

**EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS GERENCIALES AL GRUPO DE  
MANTENIMIENTO DE UN CAMPO PETROLERO**

**OSCAR FERNANDO MEDINA RIVEROS  
LUIS ABRAHAM ROA NEIRA  
FÍDOLE ENRIQUE VILLAMIZAR DÍAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2004**

**EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS GERENCIALES AL GRUPO DE  
MANTENIMIENTO DE UN CAMPO PETROLERO**

OSCAR FERNANDO MEDINA RIVEROS  
LUIS ABRAHAM ROA NEIRA  
FÍDOLE ENRIQUE VILLAMIZAR DÍAZ

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: ALBERTO GALINDO CÁRDENAS  
Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2004**

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseamos expresar nuestro sentimiento de gratitud a los señores: Ingeniero ALBERTO GALINDO CÁRDENAS Líder del Departamento de Contratos de Occidental de Colombia, Inc, Ingeniero CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Coordinador del Posgrado de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander, cuya valiosa colaboración ha sido fundamental para la realización del presente trabajo; y por supuesto a nuestras familias, por el tiempo y paciencia que tuvieron con unos esposos y padres ausentes.

## **CONTENIDO**

	Pág.
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. FACILIDADES DE PRODUCCIÓN EN UN CAMPO PETROLERO</b>	<b>3</b>
1.1 Reseña General de La Empresa	3
1.2 Descripción de equipos y procesos principales	3
1.3 Grupo S.Q.C.	8
1.4 Evolución grupo de mantenimiento	12
<b>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	<b>14</b>
2.1 Análisis de causa raíz. R.C.A.	14
2.2 Mantenimiento Preventivo.	14
2.3 Aseguramiento de la calidad.	14
2.4 Diagnóstico.	14
<b>3 ESTRATEGIAS GERENCIALES EN MANTENIMIENTO</b>	<b>18</b>
3.1 Evolución del mantenimiento	18
3.2 Gestión del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y Riesgo. (R.C.M.)	19

3.2.1	¿Qué conclusiones podemos obtener de todo esto?	22
3.2.2	Determinación de las Políticas de Mantenimiento	24
3.3	T.P.M. una estrategia de gestión.	28
3.3.1	Las Metas del TPM	29
3.3.2	Pilares del TPM.	29
3.3.3	Ideología del TPM	30
3.3.4	Como aplicar el TPM – Reglas de sentido común.	30
3.4	Gestión del mantenimiento desde un análisis de Causa raíz (A.C.R.)	31
3.4.1	Introducción al Análisis Causa Raíz – ACR	31
3.4.2	Que es el ACR - Análisis Causa Raíz	32
3.4.3	Pasos del Análisis Causa Raíz – ACR	32
3.5	Análisis de Modos de Falla y Análisis de Efectos. (F.M.E.A).	37
3.6	Mejoramiento Continuo.	39
3.6.1	El PHVA y control de procesos industriales	39
3.6.2	¿Cuál es el propósito de tal metodología?	39
3.7	Optimización del Mantenimiento Preventivo (P.M.O.)	42
3.7.1	Beneficios de La Velocidad	42

3.7.2	Recopilación de Información.	42
3.7.3	Análisis de Modos de Falla	43
3.7.4	Revisión de los Modos de Falla	43
3.7.5	Análisis Funcional	44
3.7.6	Evaluación de Consecuencia	44
3.7.7	Determinación de la Política de Mantenimiento	45
3.7.8	Agrupación y Repaso	46
3.7.9	Aprobación e Implementación	46
3.7.10	Siguiendo el Programa	47
3.8	Gestión de Materiales	48
3.8.1	Repuestos para Prevención de Emergencias.	49
3.8.2	El sistema “ABC” de Control de Inventario.	51
<b>4</b>	<b>PROPUESTAS GERENCIALES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>53</b>
4.1	Propuesta Gerencial – Implementación P.M.O.	53
4.2	Selección de Área Piloto-Crítica.	54
4.3	Aplicación 9 pasos P.M.O.	58
	• Recopilación de Información	58

• Análisis de Modos de Falla	58
• Revisión de los Modos de Falla.	59
• Análisis Funcional.	59
• Evaluación de Consecuencia.	60
• Revisión de la política de Mantenimiento	61
• Agrupación y Repaso.	61
• Aprobación e Implementación	62
• Siguiendo al programa.	62
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de Generación del campo de Caño Limón	5
Figura 2. Proceso de Producción de las Facilidades.	7
Figura 3. Estación de Bombeo de PS-1.	8
Figura 4. Interacción del Grupo de S.Q.C en la organización.	10
Figura 5. Organigrama del grupo de Mantenimiento y Construcción.	11
Figura 6. Evolución del Grupo de Mantenimiento.	13
Figura 7. Análisis comparativo de índices de gestión de la Compañía vs. Clase mundial.	16
Figura 8. Circulo vicioso del mantenimiento reactivo	17
Figura 9. Evolución de las estrategias de mantenimiento.	19
Figura 10. Tasas de fallas vs. Tiempo-Vista Tradicional	20
Figura 11. Tasas de fallas vs. Tiempo-Condición Ideal	20
Figura 12. Tasas de fallas vs. Tiempo-Condición Real	21
Figura 13. Políticas de mantenimiento	22
Figura 14. Distribución Normal (Gauss).	23
Figura 15. Distribución Exponencial.	24
Figura 16. Determinación de la Política de Mantenimiento según R.C.M.	25
Figura 17. Políticas de Mantenimiento, según modos de Falla.	27
Figura 18. Tipos de conducta en TPM	31
Figura 19. Pasos del Análisis de Causa-Raíz	34
Figura 20. Círculo de calidad de Deming.	40
Figura 21. Sistema de control a retroalimentación del proceso de calidad.	41
Figura 22. Control y reducción de Inventarios.	48
Figura 23. Análisis de Pareto al control de Inventarios.	51
Figura 24. Matriz general de criticidad para unidad de Generación G201A.	57

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Mejores Prácticas de mantenimiento	15
Tabla 2. Ejemplo de aplicación del Análisis de F.M.E.C.A.	39
Tabla 3. Análisis de modos de falla en P.M.O	43
Tabla 4. Revisión de los modos de falla en P.M.O	44
Tabla 5. Análisis funcional en P.M.O.	44
Tabla 6. Evaluación de la consecuencia en P.M.O.	45
Tabla 7. Determinación de la política de mantenimiento en P.M.O.	46
Tabla 8. Sistema "ABC" de control de inventarios	52
Tabla 9. Análisis de Pareto 80/20.	54
Tabla 10. Factores ponderados de criticidad basados en concepto del riesgo	55
Tabla 11. Ejemplo Análisis modos de falla en P.M.O.	58
Tabla 12. Ejemplo revisión modos de falla en P.M.O.	59
Tabla 13. Ejemplo revisión análisis funcional en P.M.O.	59
Tabla 14. Ejemplo revisión evaluación de la consecuencia en P.M.O.	60
Tabla 15. Ejemplo revisión de la política de mantenimiento en P.M.O.	61

## GLOSARIO

**A.C.R:** Análisis de causa raíz.

**BACK LOG:** Período de tiempo necesario para que un grupo de mantenimiento ejecute todas las actividades pendientes, suponiendo que durante ese tiempo ningún servicio nuevo va a ser solicitado a ese grupo.

**BENCHMARK:** Comparación de rendimiento.

**CMMS:** Sistema computarizado para gerenciar mantenimiento

**DISPONIBILIDAD:** Capacidad de un sistema. Máquina o componente para desarrollar su función en determinado momento o durante un determinado tiempo, en unas condiciones y con un rendimiento dado.

**FEEDBACK CONTROL SYSTEM:** Sistema con control de retroalimentación.

**FMEA:** Modo de falla y análisis de su efecto.

**H.E.S:** Salud, medio ambiente, seguridad industrial (Health, environment, safety)

**HIGH-POT:** Equipo eléctrico que se usa para medir aislamiento a motores eléctricos, y conductores eléctricos.

**MI/QA** (Mechanical integrity / Quality assurance) Programa de integridad mecánica y aseguramiento de la calidad.

**OVERHAUL:** Mantenimiento que consiste en un desarme y reparación completa de un equipo.

**P.M.O:** Optimización del mantenimiento preventivo.

**R.C.M:** Mantenimiento centrado en confiabilidad.

**SAND-BLASTING:** Método de limpieza de piezas o equipos con chorro de arena.

**S.Q.C:** Unidad de negocio de servicios y control de calidad.

**TPM:** Mantenimiento productivo total.

**TTR:** Transformer test ratio. Equipo que sirve para medir y verificar la relación de transformación de los transformadores de potencia.

**VSD:** Equipo electrónico que permite variar frecuencia del voltaje y por lo tanto la velocidad de los motores sumergibles de los pozos petroleros.

**WINDROCK:** Equipo electrónico portátil que mediante sensores permite medir tiempos de inyección, picos de presión en las cámaras de combustión.

## INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento es frecuentemente el mayor costo controlable de operación en las industrias petroleras, de proceso pesado e industria minera. Al igual que es una función importante del negocio que impacta las facilidades de producción, la calidad del producto, el costo de producción, seguridad e impacto ambiental. Por estas razones, el mantenimiento exige ser la mejor práctica de las organizaciones, no visto simplemente como un costo para evitar, si no como ingeniería de confiabilidad, como función de un nivel alto del negocio. Debe ser considerado como un negocio valioso contribuyendo al mejoramiento continuo de la capacidad de los activos y a la ganancia del negocio.

Inicialmente, la evolución del mantenimiento aplicado en los diferentes equipos instalados en las facilidades de producción del campo petrolero, partiendo de un Mantenimiento Correctivo alto y Mantenimiento Preventivo teniendo en cuenta las recomendaciones sugeridas en los manuales del fabricante, luego, se perfecciona el Mantenimiento Preventivo, basándose en los diagnósticos dados por el área de Mantenimiento Predictivo usando la tecnología apropiada para cada aplicación, se trata entonces de aplicar el concepto de T.P.M. ( Mantenimiento Productivo Total ), para esto, se crea un grupo de operadores técnicos que hacen el mantenimiento de primera línea, hasta llegar a un mantenimiento preventivo especializado, basado en la condición del equipo y con influencia de control de calidad de las tareas y rutinas realizadas.

Sin embargo, al realizar un análisis del desarrollo de estos conceptos, se encontró que hubo varios inconvenientes como:

- Muchas horas dedicadas a mantenimiento reactivo.
- Pocas horas dedicadas a mantenimiento predictivo.
- Paradas de equipos sin programación previa.
- Pocas horas dedicadas a entrenamiento.

Todo lo anterior, llevó a investigar una filosofía del mantenimiento que continuando con estos conceptos, optimizara su aplicación, en cuanto a implementarla en el menor tiempo, empleando el recurso humano y físico existente y que se obtuviesen los resultados en un corto o mediano plazo, acorde con el tiempo de duración del proyecto de producción de crudo en el País.

Para tal efecto, se recomienda la implementación de una estrategia de mantenimiento basada en el Preventivo actual, pero optimizándolo y haciéndolo más competitivo para la época actual, conocido como PMO en sus siglas originales en inglés, (Optimización del Mantenimiento Preventivo).

