El llenado se efectúa por el fondo de los autotanques, contando con equipo de seguridad para protección de sobrellenado, freno y conexión a tierra.

Procedimiento de llenado de autotanques.

Se traslada el autotanque a la posición asignada de llenado, con intervención del operador. Se estaciona el autotanque apagando totalmente el motor, colocando las llaves en el sitio designado para tal efecto; desconectar todos los circuitos eléctricos y accionar el freno de mano; bajar el extintor; colocar calzas; abrir la caja de válvulas del autotanque. Abrir las válvulas de emergencia. Con ayuda de las palancas de accionamiento ubicadas en dicha caja de válvulas, conectar el sistema detector de conexión a tierra y prevención de sobrellenado. Acoplar el conector hembra que se encuentra en la posición de llenado con la conexión macho, ubicada en la caja de válvulas del autotanque (en este paso interviene la operación de la válvula de tres vías o “permisivo”, que frena y desenergiza el autotanque, además de abrir la válvula de venteo). Acoplar la conexión de la Unidad Recuperadora de Vapores (URV); posteriormente, abrir la válvula tipo macho para llenado. Programar la Unidad de Control Local (UCL) de la posición de llenado para que se inicie el abastecimiento de producto al autotanque.

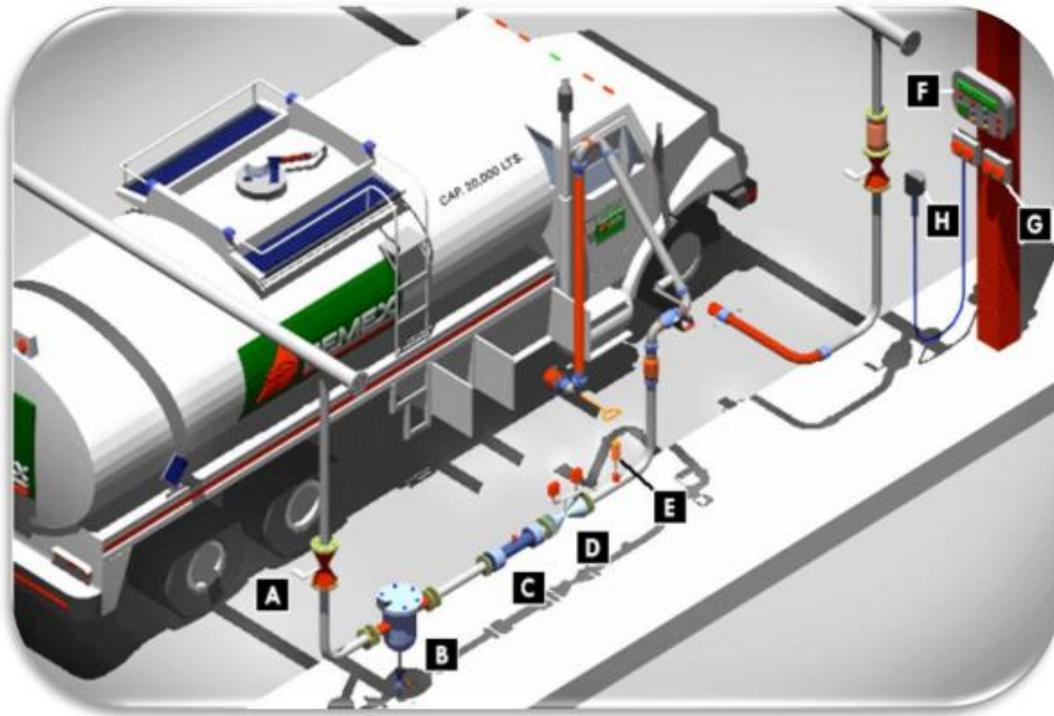


Fig. 4.2 Posición del autotank para su llenado.

Fuente: Becerril, F. 2013. Propuesta de Actualización del SIMCOT para la Terminal de Almacenamiento Añil. Pág. 11.

Al terminar el suministro de producto, se cierra la válvula de carga y descarga del autotank y se desacopla el brazo de carga mediante la palanca. Se desacopla la manguera de recuperación de vapores, así como el sistema detector de conexión a tierra y prevención de sobrellenado; colocar el conector hembra con cable de espiral en su lugar correspondiente. Finalmente, cerrar la caja de válvulas del autotank y retirarlo de la posición de llenado para dirigirse a la torre de control o pasarela, donde se efectuará la revisión respectiva del producto suministrado y la colocación de los sellos en las válvulas y domo del tanque. Las actividades realizadas en el procedimiento de llenado de autotanks sólo deben ser efectuadas por el operador de la unidad, quien permanece todo el tiempo que dura el procedimiento de carga. En caso de presentar algunas variaciones durante el llenado, personal de seguridad, operación y mantenimiento podrá intervenir.



4.3 Análisis en campo y recopilación de datos.

Visita a la Terminal de Almacenamiento y Reparto Añil para verificar el seguimiento de la implantación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Objetivo: “el proceso de identificación de los sistemas, o agrupamiento, necesarios para asegurar que se entiende por completo la pérdida de la función”.

Al hacer una visita guiada por toda la terminal y con la información de los operarios se identificaron fallas potenciales los cuales son:

- ✓ En los tanques de almacenamiento pueden surgir rupturas en las tuberías y daños en equipos por esfuerzo debido al defecto de hundiendo diferencial por la ya mencionada falla del terreno en donde se encuentra la construcción del TAR, esto ocasiona de forma recurrente el flote de tubería y equipo.
- ✓ En el área de la descargadera es recurrente la obturación de los filtro tipo canasto, debido a que el producto viene tan contaminado que estos no pueden tener una cantidad sólidos mayores a los previstos por diseño.
- ✓ Las tarjetas electrónicas que posee la descargadora frecuentemente fallan perdiendo su principal función que es la regulación del nivel de voltaje del sistema de descarga de este mismo equipo.
- ✓ En la parte de las llenaderas las fallas frecuentes surgen en las turbinas ya que llegan a descalibrarse, mencionan los instrumentistas, que la válvula de control operada por solenoides que es la controladora del flujo del producto hacia el autotanke presenta fallas frecuentes ya sea en el núcleo o en el diafragma.