El contenido de esta monografía se estructura en su primera parte, haciendo una breve descripción de los procesos industriales involucrados en la producción de petróleo y reseña histórica de la evolución del mantenimiento aplicado en los equipos instalados en el campo petrolero de Caño Limón, Arauca; luego, se hace un planteamiento del problema encontrado al tratar de cambiar el tipo de mantenimiento aplicado en su momento. En la tercera parte del análisis, se enuncian algunas estrategias gerenciales de mantenimiento, que influirán en los cambios propuestos de una manera metodológica y estructurada.

Finalmente, se plantea una propuesta gerencial de mantenimiento, consistente en la Optimización del Mantenimiento Preventivo (P.M.O.), que en esencia recomienda la aplicación de nueve pasos expuestos y desarrollados en el capítulo 4 del contenido de esta investigación, y que cumpliendo con estos, se logrará implementar esta metodología del P.M.O. en una organización como la existente actualmente en el Departamento de Mantenimiento, Construcción y Control de Calidad del Campo Petrolero de Caño Limón.

## **1 FACILIDADES DE PRODUCCIÓN EN UN CAMPO PETROLERO**

### **1.1 Reseña General de la Empresa Occidental de Colombia, Inc.**

La empresa Occidental de Colombia, Inc., es subsidiaria de una compañía petrolera multinacional dedicada a la exploración, explotación y producción de hidrocarburos en varias partes del mundo.

A comienzos de la década de los 80 decide explorar en Arauca, la exploración tuvo una duración de 3 años, hasta que en 1983 descubrió la presencia de hidrocarburos en el primer pozo productor.

El contrato de asociación para la explotación y manejo del campo petrolero se realizó el primero de julio de 1980. Este contrato de asociación permite explorar una zona determinada del territorio y la consiguiente explotación de los hidrocarburos de propiedad nacional que se encuentren en dicha área.

En 1983 se estimó la comercialidad del campo en 36 millones de barriles de crudo. Los cuales se incrementaron en mil millones dos años después.

El 25 de junio de 1993, la empresa celebró la producción del barril de crudo número 500 millones y el 29 de marzo de 2003 celebró su acontecimiento más reciente, haber llegado a los 1000 millones de barriles de crudo producido.

### **1.2 Descripción de Equipos y Procesos Principales**

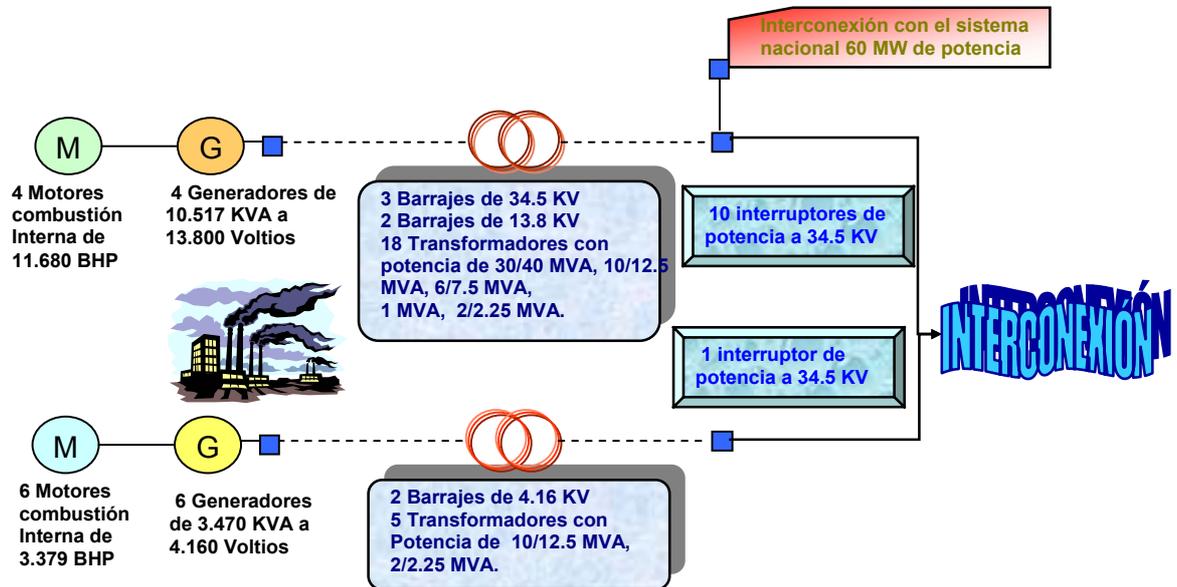
La empresa se dedica a actividades de exploración, explotación, producción y bombeo de crudo hacia Coveñas, en el departamento de Sucre, para su posterior

comercialización.

Para la ejecución adecuada de estas actividades de producción y bombeo en el campo petrolero se cuenta con una diversidad de equipos que entran a actuar en las diversas fases del proceso, así:

- La extracción de crudo de los pozos se realiza mediante bombas electrosumergibles, manejadas mediante variadores de velocidad (VSD), la energía se maneja con transformadores en cada pozo, se tienen instalaciones auxiliares de alumbrado, de medición de flujo y demás control de variables. En la actualidad hay más de 240 pozos en producción.
- Para abastecer la energía eléctrica a todos los equipos del campo se tienen sistemas de generación que proveen aproximadamente el 55% de la energía necesaria a los equipos (41 MW), el 45% restante es adquirido a la empresa de distribución de energía eléctrica local. Ver Figura 1. Se cuenta con equipos de generación eléctrica movidos por motores reciprocantes que utilizan dos tipos de combustible, diesel y petróleo crudo. Los generadores en total son diez (10), están distribuidos en dos grupos; cuatro (4) de ellos son generadores con capacidad de 10.5 MVA acoplados a motores turbo cargados de 16 cilindros en "V" y 12000 HP de potencia; los otros seis (6) son generadores que generan 2.5 MVA, acoplados a motores turbo cargados de 8 cilindros en línea y 3300 HP de potencia. Se tiene un sistema de distribución de energía a 34500 voltios constituido por cerca de 1000 estructuras y 200 kilómetros de líneas eléctricas.
- Existe una planta de re-inyección de agua con tres bombas centrifugas multi-etapa de 8000 GPD a 3470 RPM movidas por motores eléctricos de 1750 HP a 4160 voltios.

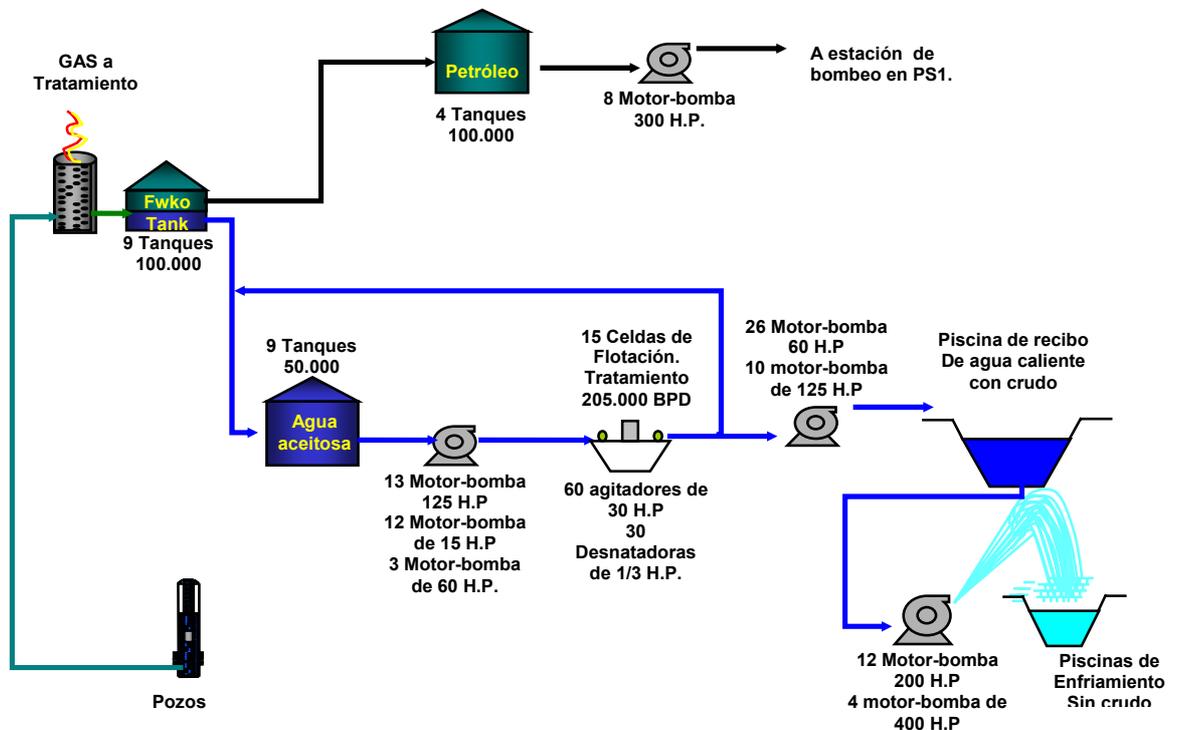
**Figura 1 Sistema de Generación de Energía del Campo de Caño Limón.**



- Existen un sistema de potencia eléctrico compuesto por líneas de distribución de energía eléctrica con niveles de tensión de 34500 voltios y de 13800 voltios, que cubren un millón trescientos mil hectáreas en el campo, para alimentar los 240 pozos actualmente en producción.
- Se cuenta con equipos contra-incendio, tanques de espuma y de agua, bombas de agua Peerles movidas por motores diesel de menos de 200 HP de potencia, todo con sistema de tuberías y válvulas. En las salas de máquinas se cuenta con sistemas de detección de llama, gases livianos, pesados y extinción automática con agua en las salas de generación y espuma en la sala de máquinas de bombeo.
- La red de tuberías es extensa y variada, ya que se usan tuberías de diámetros que van de ¼" hasta 20", para conducir los fluidos que se han mencionado.

- Las válvulas para manejo de fluido son de varios tipos: de compuerta, de globo, de retención, de bola, de mariposa, de alivio, de control de recirculación, de presión, con actuador, etc. que se usa para diversos fines, dentro del control de fluidos en el campo, son mas de 3500 válvulas en el campo, con tamaños desde ½ pulgada hasta 18 pulgadas.
- Los tanques de almacenamiento también son diversos tipos, hay tanques para almacenar aproximadamente 775.000 barriles de crudo totales en las facilidades, tanques de almacenamiento de agua crudo, gas, de químicos, de gasolina, de combustible diesel, de condensado, etc. Ver Figura 2
- Se cuenta con compresores que se usan para el aire de arranque de motores diesel y para instrumentación neumática de las máquinas y las facilidades de producción, son 24 compresores en total.
- Para los diferentes subprocesos de separación de agua y sólidos del crudo, manejo de aguas residuales, movilización de diversidad de fluidos como agua caliente, fría, tratada, contaminada, aceitosa, residual, etc.; crudo, combustible diesel, condensado y productos químicos se cuenta con multiplicidad de unidades motor eléctrico – bomba. Los hay de diversos tipos, verticales y horizontales, con variedad de caudales y velocidades. En total hay aproximadamente 310 motores eléctricos, unos 100 de menos de 15 HP y unos 210 de más de 15 HP de potencia.