Podemos llegar a mencionar que las mayorías de las fallas son dinámicas y mecánicas; pero no hay que olvidar que también puede ocurrir falla de comunicación la cual se puede originar en la UCL (Unidad de Control Local),



estasería una de las principales falla que podría ocasionarse, los operadores y encargados de este equipo deben ser muy precavido desde la configuración y la aplicación de los comando ejecutados para su respectivo funcionamiento.

También podemos anexar la inexperiencia de los mismos usuarios e instrumentistas; con las nuevas actualizaciones de Confiabilidad Operacional.

Otra contraparte para realizar esta metodología en mantenimiento centrado en confiabilidad debemos obtener la siguiente información de la siguiente lista:

- DFP y DTI'S
- Información suministrada por fabricante o vendedor de los equipos.
- Información del personal que opere y mantiene el equipo.
- Listas genéricas de modo de falla.
- Registros operacionales.
- Información de usuarios del mismo equipo en otras empresas.
- Informe de fallas y reparaciones de los Equipos y Sistemas.
- Manuales de Mantenimiento de Operación de Equipos y Sistemas.

De toda esta lista solo se pudo recatar tres de los ocho puntos los DFP Y DTI'S, información generada por los operarios y mantenedores, y la información de otros usuarios de otras empresas que manejan el mismo equipo de lo cual ya se mencionó.

Para verificar y validar la metodología resulta complicado realizar el seguimiento de la metodología con esta falta de información por la cual no se puede realizar tanto un Análisis Causa Raíz y un Análisis de Modo de Fallo y Efecto, para lo cual no fue posible verificar y validar el nivel de implantación y aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en TAR Añil.

Es importante mencionar que la TAR se encuentra en el proceso inicial de implantación del proceso de Confiabilidad Operacional.



El siguiente ChekList nos indica su avance en el cumplimiento para el nivel correspondiente de madures.

- Información suministrada por el fabricante o vendedor del equipo.
- Información del personal que opera y mantiene el equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.
- Registros e historiales técnicos.
- Registros operacionales.
- Información de usuarios del mismo equipo en otras empresas.

De las fuentes anteriormente descritas se deben recabar información para el estudio MCC. Estos datos son:

- ✓ **Listado de sistemas y equipos de las diferentes aéreas operacionales.** Esta información es necesaria para jerarquización por criticidad de los sistemas y equipos.
- ✓ **Impacto de cada sistema o equipo en la producción total del campo expresado en porcentaje (%).** Con estos datos se organizará la información que se empleará en el establecimiento de las consecuencias asociadas a los defectos de una falla del sistema o equipo analizado. Esta información es expresada de forma porcentual respecto al total de la producción del proceso.
- ✓ **Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) y Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).** Estos esquemas facilitan la estructuración del sistema del proceso, con el objeto de establecer las funciones y falla funcionales del equipo o sistema.
- ✓ **Manuales de mantenimiento y Operación de Equipos y Sistemas.** Esta herramienta es una consulta fundamental para los especialistas cuando deben establecer referencias de modos y causas de falla que se puedan presentar en un equipo o sistema.



4.3.1 Análisis de Criticidad en TAR Añil

Para el establecimiento y formalización de las metas en cada Centro de Trabajo, se requiere contar con un Tablero de Confiabilidad Operacional, que a su vez identifique los cuartiles de desempeño y sea el soporte de la evolución en la implantación de PEMEX-Confiabilidad, orientada a resultados.

Indicadores	Cuartiles			
	1er	2do	3er	4to
Negocio				
Costo de Mantenimiento / Valor de Reemplazo de Activos, %	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	>3.5
Costo de Producción por Unidad de Salida	Varía de acuerdo a la Unidad de Producción			
Instalaciones - Equipo				
Disponibilidad Mecánica, %	>97	95-97	80-95	<80
Utilización de activos con respecto a su capacidad, %	>89	80-89	70-79	<70
Índice de Paros No Programados, %	<=1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	>3.0
Planeación y Programación				
Trabajo Planeado / Trabajos Totales, %	>85	75-85	65-75	<65
Backlog, semanas	3-4	4-6	6-8	>8
Cumplimiento de Programas, %	>90	75-90	60-75	<60
Trabajo de emergencia, %	<15	15-25	25-35	>35
Tiempo extraordinario, %	<5	5 - 10	10 - 20	>20
Operación Segura				
Cumplimiento de Programas de Producción, %	>95	90 - 95	75 - 90	<75
Índice de Energía Consumida, %	<100	100 - 120	120 - 140	>140
Equipos críticos operando fuera de rangos operacionales, %	< 5	5 - 10	10 - 15	>15
Sistemas de Control fuera de servicio, número	0	1 - 3	3 - 5	>5
Mantenimiento Preventivo y Predictivo				
Mantenimiento Preventivo-Predictivo / Mantenimiento Total, %	60	40-60	20-40	<20
Análisis de Fallas completos (ACR), %	>95	80-95	60-80	<60
Cumplimiento de mantenimiento preventivo y predictivo, %	>95	90 - 95	75 - 90	<75
Efectividad de Programas de Confiabilidad				
Tiempo Medio Entre Fallas	Varía de acuerdo al Tipo de Equipo			
Tiempo Medio Para Reparar	Varía de acuerdo al Tipo de Equipo			
Fallas detectadas previas a la falla, %	>95	80 - 95	50 - 80	<50
Nivel de Vibraciones promedio, pulgadas/segundo	~0.08	0.08-0.12	0.12-0.15	>0.15
Fallas por lubricación / Fallas totales, %	0	<5	5-20	>20

Tabla 4.4 Tablero de Control
Fuente: PEMEX.2005. Guía técnica para cálculo de Indicadores de Confiabilidad Operacional.



Del cual solo retomaremos los casos de Mantenimiento Preventivo y Predictivo y la Efectividad de Programas de Confiabilidad (algunos puntos de cada uno). Para obtener el grado de criticidad y así poder cumplir todos los puntos que nos marca el Tablero de Control.

Criticidad

Para identificar los Equipos Críticos, consideran los riesgos que pudieran presentarse en los sistemas, maquinarias, equipos, instalaciones o componentes cuya falla resultaría o contribuiría a una liberación de energía (por ejemplo, fuego o explosión, etc.) capaz de originar una exposición al personal a una cantidad suficiente de sustancias peligrosas, lo cual resultarían en una lesión, un daño irreversible a la salud o la muerte, así como un daño significativo a las instalaciones y al ambiente.