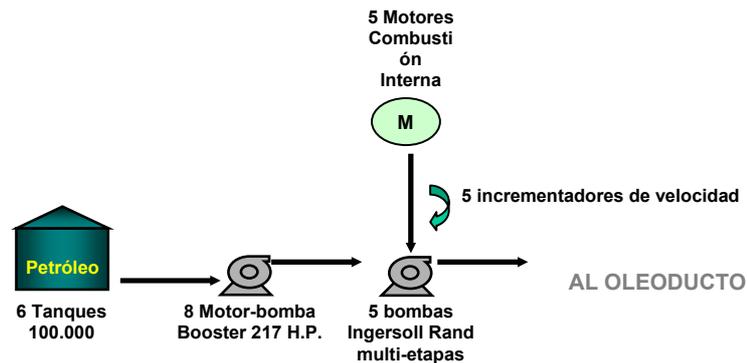
**Figura 2. Proceso de Producción de las Facilidades**



- Existen talleres con máquinas herramientas, tornos, fresadoras, rectificadoras, máquinas de sand-blasting y demás equipos que se requieren en un taller de metalmecánica. También se cuenta con diversidad de equipos de elevación y transporte, vehículos, puente-grúas de varias capacidades (de 8 a 30 Ton.), montacargas, elevadores, etc.
- Existen 5 salas de control desde las cuales se hace control y monitoreo de todas las variables de proceso de: facilidades de producción, estación de bombeo, unidades de generación y pozos.

- El bombeo de crudo hacia el oleoducto de transporte se realiza con cinco (5) unidades de bombeo de 8 etapas de 1863 GPM a 4500 RPM., movidas por motores de 3300HP. Ver Figura 3.

**Figura 3 Estación de Bombeo PS-1**



### EQUIPOS

- 20 ventiladores de 15 HP
- 10 motor-bombas 15 HP
- 4 módulos centrífugos para limpieza aceite y crudo
- 25 válvulas motorizadas
- Sistema contra incendio.

### 1.3 Grupo S.Q.C.

La unidad de servicio de mantenimiento (S.Q.C) es la encargada del manejo del contratista de mantenimiento, provee los recursos de personal a la unidad de negocio de generación y es responsable de la calidad del mantenimiento en las facilidades de producción. Ver Figura 4.

Se encarga de tener disponibles los repuestos de los equipos de las facilidades de producción y es responsable de mantener actualizada la base de datos del sistema de mantenimiento.

Lleva a cabo la planeación de las actividades de mantenimiento de las unidades de generación y operaciones (facilidades de producción), semanalmente realiza una reunión de programación de actividades de mantenimiento en la que participan las otras unidades de negocio.

Los ingenieros de SQC ejecutan rutinas programadas de mantenimiento predictivo con actividades como termografías, medidas de aislamiento e índice de polarización, pruebas de impulso en motores eléctricos y generadores, en transformadores de potencia TTR, (Transformer test ratio, prueba de relación de transformación), resistencia de devanados, factor de potencia, todas las pruebas a los aceites dieléctricos; a los cables de potencia High-pot., (prueba de alto voltaje); vibraciones en motores eléctricos, análisis del comportamiento de los motores de combustión interna con equipos como Windrock que mide tiempos, presión, temperatura; medida de flujos y eficiencia de bombas; análisis de aceites de lubricación, ultrasonido, tintas penetrantes.

De igual manera este grupo realiza reporte de análisis de falla de partes o equipos con alto potencial de pérdidas económicas, humanas o de efecto al medio ambiente con parámetros fijados por la compañía en Colombia pero bajo estándares de la casa matriz.

Adicionalmente, esta unidad de negocio es responsable de la construcción de proyectos civiles, mecánicos y eléctricos en los pozos, dado que la compañía requiere la perforación casi permanente de pozos para mantener el nivel de producción de acuerdo con los objetivos de la casa matriz, y construcción en las facilidades de producción. En la Figura 5 se muestra el organigrama actualizado

de la unidad de servicio S.Q.C., responsable del mantenimiento de los equipos de las facilidades y campo.

**Figura 4. Interacción del Grupo de SQC en la organización.**

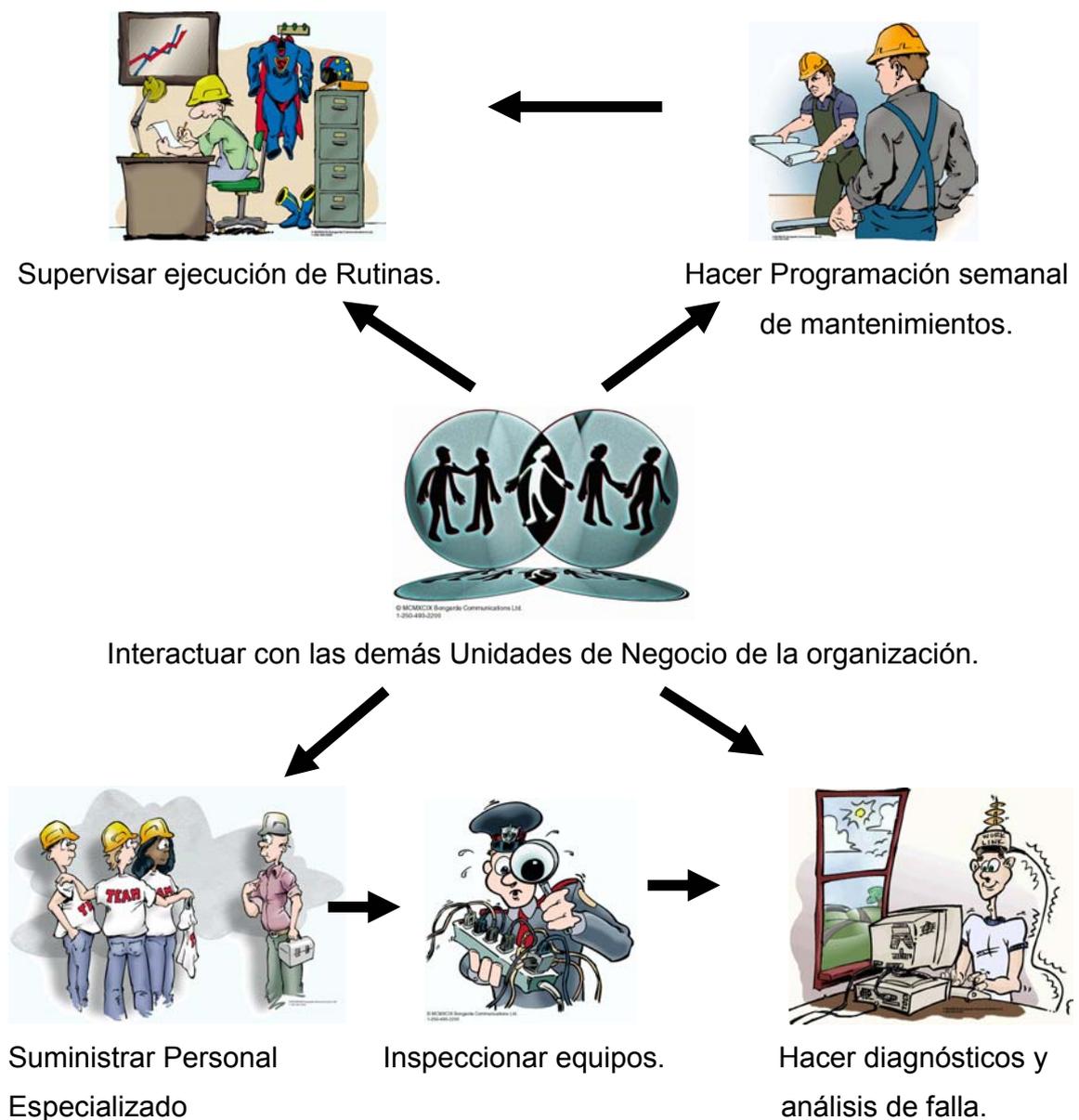
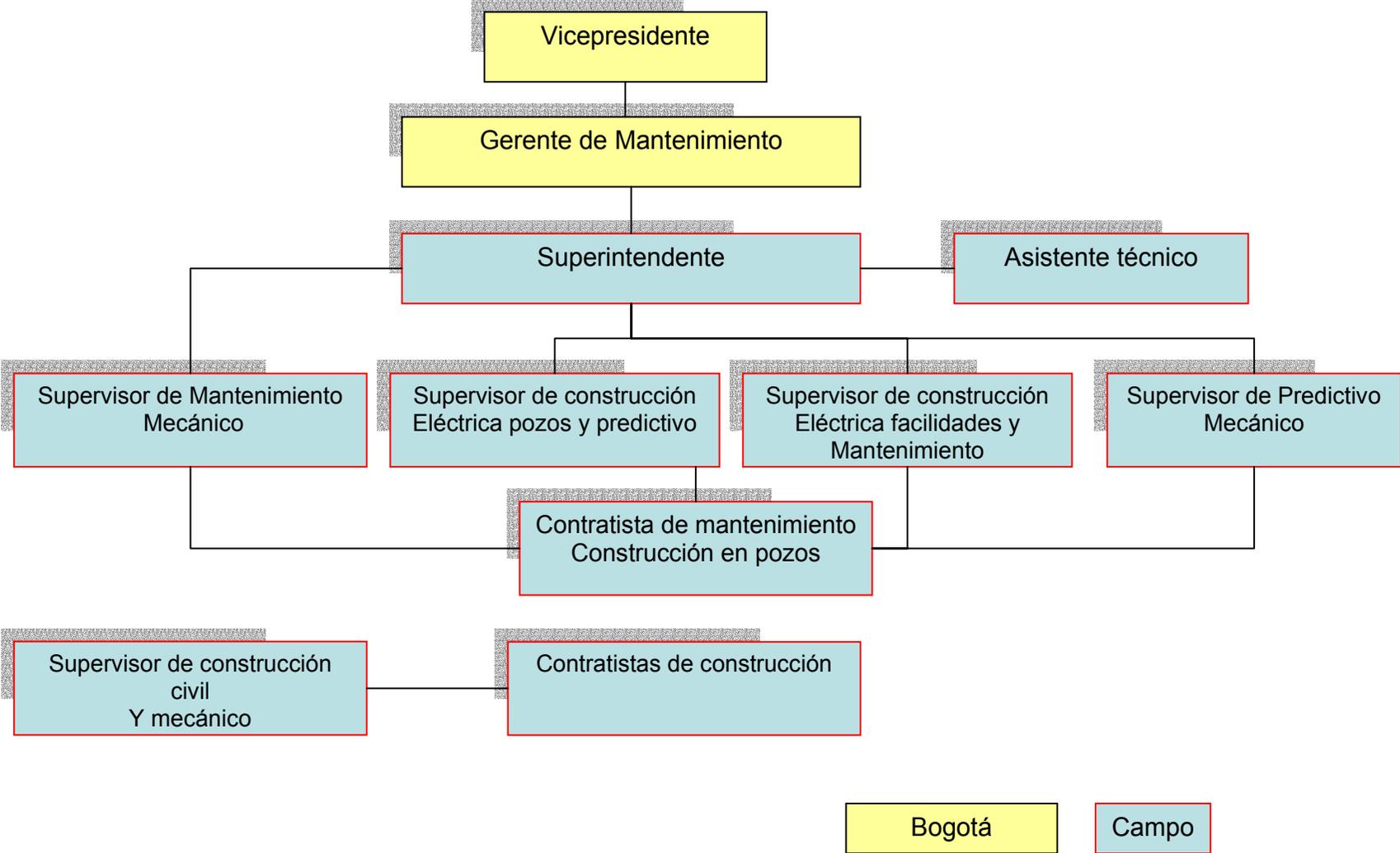