La Criticidad tiene por objetivo Jerarquizar sistemas, instalaciones y/o equipos, en función de las consecuencias globales derivadas de la frecuencia de las fallas que han ocurrido en los sistemas, instalaciones o equipos en función del tiempo, para direccionar los esfuerzos y recursos, con enfoque a mejorar la Confiabilidad Operacional y rentabilidad del negocio de acuerdo a la realidad actual.

Procedimiento

Calcular la criticidad de cada instalación, sistema o equipo, mediante la siguiente fórmula:

Criticidad= Frecuencia de Fallas x Consecuencia de las Fallas



1. Establecer la Frecuencia de Falla (alta, media y baja), considerando las fallas que hayan ocurrido en un periodo de tiempo, se le asigna un valor absoluto de 10, 5, 2 de acuerdo a la tabla de Frecuencia de Falla.
2. Establecer los valores de las Consecuencias de las fallas que hayan ocurrido, evaluándolas a través de los criterios establecidos en su tabla de Consecuencias de Falla.
3. Obtener el Valor Absoluto de Criticidad de cada sistema, instalación o equipo analizado, multiplicando los valores obtenidos en los pasos 1 y 2
4. Determinar la Jerarquía de la Criticidad, en base a los resultados obtenidos en el punto 3, y de acuerdo a la siguiente tabla.

Rango de Valor Absoluto	Nivel de Criticidad
>120	"A" ó Alta
>70 y <119	"B" ó Media
<69	"C" ó Baja

Tabla 4.5 Jerarquía de Criticidad

Fuente: PEMEX. 2012. Procedimiento de Administración Institucional de la Metodología del Análisis de Criticidad para la Confiabilidad Operacional en instalaciones, procesos, sistemas o equipos en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Pág. 9.

5. Elaborar hoja electrónica de análisis de criticidad.
6. Actualizar la criticidad cada dos años o cada vez que haya cambios en el contexto operacional, en las estrategias de mantenimiento y/o en cambio de tecnología de equipos.

Frecuencia de falla		Valor
Alta	de 1 a 6 meses	10
Media	de 7 a 24 meses	5
Baja	de 25 meses o mas	2

Tabla 4.6 Frecuencia de Falla

Fuente: PEMEX. 2012. Procedimiento de Administración Institucional de la Metodología del Análisis de Criticidad para la Confiabilidad Operacional en instalaciones, procesos, sistemas o equipos en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Pág. 11.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Columna	Descripción	Valor
A	Provocó paro total del centro de trabajo (Interrumpió totalmente la producción del centro de trabajo).	14
B	Provocó afectación parcial del centro de trabajo (Interrumpió en forma parcial la producción del centro de trabajo, disminuyendo carga o paro total en otras plantas, unidades o secciones).	12
C	Provocó paro total de la planta, unidad o sección donde se localiza el equipo, instalación o sistema analizando, sin afectar otras plantas.	10
D	Provocó pérdida de producción del 20% o más de la planta, unidad o sección, en el momento de las fallas del equipo, instalación o sistema analizado (sin considerar el paro total), sin afectar otras plantas.	9
E	Provocó pérdida de producción del 5% al 19% de la planta, unidad o sección, en el momento de las fallas del equipo, instalación o sistema analizado.	8
F	Provocó la pérdida de la función del equipo, instalación o sistema analizado, pero no interrumpió ni disminuyó la capacidad de producción de la planta, unidad o sección.	6
G	Se perdió eficiencia o afectó la calidad del producto de la planta, unidad o sección.	4
H	Provocó pérdida del relevo en el equipo, instalación o sistema analizado.	3
I	Daños irreversibles y reversibles al ambiente y que no cumplan con las regulaciones y leyes ambientales.	14
J	Impacto ambiental mitigable sin violación de leyes y regulaciones y es restaurada.	4
K	Muerte o incapacidad total y parcial permanente, lesiones severas o enfermedades de uno o más miembros de la empresa.	14
L	Lesiones o enfermedades en uno o varias personas de la instalación, que requieren suspensión laboral sin incapacidad.	4
M	Ocasiona costos no relacionados con la pérdida de producción mayor al 30% del valor del equipo, instalación, sistemas analizados o instalaciones contiguas.	14

Tabla 4.7 Consecuencia de Fallas

Fuente: PEMEX. 2012. Procedimiento de Administración Institucional de la Metodología del Análisis de Criticidad para la Confiabilidad Operacional en instalaciones, procesos, sistemas o equipos en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Pág. 12.



4.3.2 Simulador aplicado para TAR Añil

A falta de información mencionada para la realización de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se creó un simulador (ver anexo D) para realizar un Análisis de Criticidad para tratar de Jerarquizar los equipos que se encuentran en la Terminal, con el objetivo de facilitar el almacenamiento de datos y generar las primeras bitácoras de fallas de los equipos.

Para clasificar un equipo es que haya iniciado su ciclo de vida operativa (inicio de operación) y la falla haya ocurrido en un periodo dentro de los 24 meses, aquí se considera una falla baja, y es donde empezara su registro de fallas del equipo.

Aplicamos este simulador a un equipo enunciado a continuación:

Un equipo dinámico presento sus últimas fallas el 4 de enero de 2012 y 4 de octubre de 2011 (dichas fallas de criticidad), el cual provoco una disminución del 35% de la capacidad de producción de la planta; como las fallas se presentaron dentro del periodo de 1 a 6 meses de acuerdo a la tabla 4.4, el valor de la frecuencia de falla este caso es 10.

Para la consecuencia de la falla analizando en la tabla 4.5 podremos asignarle la letra D que tiene el valor de 9. Y marca que este también afecto a la calidad del producto quedando fuera de especificaciones, por lo que se le asigna la literal G con denominación 4.

El valor total obtenido de las consecuencias es de 13. Para el valor absoluto de criticidad nos marca de 130; comparando con la tabla 4.3 observamos que este equipo se considera como crítico "A" o Alta Criticidad.

Para el caso de mayor utilidad del simulador se logró obtener la base de datos del mantenimiento que se les ha dado a los equipos mediante su base de datos (SAP). El análisis de criticidad es realizarlo de manera anual para un mejor manejo de información (ver anexo C).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Conclusiones



Conclusiones

Específicas

- Se desarrolla un análisis metódico de lo que es Confiabilidad Operacional y de cómo identificar y poder solucionar fallas potenciales mediante el análisis de la metodología adecuada con ayuda y la experiencia de trabajadores de operación y mantenimiento mediante la implementación y aplicación de la metodología apropiada.
- Se describe y se presenta la importancia del mantenimiento y el desarrollo de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad y sus métodos soporte.
- Se logró identificar y describir algunas de las fallas existentes en un Centro de trabajo de una industria del petróleo.
- No se logró determinar y diagnosticar el nivel de implementación y aplicación (grado de madures) de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad al 100% por falta de documentación necesaria para su realización.

Generales

La Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad que puede ser desarrollado por un Ingeniero Químico, es una actividad relativamente nueva para su rama y es aplicable en cualquier industria, ya que la elaboración de esta reduce los fallos existentes en una industria y optimiza el proceso obteniendo mejores beneficios en el aspecto de la producción y calidad de los mismos.

Personales

Toda esta investigación de la Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad me ayudo a ver que existen varios caminos a elegir y que en este tiempo le están dando una gran importancia en cualquier industria a nivel



internacional; y esto me ha ayudado tanto en la rama de la carrera como personal, ya que siempre se piensa en producir o crear pero nunca en cuidar lo que ya tenemos y hacer que podamos mantenerlo cumpliendo las funciones que se inculcaron desde el principio. Y gracias a este método podemos reducir las fallas generadas tanto humanas como mecánicas y así obtener o cumplir con las necesidades que día a día estamos generando.

Beneficios

- Genera mayor seguridad e integral ambiental, actúa para prevenir o eliminar riesgos ambientales y de seguridad.
- Mejor funcionamiento operacional. Actúa para mejorar la cantidad de producción, la calidad del producto y el servicio al cliente.
- Mayor costo-eficiencia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de equipos costosos.
- Mejor trabajo en equipo y mayor motivación del personal. El MCC establece un solo lenguaje entre el área de producción y mantenimiento, estableciendo una mejor comunicación entre ambas partes. Adicionalmente, el personal involucrado con el proceso se motiva debido a que adquiere un sentido de pertenencia del proceso.



Bibliografía

- Moubray, John, Reliability Centered Maintenance, 2° ed., Ed. Butterworth-Heinemann, 1991
- Manual Técnico de Confiabilidad Operacional en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, Derechos reservados Petróleos Mexicanos, 2012.
- Guía Técnica de Confiabilidad Operacional para la mejor práctica, Derechos reservados Petróleos Mexicanos, 2012.
- Rojas, Nelson, Integración de Herramientas para el Aseguramiento de la Confiabilidad Operacional, Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (CCIA), 2012
- Huerta, Rosendo, López, José, Parra, Carlos, Villavicencio, Víctor, & Pírela, Jorge, Lecciones aprendidas en el Proceso de implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el sector petrolero, 2005
- Muñoz, Ma. Belén, Mantenimiento Industrial, Universidad Carlos III de Madrid, 2004
- Becerril, Fernando, Propuesta de actualización del Sistema Integral de Medición, Control y Operación en Terminales (SIMCOT) para la Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR), TAR Añil, Instituto Politécnico Nacional, 2013
- Espinosa, Fernando, Confiabilidad Operacional de equipo: Metodologías y Herramientas, Universidad de TALCA, 2005
- Sistema de Confiabilidad Operacional, Derechos reservados Petróleos Mexicanos, 2012.
- Procedimiento de Administración Institucional de la Metodología del Análisis de Criticidad para la Confiabilidad Operacional en instalaciones, procesos, sistemas o equipos en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, Derechos reservados Petróleos Mexicanos, 2009



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

- *Guía técnica para cálculo de Indicadores de Confiabilidad Operacional, Derechos Reservados Petróleos Mexicanos, 2010*
- Poveda, Alejandro, *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento*, 2011, recuperado de :
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Anexos



Anexo A

Definiciones y Abreviaturas

Activo.- Termino contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja, puede ser humano, físico, financiero o intangible. Por ejemplo: El Personal, Centros de trabajo, Plantas, Equipos, etc.

Análisis del CCV (ACCV).- Es un proceso analítico sistemático, para evaluar las líneas de acción de varias alternativas con el objetivo de elegir la mejor en el largo plazo para alcanzar un objetivo.

Causa de Falla. Las causas de las fallas pueden ser físicas, humanas u organizacionales. En general pueden ser derivadas de procesos de deterioro por razones físicas o químicas, defectos de diseño, malas prácticas operacionales o de mantenimiento, baja calidad de materiales o refacciones, u otros razones organizacionales como presiones en los objetivos de producción, cambios en el contexto operacional, alta rotación del personal, falta de difusión o inexistencia de procedimientos actualizados de operación y mantenimiento, ejecución de trabajos por personal no certificado, entre otros, que conducen a la falla.

Ciclo de Vida.- Tiempo durante el cual un ítem conserva su capacidad de utilización. El periodo abarca desde diseño, instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento hasta que es sustituido o es objeto de Restauración/Rehabilitación.

Confiabilidad.- Es la probabilidad de funcionamiento libre de fallas de un equipo o sus componentes por un tiempo definido bajo un contexto operacional determinado.

Criticidad.- Es una característica que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en



áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional y administrar el riesgo basado en la realidad actual.

Equipo Crítico.- Es aquel que por su condición actual puede tener una media o alta frecuencia de falla, combinada con una media o alta consecuencia.

Falla.- Cese de la capacidad de un ítem para realizar su función específica. Es decir, el evento o estado inoperable, en el cual un ítem o parte de él, no funciona o no funcionaría como previamente se especificó. Es equivalente al término avería.

Falla oculta (SAE-JA-1011).- Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, (estas se presentan por lo regular en los sistemas de seguridad).

Función.- En mantenimiento se define como el desempeño esperado de un activo para cumplir con un propósito específico. (SAE-JA-1011) Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema.

Función primaria (SAE-JA-1011).- Las funciones que constituyen las razones principales por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario, esta categoría de función cubre temas como velocidad, producción, capacidad de carga o almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.

Intervalo P-F (SAE-JA-1011).- El intervalo entre el punto en el que el potencial de falla se hace detectable y el punto en que este se degrada hasta una falla funcional (también conocido como “periodo para el desarrollo de falla” o “tiempo esperado para la falla”).

Ítem.- Término general para indicar una parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede ser considerado individualmente.



Mantenimiento.- Es el conjunto de actividades efectuadas en un activo con el objetivo de que continúe desempeñando la función para lo cual fue diseñado.