Figura 5. Organigrama actual del grupo de Mantenimiento y Construcción de Occidental de Colombia, Inc

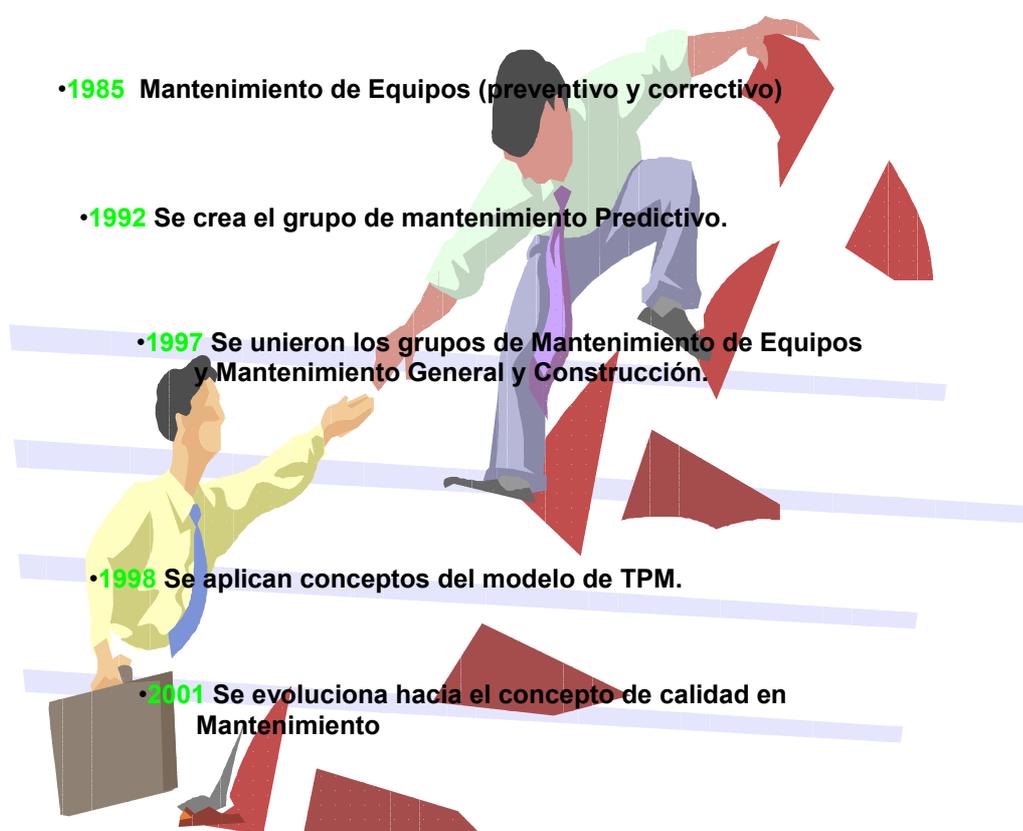


#### **1.4 Evolución del Grupo de Mantenimiento**

- Inicialmente el grupo de mantenimiento estaba conformado por Gerente funcional, Superintendente, Supervisores señor, supervisor júnior y jefes técnicos, técnicos del grupo base propio y técnicos de grupo suministrado por contratista. Mantenimiento correctivo alto y mantenimiento preventivo basado en los manuales del fabricante. Ver Figura 6.
- Sigue la misma estructura funcional con la diferencia de que el grupo base de técnicos con supervisión de la compañía. Personal suministrado pasó a ser personal propio. Se forma el grupo de planeación y mejora el mantenimiento preventivo como consecuencia de la revisión de las rutinas basadas en la experiencia, disminuye el mantenimiento correctivo.
- Desaparece el gerente funcional, el superintendente reporta al gerente de campo (operativo), se contratan mantenimientos mayores. Mejora el mantenimiento preventivo, (mejora de las rutinas como consecuencia de la revisión de las mismas). Mantenimiento por condición a cierto grupo de equipos, (motores eléctricos y bombas en general), basado en el predictivo y criticidad de los equipos. Se hace análisis de fallas.
- Se aplican conceptos de TPM con personal del grupo de operaciones, el grupo de mantenimiento administra el contrato de mantenimiento, hace supervisión directa, da soporte técnico y realiza acciones de control al contratista que hace mantenimientos menores y mayores.
- Se forman unidades de negocios responsables de un área de la compañía, nuevamente hay gerente funcional, aparecen guías de MI/QA (Mechanical Integrity / Quality Assurance), continúa el contratista que hace mantenimientos

menores y mayores y hace supervisión directa; empresa y contratista hacen planeación paralela.

**Figura 6. Evolución del grupo de Mantenimiento**



## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **2.1 Análisis de causa raíz. ACR**

El departamento de mantenimiento tiene un grupo responsable del programa de mantenimiento predictivo quienes también realizan los análisis y reportes de falla, aunque solamente aplicados a fallas esporádicas de equipos con alta incidencia en el proceso. Adicionalmente el seguimiento de las acciones correctivas y recomendaciones no tiene registro, no hay análisis estadístico de fallas recurrentes y por consiguiente el análisis de tendencias y predicción de fallas futuras se hace deficiente.

### **2.2 Mantenimiento Preventivo**

Todos los equipos considerados como críticos para la producción, generación, seguridad de campo y control de incendios tienen asignadas rutinas preventivas. Estas tareas de mantenimiento existentes son derivadas de las recomendaciones de los fabricantes, experiencias adquiridas, aportes del grupo técnico y de ingeniería, y en algunos casos las recomendaciones de los reportes de falla.

La periodicidad y los contenidos de estas rutinas han sido revisados con alguna frecuencia pero aun así, se observa redundancia en las tareas y para el personal de mantenimiento no hay suficiente claridad acerca del enfoque de la tarea y el tipo de falla que se quieren evitar.

### **2.3 Diagnóstico del problema.**

En la práctica las personas de mantenimiento tienen una percepción de las falencias en la gestión de mantenimiento, pero con el fin de evitar consideraciones subjetivas se realizó un análisis comparativo de algunos índices de gestión con los

estándares mundiales de mantenimiento. Los índices de la empresa fueron resultado del análisis estadístico de la información obtenida del CMMS del año 2002.

**Tabla 1. Mejores Prácticas de Mantenimiento**

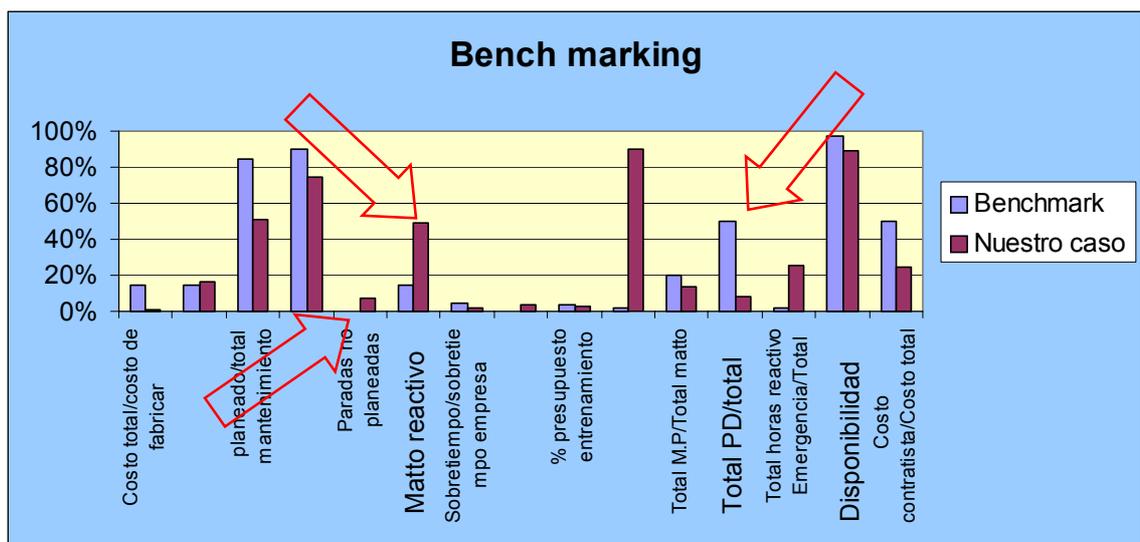
<b>Categoría</b>	<b>Benchmark <sup>1</sup></b>	<b>Datos de Campo <sup>2</sup></b>
<b>Costo anual de Mantenimiento:</b>		
Costo Total de Mantenimiento / Costo Total de Producción	< 10-15%	1.0%
Horas Hombre mantenimiento como un % del total de la compañía	15%	16%
<b>Mantenimiento Planeado:</b>		
Mantenimiento planeado / Total de Mantenimiento	> 85%	51%
Mantenimiento Planeado y Programado como % de Horas trabajadas	~85-95%	75%
<b>Paradas No Planeadas</b>	~0%	6.8%
<b>Mantenimiento reactivo:</b>	< 15%	49%
<b>Sobre tiempo de Mantenimiento:</b>		
Sobre tiempo en Mantenimiento / $\overline{\text{Ti}}$ Total en Mantenimiento	< 5%	2%
<b>Re-trabajos de Mantenimiento:</b>		
Órdenes de Re-trabajos / Total de Órdenes de Trabajo	~0%	4%
<b>Entrenamiento:</b>		
Horas/año, para al menos el 90% de trabajadores	> 80 horas/año	8.33
Costo de entrenamiento (% del salario)	~4%	2.30%
<b>Comportamiento en Seguridad Industrial:</b>		
Lesiones Registrables por cada 200,000 horas trabajadas (OSHA).	< 2	0.9
<b>Estrategias de Mantenimiento Mensuales:</b>		
Horas totales de Mantenimiento Preventivo / Horas totales de Mantenimiento disponibles	~20%	14%

<sup>1</sup> MITCHELL John S. *et al.* "Physical Asset Management Handbook" Internet.

<sup>2</sup> Tomados de sistema CMMS compañía petrolera año 2002

Categoría	Benchmark <sup>3</sup>	Datos de Campo <sup>4</sup>
Horas totales de Mantenimiento Predictivo / Horas totales de Mantenimiento disponibles	~50%	8%
Reactivo de Emergencia / Horas Totales de Mantenimiento Disponibles	~2%	25%
<b>Disponibilidad de la planta:</b>		
Tiempo disponible/ Máximo tiempo disponible	> 97%	89%
<b>Contratistas:</b>		
Costo de contratista / Costo total de Mantenimiento	35-64%	24%

**Figura 7. Análisis comparativo de índices de gestión de la compañía vs. clase mundial**



De la tabla 1 y del cuadro comparativo, de la Figura 7 se desprende que la actual estructura de mantenimiento tiene debilidades que confirman las percepciones iniciales, tales como:

- Muchas horas dedicadas a mantenimiento reactivo

<sup>3</sup> MITCHELL John S. *et al.* "Physical Asset Management Handbook" Internet.

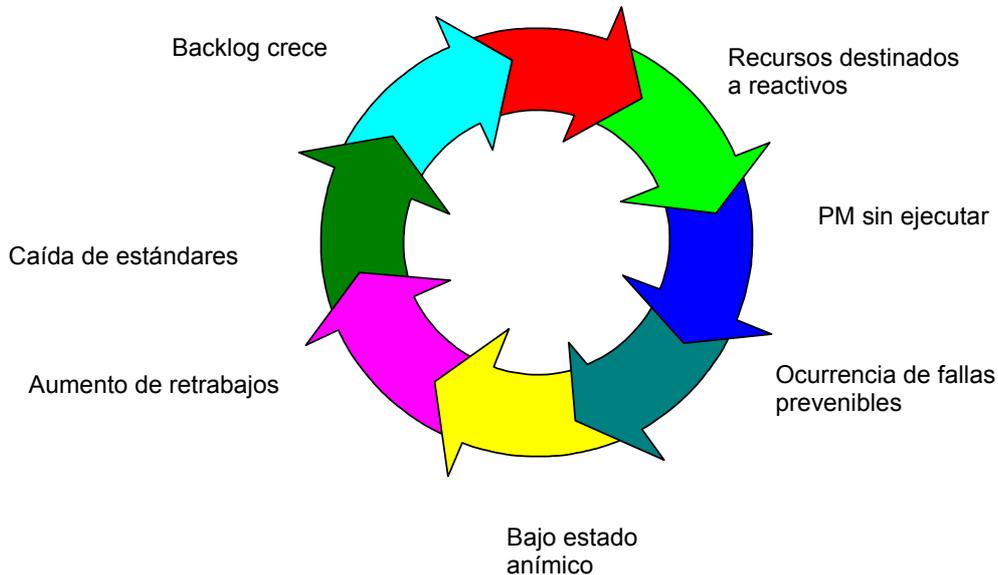
<sup>4</sup> Tomados de sistema CMMS compañía petrolera año 2002

- Pocas horas dedicadas a mantenimiento predictivo
- Paradas de equipos sin programación previa
- Pocas horas dedicadas a entrenamiento

Aunque en la práctica los trabajos no planeados demandan pocas horas-hombre, la cantidad de órdenes atendidas es alta y generalmente de atención inmediata, convirtiéndose en la causa principal del alto mantenimiento reactivo.

En la figura 8, se muestra el círculo vicioso del mantenimiento reactivo. Cuando un equipo crítico falla, las horas hombre se dedican a atender esta emergencia desplazando los trabajos preventivos programados y planeados; luego aplazar los mantenimientos programados, no permite la detección de fallas en progreso, bajan el estado anímico de los trabajadores por extensas jornadas de trabajo y alta presión; caen los estándares de trabajo, aumentan los retrabajos, el back Log tiende a crecer y de esta manera continua el aumento de la espiral del mantenimiento reactivo.<sup>5</sup>

**Figura 8. Círculo vicioso del mantenimiento reactivo**



<sup>5</sup> TURNER Steve. "Introducing PM OPTIMIZATION". OMCS Pty Ltd Internet, 2000

### 3 ESTRATEGIAS GERENCIALES EN MANTENIMIENTO

#### 3.1 Evolución del Mantenimiento

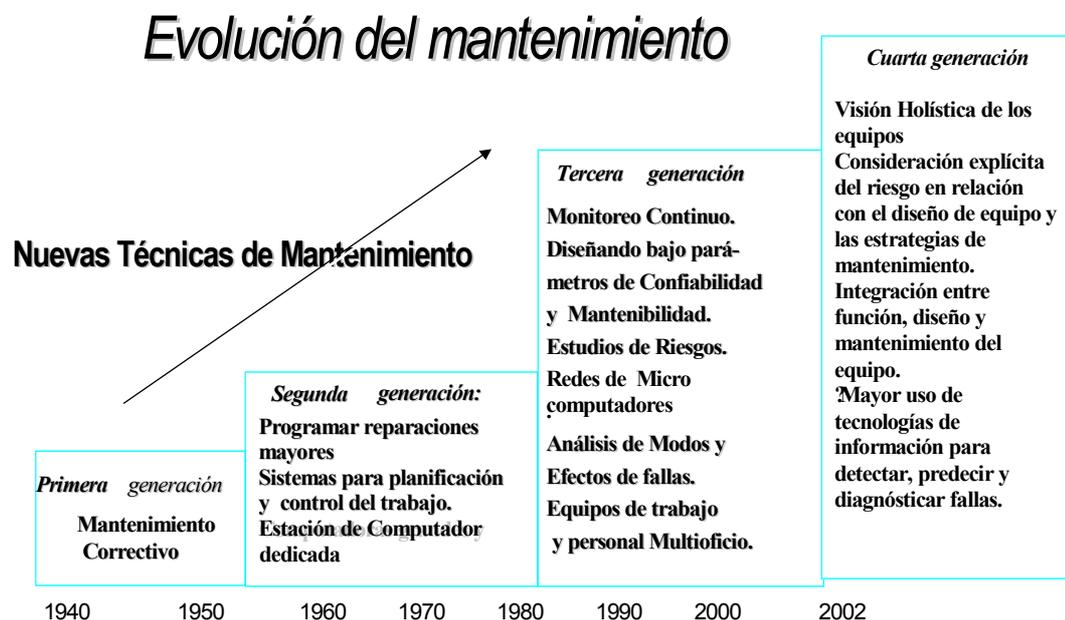
- **Primera generación.** Inicia en un mantenimiento de avería en el cual se actúa porque el elemento sufrió daño por desgaste o una mala operación, se arregla el daño por sustitución del elemento, ver Figura 9.
- **Segunda generación.** Mantenimientos que procuran anticiparse a la avería como el preventivo, trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada. Aparece el concepto de mantenimiento preventivo sistemático, que consiste en un riguroso programa de vigilancia e inspecciones.
- **Tercera Generación.** Uno de los principales objetivos es la búsqueda de cero paradas en servicio. Se imponen las teorías de TPM, RCM, RCA, fortalecidos por los procesos de mejora continua, mantenimiento por condición, monitoreo de parámetros. Aparecen conceptos de diseño bajo parámetros de confiabilidad y mantenibilidad, estudio de riesgos, análisis de modo y efectos de falla.
- **Cuarta generación<sup>6</sup>.** Construida con base en el exitoso establecimiento de las técnicas de mantenimiento de tercera generación, se evoluciona hacia una visión más holística de los equipos y sus funciones. Sus principales características son:
  - Consideración explícita del riesgo, particularmente a niveles superiores de la organización, en relación con el diseño de equipo y las estrategias de mantenimiento.

---

<sup>6</sup> Dunn . Reinventing the maintenance process. Towards zero down time. Internet. 1998

- Un mayor grado de integración entre requerimientos funcionales, diseño del equipo y mantenimiento.
- Un mayor uso de las tecnologías de información para detectar, predecir y diagnosticar fallas en los equipos.

**Figura 9. Evolución de las estrategias de mantenimiento. <sup>1</sup>**



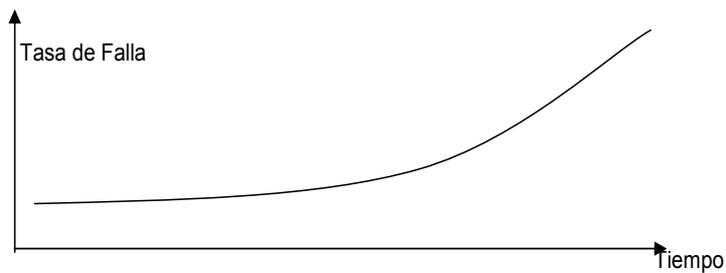
### **3.2 Gestión del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y Riesgo. (RCM)**

La idea central de RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la FUNCIÓN que realizan los equipos más que a los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina la que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su

función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esa función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan. Estas últimas son las FALLAS.

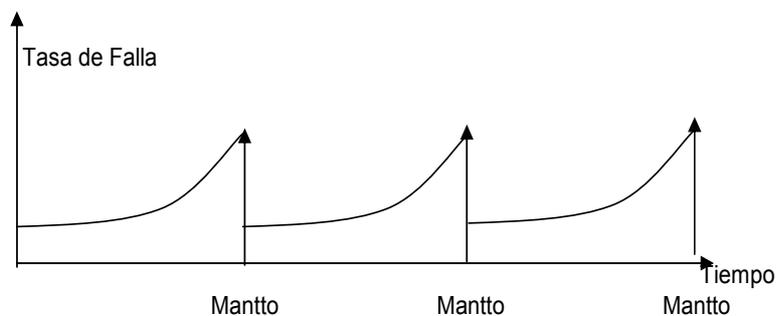
La idea general que existe es que la edad de las máquinas tiene un efecto adverso sobre su confiabilidad, esto es, que a medida que envejecen fallan con más frecuencia, figura 10. El parámetro que mide esta condición es la tasa de fallas.

**Figura 10. Tasa de fallas vs. tiempo. Vista tradicional**



La hipótesis que está detrás de todo sistema de Mantenimiento Preventivo es que, es posible encontrar una frecuencia de inspecciones que logra prevenir o detectar la mayoría de las fallas y con ello evitarlas a tiempo y de que es posible determinar una edad o período de vida útil de una máquina o componente que permite cambiarlo asegurando con ello que no va a fallar. Figura 11.

**Figura 11. Tasa de fallas vs. tiempo. Condición ideal**

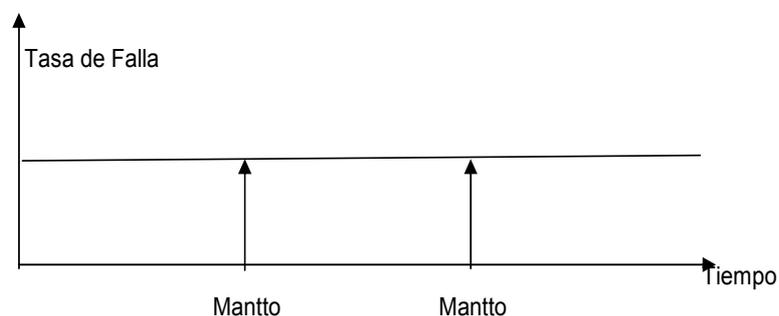


Durante muchos años esa frecuencia o edad fue establecida por los mantenedores basados en su experiencia e intuición más que sustentados en estudios serios. Este enfoque era apropiado para el caso de mecanismos sencillos. Pero en el caso de sistemas complejos, como lo es la maquinaria moderna, la realidad es distinta. Los múltiples componentes de ellas tienen comportamientos de falla diversos según sus características y la combinación da como resultado, generalmente, que el sistema como conjunto falla en forma impredecible, ver Figura 12.