Parte Mantenibles.- Aquel que constituya una parte, o un ensamblaje de partes, que normalmente tiene el nivel jerárquico mas bajo durante el mantenimiento (ISO 14224).

Plan de Mantenimiento.- Conjunto estructurado de tareas que comprende las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar mantenimiento.

Reparación.- Conjunto de actividades destinadas a la corrección de una falla y conducentes a restituir la condición operativa normal de un equipo y/o sistema.

Riesgo.- Término de naturaleza probabilística, definido como la “probabilidad de tener una pérdida”.

Síntoma de Daño.- Describe la condición del objeto, parte o conjunto identificado en el momento de efectuar mantenimiento (Modo de falla)

Tarea para Detectar Fallas(SAE-JA-1011).- Una tarea programada utilizada para determinar si ha ocurrido una falla oculta específica.

Taxonomía de Equipos.- Es una clasificación de equipos, de observaciones y actividades de mantenimiento integrados en un sistema ordenado de grupos de familias, que nos permitirá la clasificación consistente de todos los equipos relevantes, de sus componentes así como de las actividades de mantenimiento dentro de una instalación, ya sea de producción, refinación, petroquímica o gas.

Ubicación técnica.- Elemento de un sistema que representa un area en donde es posible instalar un equipo y que representa el lugar donde debe ejecutarse una tarea de mantenimiento.



Abreviaturas

<i>ACR</i>	<i>Análisis Causa Raíz</i>
<i>ACCV</i>	<i>Análisis del Costo de Ciclo de Vida</i>
<i>CCV</i>	<i>Costo de Ciclo de Vida</i>
<i>CMVS</i>	<i>Costo de Mantenimiento y Ciclo de Vida</i>
<i>DO</i>	<i>Disciplina Operativa</i>
<i>DFP</i>	<i>Diagrama de Flujo de Proceso</i>
<i>DMA</i>	<i>Análisis de Mantenibilidad del Diseño por sus siglas en ingles DesignMaintenanceAnalysis.</i>
<i>DTI</i>	<i>Diagrama de Tuberías e Instrumentación</i>
<i>FMECA</i>	<i>Análisis de Modos, Efectos de Falla y Criticidad</i>
<i>IBR</i>	<i>Inspección Basa en Riesgos</i>
<i>ISO</i>	<i>International OrganizationforStandardization</i>
<i>MCC</i>	<i>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i>
<i>OREDA</i>	<i>Dados de Confiabilidad para Instalaciones Costa Afuera, por sus siglas en ingles Offshore Reliability Data</i>
<i>PF</i>	<i>Probabilidad de falla</i>
<i>SAP</i>	software modular para la gestión empresarial creado por SAP AG
<i>TPM</i>	<i>Mantenimiento Total de Producción</i>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Anexo C

Gerencia de Almacenamiento y Reparto Centro Subgerencia de Operación y Mantenimiento Evaluación de Criticidad Confiabilidad		Horas de Operación												A	B	A/B	P	C	AC+PaC	JC	Observaciones													
Centro de Trabajo Realiza Aprueba		Días de operación en el periodo Ene-Dic 2012												Total Hrs Disponibles Opn	Hrs Paro Preventivas Predictiv	Total de Hrs Reales de Opn	Num de Averías	MTBF (meses)	Probabilidad de Falla (10,5,2)	Consecuencia de la Falla	Análisis de Criticidad	Jerarquía de la Criticidad (A, M, B)												
TAR AÑL ING. NOE LINA SANDOVAL ING. RICARDO ENRIQUEZ ORTIZ		E	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D																					
Llenaderas	LLENADERA 1	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	28	8756	4	7.6	5	21	105	M											
	LLENADERA 2	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	275	8509	6	4.9	10	21	210	A											
	LLENADERA 3	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	8	8776	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 4	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 5	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 6	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 7	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 8	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	14	8770	3	10.2	5	21	105	M											
	LLENADERA 9	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	87	8697	5	6.0	10	21	210	A											
	LLENADERA 10	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	16	8768	2	15.2	5	21	105	M											
	LLENADERA 11	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	8	8776	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 12	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	14	8770	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 13	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	12	8772	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 14	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	12	8772	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 15	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 16	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 17	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
	LLENADERA 18	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	21	42	B											
Tanques Verticales	TV2	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	27	8757	6	5.1	10	57	570	A											
	TV3	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	57	114	M											
	TV4	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	404	8380	6	5.8	10	57	570	A											
	TV5	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	5	8779	2	15.2	5	57	570	A											
	TV6	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	24	8760	1	30.4	2	57	114	M											
	TV9	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	26	8758	1	30.4	2	57	114	M											
Bombas de proceso	BH1	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	9	8775	3	10.2	5	19	95	M											
	BH2	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	27	8757	1	30.4	2	19	38	B											
	BH3	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	25	8759	3	10.1	2	19	38	B											
	BHR	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	4	8780	2	15.2	5	19	95	M											
	BV1	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	19	38	B											
	BV2	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	251	8533	6	5.9	10	19	190	A											
	BV3	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	19	38	B											
	BV4	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	19	8766	3	10.1	5	19	95	M											
	BV5	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	2	8782	1	30.5	2	19	38	B											
	BV6	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	619	7866	2	13.8	6	19	95	M											
BV7	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	3	8781	1	30.5	2	19	38	B												
Unidad recuperadora de vapores	URVV	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	288	8496	2	14.8	5	45	225	A											
DESCARGADERA	DESCARGADERA A/T 01 PR-DL-MG	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	319	8465	2	14.7	5	21	105	M											
Subestacion electrica	Subestacion electrica 01	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	3	8781	1	30.5	2	50	100	M											
Bombas Contraincendio	MOTOBOMBA CI MC BCI 0	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
	MOTOBOMBA CI MC BCI 0	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
	MOTOBOMBA CI MC BCI 0	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
	MOTOBOMBA CI MC BCI 0	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
	MOTOBOMBA CI MC BCI 0	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
	MOTOBOMBA CI MC BCI JOCKEY	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M											
BOMBA CENTRIFUGA B4471 JOCKEY	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366	8784	0	8784	1	30.5	2	43	86	M												

Probabilidad	Frecuencia de Falla*	Valor
ALTA	De 1 a 6 meses	10
MEDIA	De 7 a 23 meses	5
BAJA	De 24 meses o más	2

		JC		AC		Color	
ALTA CRITICIDAD		≥ 120		Rojo			
MEDIA CRITICIDAD		≥ 70 a < 120		Amarillo			
BAJA CRITICIDAD		≥ 0 a < 70		Verde			

CALCULO DE CONSECUENCIAS EN TAR'S										
Columna	Descripción	Valor	TQ	AT	D	BP	LL	SE	BCI	URV
A	Provoca paro total del CT	10							10	10
B	Provoca paro parcial del CT	8	8	8	8	8	8	8	8	8
E	Provoca pérdidas considerables de producto	5							5	5
F	Se pierde eficiencia o afecta la calidad del producto	4	4	4	4	4	4	4	4	4
G	Se pierde redundancia	2		2						
H	Ocasiona alto costo de mantenimiento	7	7	7	7	7	7	7	7	7
I	Ocasiona daños ambientales	9	9	9	9	9	9	9	9	9
J	Provoca violación a las normas regulatorias	10	10	10	10	10	10	10	10	10
K	Ocasiona daños al personal	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L	Ocasiona daños a las instalaciones	9	9	9	9	9	9	9	9	9
TOTAL		57	55	21	19	21	50	43	45	

Elaboró	Revisó	Validó
Ing. Noe Lina Sandoval	Ing. Ricardo Enriquez Ortiz	Ing. Octavio Betancourt Ontiveros

Fig. C.1 Análisis de Criticidad



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Anexo D



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA
DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD**

RAMOS ENRIQUEZ JUAN ANTONIO



Objetivo

Este manual fue hecho con la finalidad de que alumnos de la carrera de Ingeniería Química tengan el dominio de manejar el programa especializado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, así de también tener un conocimiento de cómo se llegan a realizar los distintos procedimientos y cálculos para obtener uno de los tantos resultados.

Justificación

En México no existe la información tal cual de lo que es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad al igual que los programas para la realización de la misma por lo cual se creó un pequeño simulador la cual se encarga de realizar los cálculos más básicos para obtener resultados de lo que se denomina Análisis de Criticidad, al igual que el almacenamiento de datos y la función de exportación a un paquete de office para su mayor manejo.



INDICE

Portada del programa	207
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	208
Criticidad	208
Análisis Causa Raíz	209
Análisis de Modo y Efecto de Fallo	209
Esquema	210
Cálculos	211
Procedimiento	211
Bibliografía	215



Portada del programa

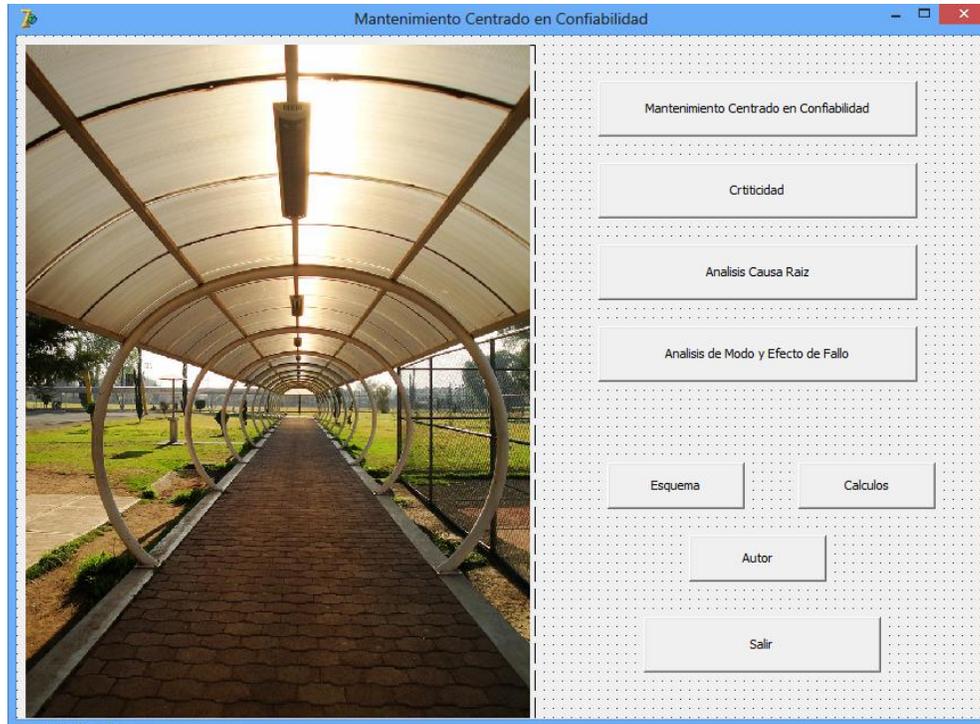


Figura 1. Portada inicial del programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

En esta parte del programa nos muestra diferentes botones los cuales nos llevaran a cada una de las ventanas con la cual está conformada; de las cuales son:

- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- Criticidad
- Análisis Causa Raíz
- Análisis de Modo y Efecto de Fallo
- Esquema
- Cálculos
- Autor



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

En esta parte nos hace referencia a una breve explicación en que consiste dicho mantenimiento donde la ventana nos da los dos conceptos más importantes. Lo que es una breve definición y el objetivo de realizar dicho método.



Figura 2. Ventana de definición de Mantenimiento entrado en Confiabilidad.

Criticidad

Básicamente esta ventana se asemeja a las demás ya que nos da una breve definición de lo que es la criticidad, para que el alumno tenga el conocimiento del significado y que sepa que es parte para la realización del método del mantenimiento.



Figura 3. Criticidad de los equipos

Análisis Causa Raíz

Otro de los tantos métodos para realizar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y uno de los más importantes; ya que aquí se hace un análisis riguroso del porqué de las fallas y cuál de todos es el principal fallo que provocó los demás.