Esto produce como resultado que las acciones de mantenimiento referidas al equipo completo, como es el caso de las reparaciones generales, no suelen producir el efecto de mejorar la confiabilidad o reducir las fallas.

Los estudios estadísticos realizados sobre equipos complejos han mostrado que en más de un 90% de los casos la probabilidad de falla no aumenta con la edad sino que es más o menos constante a lo largo del tiempo.

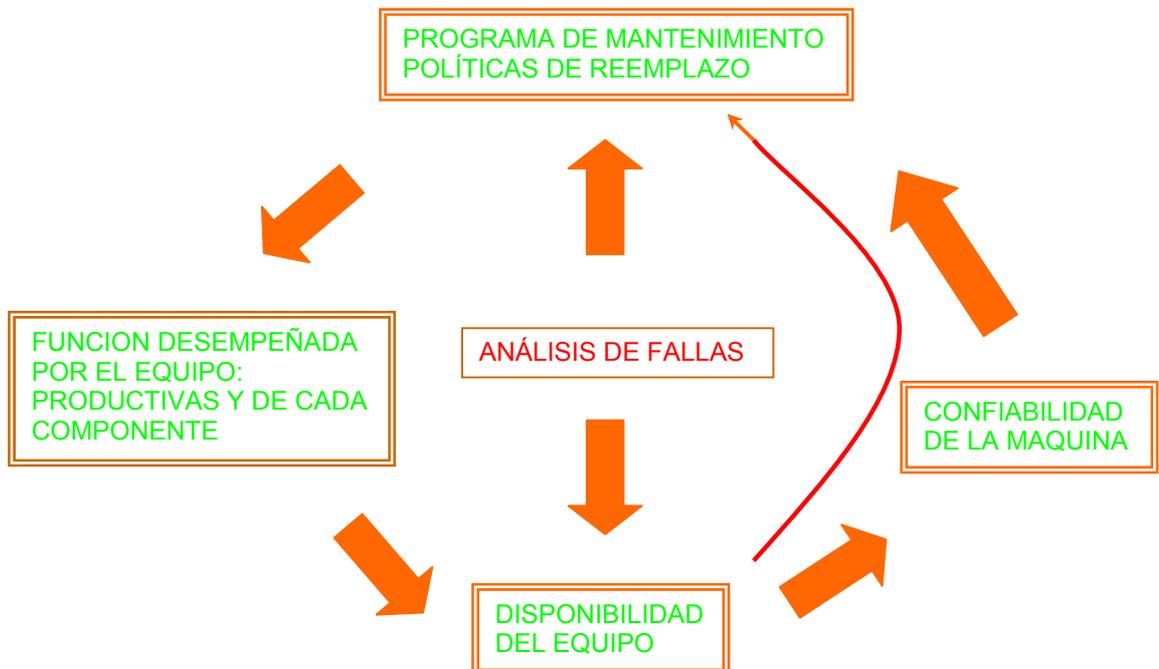
**Figura 12. Tasa de fallas vs. tiempo. Condición real**



### 3.2.1 ¿Qué conclusiones podemos obtener de todo esto?

- La primera es que, dado que lo que interesa es la disponibilidad del equipo que a su vez depende de las fallas, cualquier programa de mantenimiento debe sustentarse en un análisis de ellas, o sea, de la confiabilidad de la máquina. Ver Figura 13.
- La segunda es que, más que el equipo mismo, interesa la función que él desempeña, que es la que realmente produce resultados, y que se ve interrumpida por las fallas.
- La tercera es que deben cuestionarse todos aquellos planes de mantenimiento o políticas de reemplazo que no se sustentan en un análisis de confiabilidad, a fin de determinar si es posible disminuir la cantidad de trabajo de mantenimiento preventiva y mantenimiento programado que se está haciendo, tomando como base su influencia sobre la cantidad de fallas.

**Figura 13. Políticas de mantenimiento**

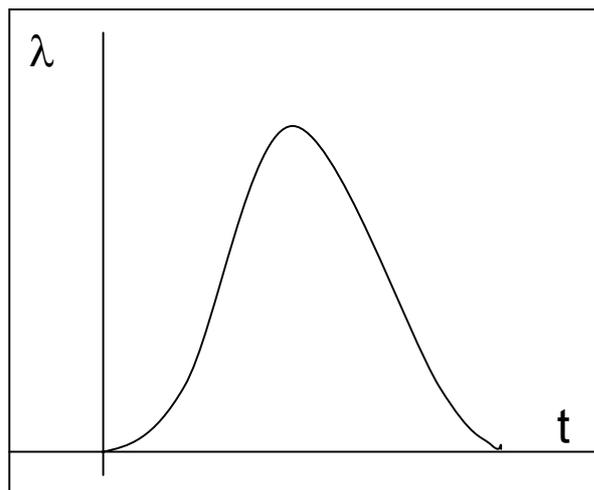


- La cuarta es que el análisis debe ser sistemático tanto en extensión, de tal manera de cubrir todas aquellas funciones productivas importantes de la planta, como en profundidad, al interior de cada función, de tal manera de detectar todas las máquinas o sus componentes que están afectando su confiabilidad.

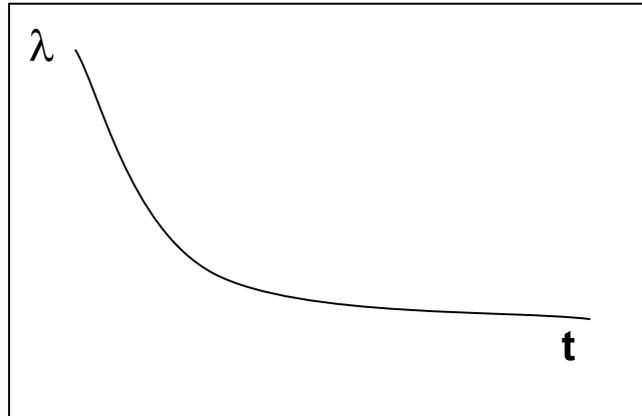
En general se puede decir que hay dos procesos básicos que producen las fallas:

- El desgaste en sus diversas formas que es un fenómeno continuo, generalmente medible y en que el tiempo entre fallas tiene una distribución que se acerca a la distribución normal o de Gauss (Figura 14).
- Y el deterioro, rotura o anomalía al azar que no sigue regla alguna y cuya distribución de tiempos entre fallas se acerca a una exponencial (Figura 15).

**Figura 14. Distribución normal (Gauss).**



**Figura 15. Distribución exponencial**



En la medida que sea posible clasificar las funciones de los equipos y sus componentes en alguno de estos dos grandes grupos será posible definir políticas de mantenimiento y de reemplazo efectivas.

En el primer caso, cuanto menor sea la dispersión de los valores alrededor de la media, mejor será ésta como parámetro para predecir la falla y será posible establecer programas de mantenimiento preventivo o programado tomándola como base.

En el segundo caso sólo se justificarán políticas de mantenimiento a la falla o de mantenimiento sintomático o predictiva como suele denominarse a los sistemas basados en la predicción de fallas por medio de complejos y sensibles equipos de detección de síntomas.

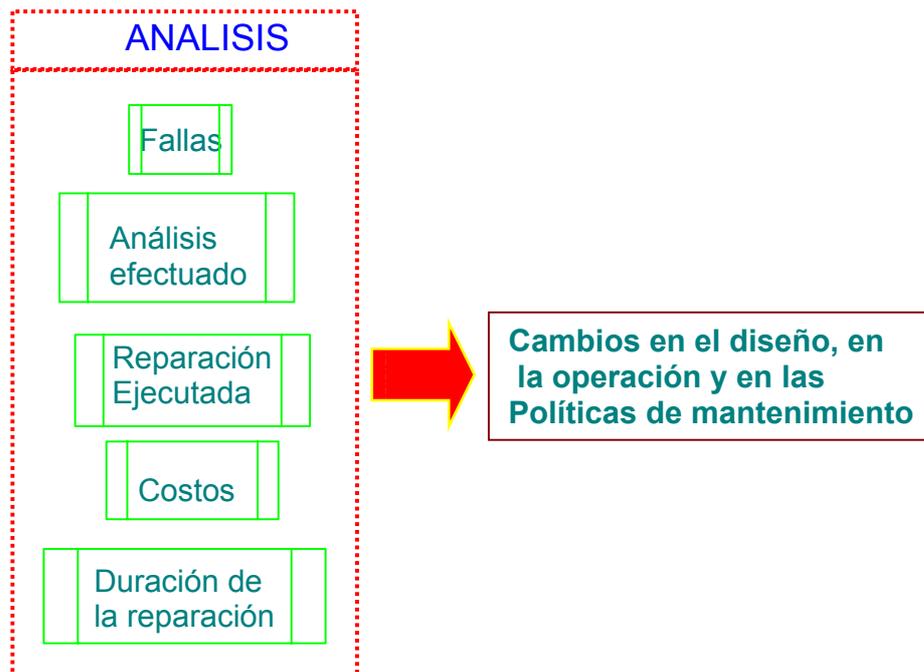
### **3.2.2 Determinación de las Políticas de Mantenimiento.**

El proceso sistemático de análisis de confiabilidad se inicia con la identificación de las funciones y la variedad de fallas de funcionamiento que ellas presentan, así como sus causas principales.

Por ejemplo, el mantenimiento del sistema de inyección en un motor diesel de un camión o de un bus hecha según RCM, se enfoca en qué hace el sistema (su

función) en vez de en qué consiste el sistema (un conjunto de componentes y ductos descrito en un juego de planos o en el manual de taller).

**Figura 16. Determinación de política de mantenimiento según R.C.M.**



Las funciones deben ser desglosadas en sus partes componentes a fin de aislar especialmente aquellas que más fallan buscando identificar las formas dominantes de las fallas y clasificarlas en alguno de los dos grandes grupos indicados anteriormente. Ello permitirá definir el tipo de política de mantenimiento que se le debe aplicar. El análisis de las fallas se realiza sometiéndolas a un proceso de cuestionamiento según un esquema jerarquizado de análisis de decisiones cuyas respuestas identifican los requerimientos de mantenimiento. Ver Figura 16.

Para poder realizar este análisis se requiere contar con un sistema de información que detecte las fallas, registre el análisis efectuado y la reparación ejecutada y los relacione con el tipo de política de Mantenimiento Preventiva que está en

vigencia. Es importante que se puedan registrar los datos de costos y duración de las reparaciones, lo que permitirá discriminar, más adelante, entre diversas políticas. El análisis cuidadoso de las fallas debe conducir a cambios en el diseño, en la operación y en las políticas de mantenimiento.

La confiabilidad es, básicamente, una condición de diseño y, por lo tanto, las soluciones radicales son aquellas que la modifican. Sin embargo, muchas veces la única solución que está al alcance del mantenedor es la definición de la política de mantenimiento.

Las políticas son tres: mantenimiento a la falla, mantenimiento programado estadístico y mantenimiento sintomático. A esta última se le llama también mantenimiento predictivo o según condición.

Cuando la falla de la función no afecta directamente a la seguridad de las personas o de la planta se puede determinar la política óptima basándose en los costos de cada una.

En la Figura 17, se muestran los distintos casos según si la tasa de fallas es decreciente, constante o creciente. La tasa de fallas constante corresponde al típico caso de fallas al azar, mientras que la tasa de fallas creciente se asocia con fallas por desgaste.