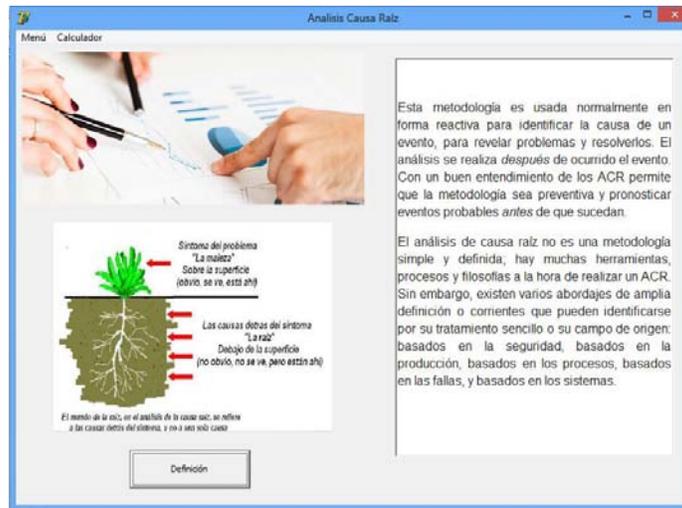


Figura 4. Análisis Causa Raíz

Análisis de Modo y efecto de Falla

Este es otro proceso en el cual su principal función es en encontrar el principal fallo ante de que suceda u origine desde la instalación del equipo.



Figura 5. Análisis de Modo y Efecto de Falla.



Esquema

Son principalmente los pasos a seguir para la realización de un buen Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

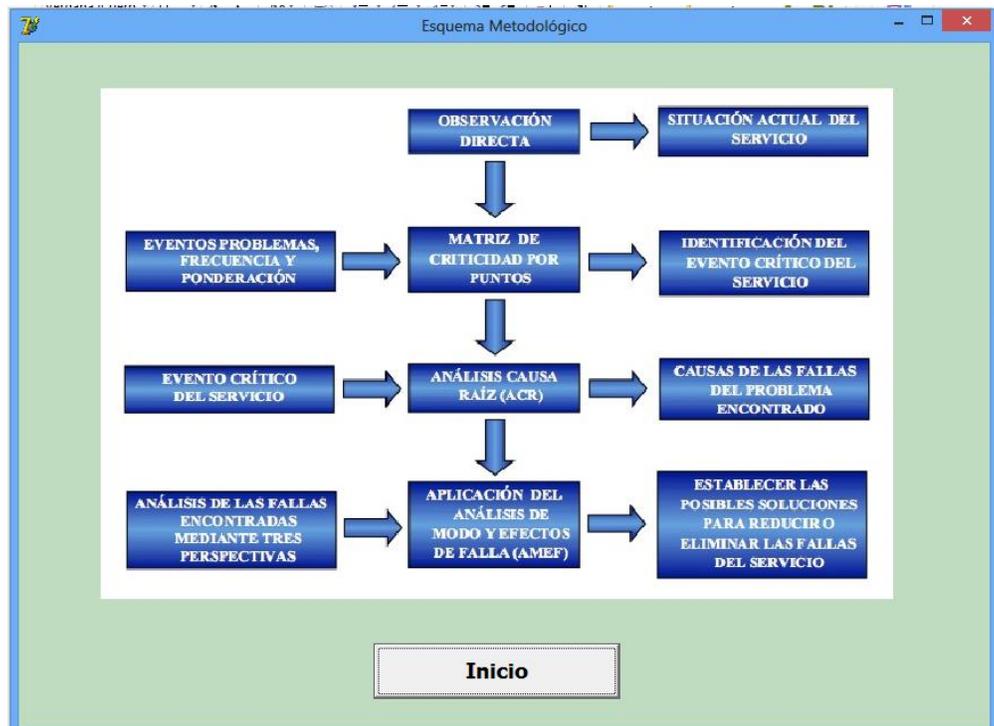


Figura 6. Esquema del procedimiento de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad



Cálculos

Esta ventana es donde nos basaremos en los cálculos y asignar al grado de criticidad que posee cada uno de los equipos, así para poder crear una base de datos de todos los equipos que tienen en operación una industria y así poder clasificarlos de mayor a menor grado de fallos.

La imagen muestra una ventana de software titulada 'CALCULOS'. En la parte superior, hay cinco campos de entrada etiquetados como 'HRS. OPERACION', 'HRS. PARO', 'HRS. REALES DE OP.', 'NUM. DE AVERIAS' y 'MTBF (MESES)'. Debajo de estos, hay un campo 'MESES REALES DE OP.' con el valor '288' y un botón 'Convertir'. A la derecha de 'Convertir' hay un botón 'TOTAL'. En la parte inferior, hay tres campos de entrada etiquetados como 'PROB DE FALLA', 'CONSECUENCIA DE LA FALLA' y 'ANALISIS DE CRITICIDAD'. Debajo de estos, hay tres botones: 'LIMPIAR', 'CALCULO' y 'Frecuencia de falla'. En la parte inferior derecha, hay un botón 'Consecuencia de falla'.

Figura 7. Calculo de Criticidad

Procedimiento

Para el manejo del programa de cálculo nos basaremos en un ejemplo.

Un equipo dinámico a lo largo del año tiene la función de operar 8784 horas de operación, en lo cual existieron fallas en tanto empaques como en flujo lo cual su tiempo de paro por mantenimiento fue 28 horas; el total de las fallas encontradas a lo largo del tiempo fueron 4.

Aquí necesitamos saber cuál fue la frecuencia de fallo; con la ayuda del tiempo que se nos proporcione y la cantidad de fallas podemos realizar dicha operación y encontrar el valor de que tanto fallo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

HRS. OPERACION	HRS. PARO	HRS. REALES DE OP.	NUM. DE AVERIAS	MTBF (MESES)
8784	28	8756	4	7.60069444
MESES REALES DE OP.				
	288	30.40277777	Convertir	TOTAL

Figura 8. Obtención de Tiempo Medio entre Fallas.

Aquí el programa arroja que su frecuencia de fallo es de 7.6 con esto nos basaremos en la tabla de la frecuencia de fallo que también posee el programa en uno de sus botones.