La determinación entre una y otra política dependerá del costo unitario de las acciones de mantenimiento asociadas a cada política.

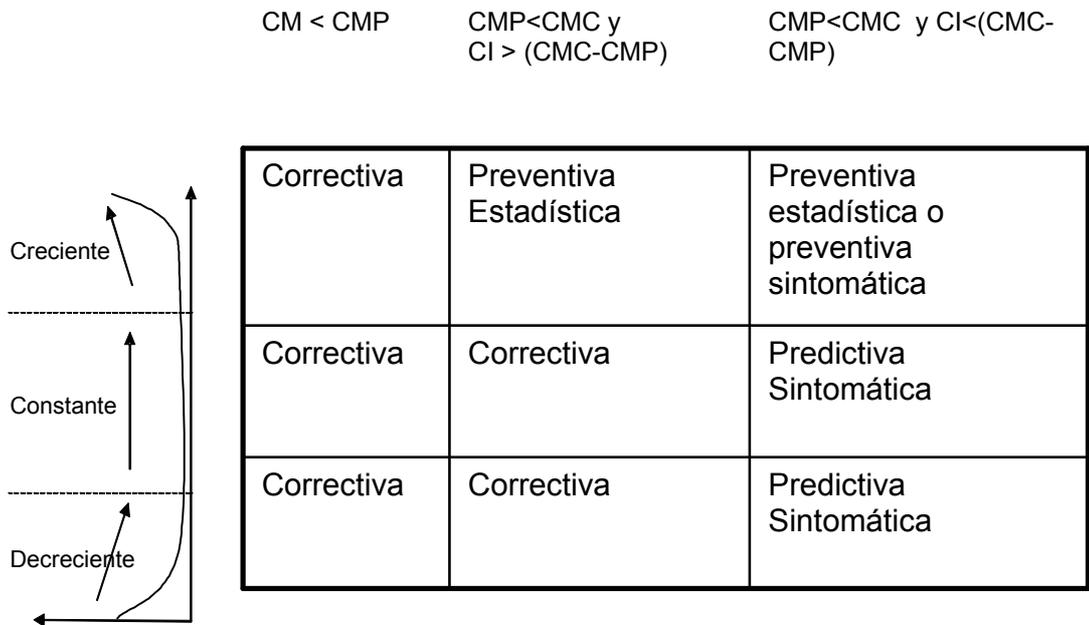
El significado de las siglas es el siguiente:

CMC = Costo Global por Mantenimiento Correctiva

CMP = Costo Global por Mantenimiento Programado

CI. = Costo por realizar una Inspección Predictiva

**Figura 17. Políticas de Mantenimiento según modos de falla**



Cuando  $CMC < CMP$ , la política de mantenimiento debe ser mantenimiento correctivo porque el equipo no es crítico o porque las consecuencias de la falla no son costosas.

Cuando  $CMP < CMC$  y  $CI > (CMC - CMP)$ , el costo de hacer mantenimiento predictivo es alto por tal razón se hará mantenimiento correctivo si la tasa de fallas es constante o decreciente y para tasas de falla crecientes se establecerá una frecuencia de mantenimiento preventivo teniendo en cuenta la estadística de falla presentada.

Cuando  $CMP < CMC$  y  $CI < (CMC - CMP)$ , el costo de mantenimiento predictivo es menor. En este caso se harán tareas de inspección predictiva para tasa de falla decreciente y constante. Si la tasa de fallas no esta controlada con las tareas de inspección predictiva, se deben establecer rutinas de mantenimiento preventivo por frecuencia o por condición.

El análisis de las fallas en sistemas complejos puede ser bastante complicado, dadas las relaciones entre los componentes y el número de ellos, de manera que lo más conveniente es abordarlo en forma global, con intervención de todas las personas y niveles de la organización que están involucrados y en forma sistemática, de tal manera que no quede ningún factor sin ser tomado en cuenta.

Una forma práctica de hacer esto es aplicando el llamado "Mantenimiento Productivo Total" (TPM.) desarrollada en Japón con muy buenos resultados.

### **3.3 T.P.M. una Estrategia de Gestión.**

Es una actividad de mantenimiento de la producción donde todo el personal se involucra activamente conservando y manteniendo la integridad de los recursos en perfecto estado para la producción.

### **3.3.1 Las Metas del TPM <sup>7</sup>.**

- Maximizar la eficacia del equipo. (Mejorando la efectividad global).
- Desarrollar un sistema completo de mantenimiento productivo y sistemático para todo el ciclo global de vida del equipo. (Toda la vida útil del equipo).
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan y mantienen los equipos en la implementación del TPM (Ingeniería, producción y mantenimiento).
- Involucrar activamente a todos los empleados, partiendo desde la alta gerencia hasta los colaboradores de taller.
- Realizar la promoción del TPM a través de la gestión de la motivación llevada a cabo en pequeños grupos de trabajo con actividades autónomas.

### **3.3.2 Pilares del TPM.**

Los pilares donde se soporta la filosofía del TPM se encuentran sobre:

- La búsqueda de la maximización de la eficiencia global de productividad de los equipos.
- Hacer partícipe del mantenimiento diario a los operarios (Mantenimiento Autónomo).
- Mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento.
- Capacitar al personal.
- Administración temprana de equipos y prevención de mantenimiento.
- Aseguramiento de Calidad.
- Investigación y Desarrollo.

---

<sup>7</sup> NAKAJIMA Seiichi. "T.P.M. Development Program. Implementing Total Productive Maintenance".

- Salud Ocupacional.

Cada uno de los pilares anteriores es un estudio que requiere tiempo y dedicación, así como el conocimiento y comprensión detallada de los factores productivos involucrados en cada uno de ellos.

### 3.3.3 Ideología del TPM<sup>8</sup>

Normalmente, el área de trabajo esta repleto de pérdidas estas se clasifican en seis grandes grupos:

- Averías – fallas
- Control de cambio de productos
- Pequeñas paradas
- Defecto de producción
- Pérdida de velocidad
- Existen condiciones y deficiencias inminentes que posibilitan las pérdidas por la imposibilidad de identificarlas.

- La denuncia oportuna de averías
- Deterioro progresivo
- Deficiencias

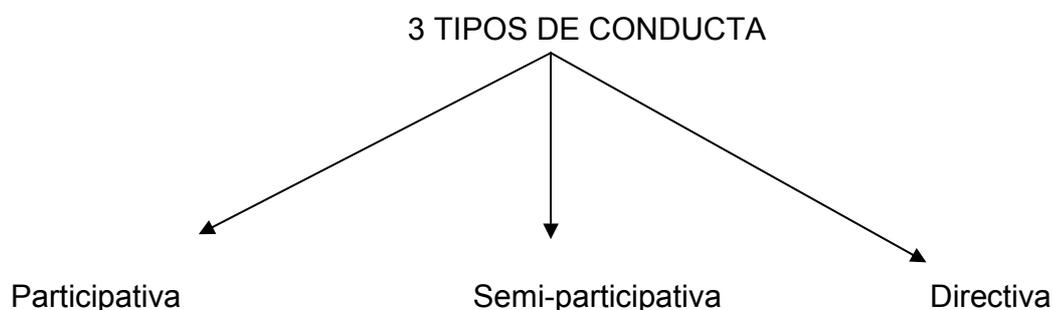
} Ocurren por falta de visión

Lo importante aquí, consiste en cambiar la visión y manera de pensar acerca de los equipos e instalaciones.

### 3.3.4 Como aplicar el TPM – Reglas de sentido común.

Se recomienda tener en cuenta la historia de la empresa y elegir una conducta acorde con el contexto y la situación psicológica de la empresa. Ver Figura 18.

**Figura 18. Tipos de conducta en TPM**



### **3.4 Gestión del Mantenimiento desde un Análisis de Causa Raíz (A.C.R.).<sup>9</sup>**

#### **3.4.1 Introducción al Análisis Causa Raíz – ACR**

El Análisis por Causa Raíz puede significar muchas cosas para la gente con diferentes experiencias. A través de los esfuerzos de consultoría y presentaciones de seminarios se puede escuchar a la gente describir los esfuerzos de ACR como el cumplimiento de los requisitos de su Confiabilidad de los Activos. Esta es una mala interpretación básica que se debe aclarar. La Confiabilidad es mucho más que la adopción de la metodología ACR.

Para que la Confiabilidad verdaderamente se convierta en una parte de una cultura, debe ser adoptada como responsabilidad de todos, no solamente de mantenimiento. Debe abarcar no solamente temas de los activos físicos (mecánicos, eléctricos, etc.), deberá cubrir temas relacionados a los procesos de producción y a lo humano.

---

<sup>8</sup> PEREZ, Carlos Mario. Organizaciones del Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. 1999.P 60-63

<sup>9</sup> SOJO B Luis A. B. [www.reliability.com](http://www.reliability.com) Internet

### **3.4.2 Que es el ACR - Análisis Causa Raíz**

Es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad y la confiabilidad del negocio.

### **3.4.3 Pasos del Análisis Causa Raíz – ACR.**

- **Paso 1.- Enfoque:**

Los problemas o eventos no deseables pueden ser definidos con precisión como desviaciones de la norma de rendimiento. Ahora la pregunta es, ¿cómo se puede transformar los problemas en oportunidades? La primera cosa que se debe hacer es identificar los problemas específicos que le darán el mejor retorno en su inversión. (Ver Figura 19) Para hacer esto es importante para nosotros entender que de hecho hay dos tipos de problemas con los que se puede enfrentar; esporádicos y crónicos.

- Los problemas o eventos esporádicos son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes que notemos, por ejemplo, por la naturaleza del problema capturan la atención de todos ( incendios, explosiones, virus en las computadoras, huelgas...)
- Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. Ocurren tan frecuentemente que son aceptados simplemente como el costo de hacer negocios. El estado normal se mantiene a pesar de su existencia continua. A diferencia de sus contrapartes esporádicas, los problemas crónicos tienen una alta frecuencia de ocurrencia y generalmente no llevan mucho tiempo para ser corregidos.

- **Paso 2. Preservando la información del evento:**

Este es el punto en el que usted comienza a analizar un problema o evento específico. La recolección de Datos es una parte integral del Análisis de Causa Raíz (ACR). Sin los datos, es virtualmente imposible descubrir las causas raíz. Este escenario es análogo a lo que sería un detective policial investigando la escena de un crimen. No se puede esperar que el detective resuelva el caso sin pistas.