Frecuencia de falla		Valor
Alta	de 1 a 6 meses	10
Media	de 7 a 24 meses	5
Baja	de 25 meses o mas	2

Figura 9. Frecuencia de fallo

Y aquí nos indica que su frecuencia es media; ahora solo nos falta encontrar a cuanto equivale su criticidad y obtener el grado que tiene este equipo; par dicho resultado necesitamos la “Consecuencia de falla” el cual nos presenta los distintos casos y el valor que adquiere cada uno.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Columna	Descripción	Valor
A	Provocó paro total del centro de trabajo (Interrumpió totalmente la producción del centro de trabajo).	14
B	Provocó afectación parcial del centro de trabajo (Interrumpió en forma parcial la producción del centro de trabajo, disminuyendo carga o paro total en otras plantas, unidades o secciones).	12
C	Provocó paro total de la planta, unidad o sección donde se localiza el equipo, instalación o sistema analizando, sin afectar otras plantas.	10
D	Provocó pérdida de producción del 20% o más de la planta, unidad o sección, en el momento de las fallas del equipo, instalación o sistema analizado (sin considerar el paro total), sin afectar otras plantas.	9
E	Provocó pérdida de producción del 5% al 19% de la planta, unidad o sección, en el momento de las fallas del equipo, instalación o sistema analizado.	8
F	Provocó la pérdida de la función del equipo, instalación o sistema analizado, pero no interrumpió ni disminuyó la capacidad de producción de la planta, unidad o sección.	6
G	Se perdió eficiencia o afectó la calidad del producto de la planta, unidad o sección.	4
H	Provocó pérdida del relevo en el equipo, instalación o sistema analizado.	3
I	Daños irreversibles y reversibles al ambiente y que no cumplan con las regulaciones y leyes ambientales.	14
J	Impacto ambiental mitigable sin violación de leyes y regulaciones y es restaurado.	4
K	Muerte o incapacidad total y parcial permanente, lesiones severas o enfermedades de uno o más miembros de la empresa.	14
L	Lesiones o enfermedades en uno o varias personas de la instalación, que requieren suspensión laboral sin incapacidad.	4
M	Ocasiona costos no relacionados con la pérdida de producción mayor al 30% del valor del equipo, instalación, sistemas analizados o instalaciones contiguas.	14

Figura10. Consecuencia de fallo.

En este caso tomamos las columnas D,E y G que es lo que se acerca a los problemas que se presentaron por las fallas en cual nos da un valor de 21; el cual sera anexado a nuestro programa y asi sacar la criticidad.

PROB DE FALLA CONSECUENCIA DE LA FALLA ANALISIS DE CRITICIDAD

Figura 11. Calculo de Criticidad

Y con este dato checar en la última tabla para ver a qué grado pertenece.

Rango de Valor Absoluto	
>120	"A" ó Alta
>70 y <119	"B" ó Media
< 69	"C" ó Baja



Figura 12. Tabla de Grado de Criticidad

Con esto podemos saber que el equipo dinámico se encuentra en el Grado “B” y es de media. Con estos datos podemos crear nuestra base de datos.

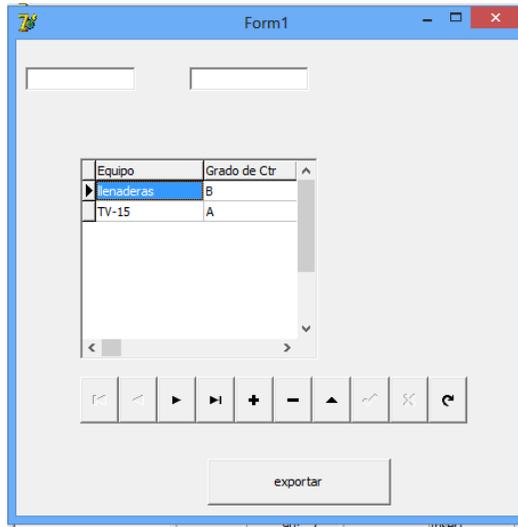


Figura 13. Base de datos

Con esta base de datos podemos almacenar a todos los equipo y el grado de criticidad, las dos secciones de arriba nos indican que equipo buscamos con la primera letra inicial o por su nombre completo, la otra nos marca de que grado de criticidad estamos buscando; el botón de exportar nos servirá para mandar toda nuestra base de datos a un paquete de office en este caso es a Excel para que pueda tener mayor maleabilidad a la hora de realizar los informes finales.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

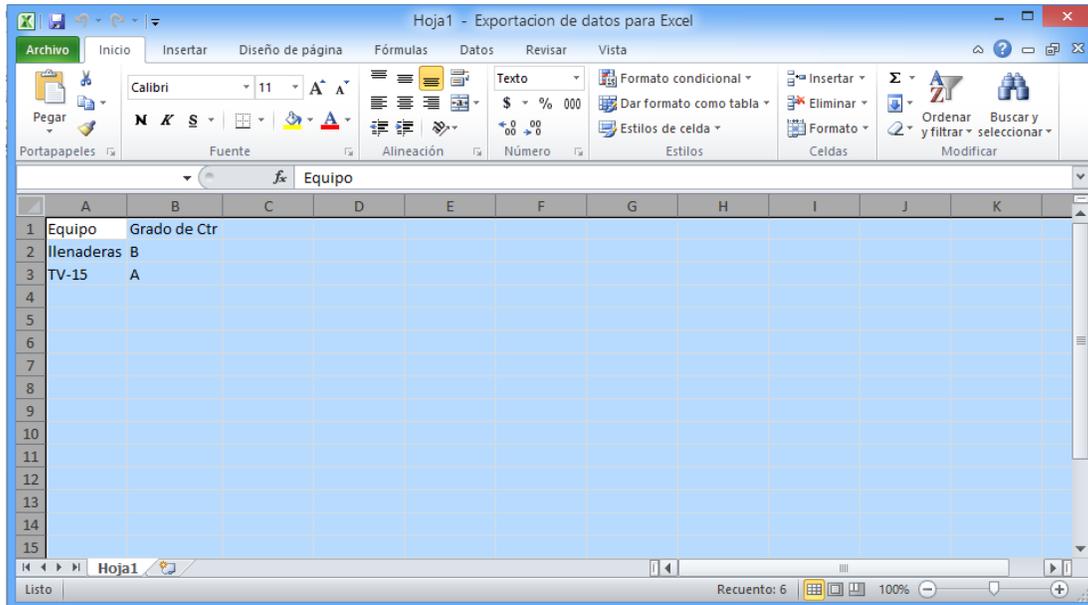


Figura 14. Exportación de la base de datos a Excel.



Bibliografía

- Ramírez, Rafael, “Introducción a la programación en Delphi”, 2007, 112p.
- Procedimiento Administrativo Institucional para la aplicación de la Metodología del Análisis de Criticidad para la Confiabilidad Operacional en instalaciones, procesos, sistemas o equipos en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, Derechos Reservados por Petróleos Mexicanos, 2012.
- Espinosa, Fernando, Confiabilidad Operacional de equipo: Metodologías y Herramientas, Universidad de TALCA, 2005