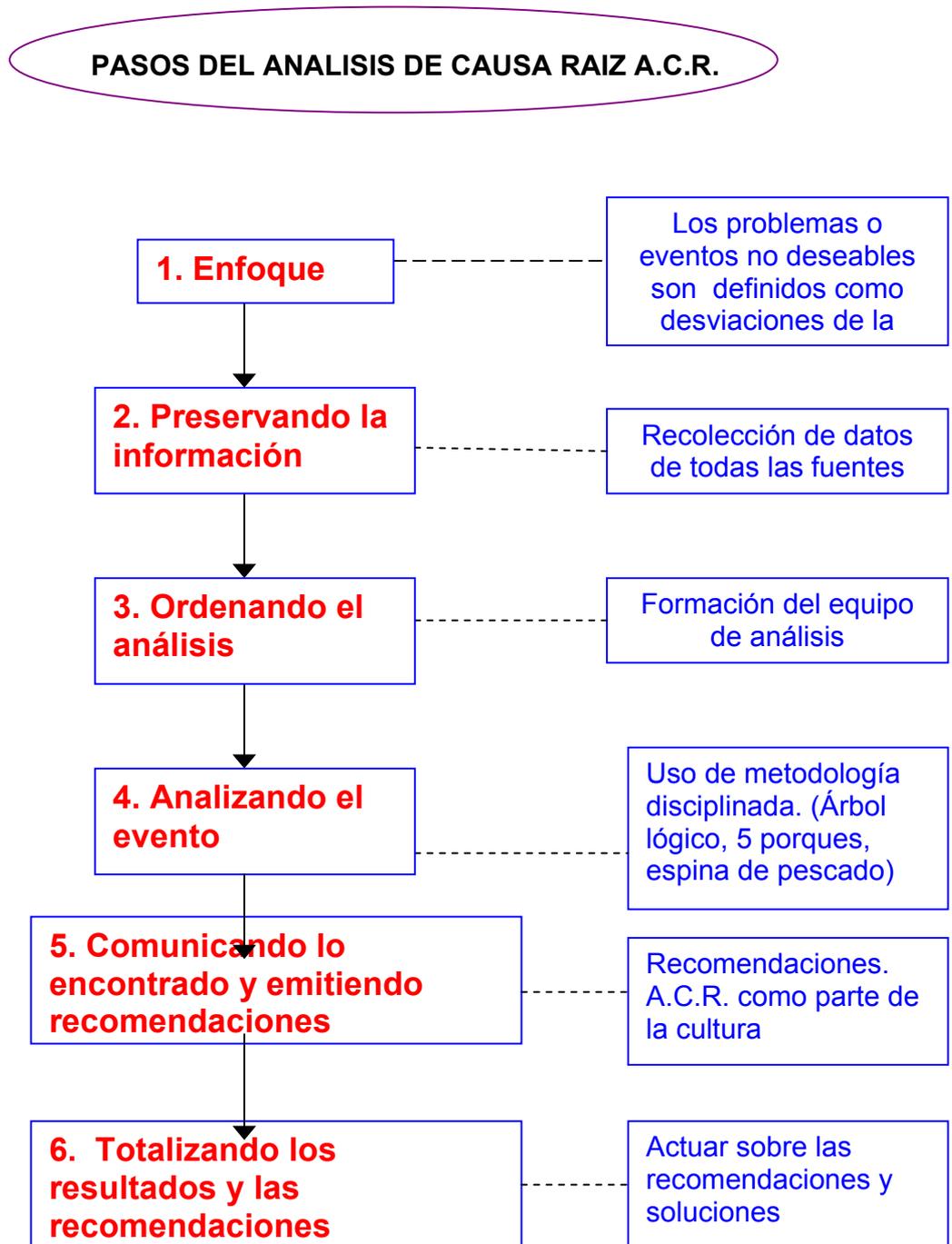
La primera razón es que la mayoría de la gente no valora los datos para solucionar problemas. Esto es fácil de cambiar mediante la educación de la gente con las razones por las cuales la información necesita ser recolectada y como la misma juega un rol en el análisis.

La segunda razón, y la que creemos de mayor frecuencia, es que la gente tiene miedo de ser culpada si de alguna manera los datos se relacionan con ellos. Esto es lo que se conoce como "cacería de brujas".

Las organizaciones deben darse cuenta que mediante la "cacería de brujas"; por ejemplo, el tener como objetivo un individuo, está perdiendo el conocimiento de la causa raíz real.

Cuando uno castiga o sanciona aun un individuo porque pudo haber contribuido con un error al problema, uno pierde información valiosa sobre los demás errores que llevaron al problema. Es muy simple, ACR no puede tener éxito mediante el método de la "cacería de brujas".

Figura 19. Pasos del Análisis de Causa Raíz.



- **Paso 3.- Ordenando el Análisis del evento.**

La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que son expertos y tienen conocimiento relacionado directamente al evento que se está analizando. Una vez que el equipo ha sido formado, organizan un torbellino de ideas para poder deducir cómo ocurrió el evento y poder desarrollar recomendaciones para prevenir que el mismo vuelva a ocurrir. Ante todo, los equipos de este tipo se forman en base a reacción espontánea a un problema. Están respondiendo a un "incidente" que generalmente no pertenece a los "Pocos Significativos". Se sugiere una metodología más proactiva para la formación de equipos de análisis. Los equipos creados para resolver los problemas generalmente se forman utilizando gente técnica que está muy familiarizada con el evento. Cuando esto ocurre, el mecanismo del pensamiento del equipo normalmente se limita a un cuadrante del cerebro. Esto no promueve el pensamiento "fuera de la caja" porque los miembros del equipo compartirán los mismos paradigmas. Es nuestra intención que la posición de Analista Principal sea una dedicada de tiempo completo.

- **Paso 4. Analizando el evento.**

Para analizar un evento o un problema hasta sus causas raíces más profundas "latentes", se necesita utilizar una metodología disciplinada. Sin una metodología disciplinada, está destinado a descubrir las causas raíces incorrectas y por lo tanto implementar las soluciones incorrectas a lo que en realidad está causando el problema. Los primeros dos niveles del árbol lógico tienen en cuenta todos los "hechos conocidos" del problema que se está analizando. Nos referimos a estos dos niveles como la Caja Superior y representan la definición del evento. La formación de la Caja Superior es un paso crítico en la creación del árbol lógico, porque si el evento está definido incorrectamente, definitivamente llegará a las causas incorrectas del problema que se está analizando. El primer nivel de la Caja Superior es una declaración del evento. El segundo nivel de la Caja Superior

representa los modos del problema. Estos son los modos que históricamente han ocurrido en el pasado.

- **Paso 5. Comunicando lo encontrado y emitiendo las recomendaciones**

Cuando el análisis ha sido completado y se han determinado las soluciones a las raíces físicas, humanas y latentes identificadas, es tiempo de convertirse en vendedor. Para que el analista tenga éxito comunicando sus hallazgos y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero deben darse cuenta la posición de la administración con respecto al análisis. La administración debe dar cuentas de la responsabilidad financiera de la empresa. Si invierten dinero, este debe tener una ganancia superior a la inversión. Sabiendo esto, es fácil darse cuenta que la administración tiene algún tipo de criterio en mente de cómo evaluarán las recomendaciones; puede no estar escrito, pero va a estar en sus mentes. Recuerde que una de las metas principales es incorporar el ACR como una parte de la cultura. Se quiere que todos deduzcan lógicamente el porqué del problema. Para lograr apoyo de los demás en el proceso, se necesita que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidos por sus contribuciones.

- **Paso 6.- Totalizando los resultados de las recomendaciones tomadas:**

El ACR es una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Generalmente, la gente es bien intencionada cuando se trata de implementar un plan de acción. Sin embargo, después de que se desarrolló el plan y los participantes vuelven a sus ambientes, tienden a volver directamente al “surco” reactivo; o sea, el problema del día parece siempre tener prioridad sobre el trabajo de mejora. Los jugadores siguen postergando diciendo: “puede esperar”. ¿Pero realmente puede esperar? Si todo lo que se hace es trabajo reactivo, nunca habrá progreso. Por lo tanto, es primordial que usted tome control de sus operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen control de usted. Para

poder obtener los recursos necesarios que usted necesita dedicar al trabajo de mañana; o sea, trabajo de mejora, usted debe analizar sus problemas hasta las causas raíz y actuar de acuerdo a sus hallazgos.

### **3.5 Análisis de los Modos de Falla y Efectos, AMFE: Failure Modes and Effects Analysis, FMEA**

El método consiste en la elaboración de tablas o listas con las posibles fallas de componentes individuales, los modos de falla, la detección y los efectos de cada falla.

Una falla se puede identificar como una función anormal de un componente, una función fuera del rango del componente, función prematura, etc.

Algunos tipos de Fallas que se pueden considerar son típicamente situaciones de anormalidad tales como:

- Abierto, cuando normalmente debería estar cerrado.
- Cerrado, cuando normalmente debería estar abierto.
- Marcha, cuando normalmente debería estar parado.
- Fugas, cuando normalmente debe ser hermético.

Los efectos son el resultado de la consideración de cada uno de las fallas identificadas individualmente sobre el conjunto de los sistemas de la planta o instalación.

El método FMEA establece finalmente qué fallas individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta o facilidad.

Es un método válido en las etapas de diseño, construcción y operación y se usa habitualmente como fase previa a la elaboración de árboles de fallas, ya que

permite un buen conocimiento del sistema. Con ciertas limitaciones se puede usar como método alternativo al Hazop.

El equipo necesario, por lo general, suele ser un equipo de personas de varias disciplinas y de diferentes áreas de la planta, que sean perfectamente conocedoras de las funciones de cada equipo o sistema así como de la influencia de estas funciones en el resto de la línea de proceso.

Es necesario para la correcta ejecución del método disponer la siguiente información:

- Listas de equipos y sistemas ( Planos y diagramas de flujo y control )
- Conocimiento de las funciones de cada equipo.
- Conocimiento de las funciones de los sistemas en su conjunto dentro de la planta.

Es posible incluir en la última columna de la tabla 2 de trabajo lo que se denomina índice de gravedad o severidad, que representa mediante una escala del 1 al 4 un valor que describe la gravedad de los posibles efectos detectados. De esta manera, el valor 1 representaría un suceso sin efectos adversos; el 2 efectos que no requieren parada del sistema; el 3 riesgos de cierta importancia que requieran parada normal y el 4 peligro inmediato para el personal, instalaciones y medio ambiente, por lo que se requiere parada de emergencia. En este caso, el análisis se denomina Análisis del Modo de Fallos, Efectos y Criticidad, FMECA (AMFEC).

En la tabla 2 de abajo se presenta un ejemplo de formulario de trabajo para el análisis FMECA aplicado a un sistema de descarga de cisternas para tanques.

**Tabla 2. Ejemplo aplicación de Análisis de FMECA.**

Fecha: Abril 21 de 2004			Página: 1		De:2
Planta: PF-2			Analista: Coordinador de Sala de control		
Sistema: Bombeo de crudo			Referencia: Implementación PMO.		
Identificación del elemento	Designación	Modo de falla	Detección	Efectos	Índice de gravedad
MEL-P706A	Motor Eléctrico de la bomba.	No arranca	Ausencia de bombeo	Pérdida de Producción	4
		Disparo del interruptor del MCC.	Visual	No disponibilidad de arranque	3
		Sobre-temperatura	Sensor de Temperatura	Reducción de carga	2

### 3.6 Mejoramiento Continuo.

#### 3.6.1 El PHVA y control de procesos industriales<sup>10</sup>

El doctor Edwards Deming fue bastante acertado al desarrollar el método de gestión de la calidad total por medio de la aplicación del ciclo PHVA en toda actividad, ver Figura 20.

#### 3.6.2 ¿Cuál es el propósito de tal metodología?

La respuesta es: hacer lo correcto desde la primera vez.

No siempre esto es posible o es alcanzado y se puede observar que el resultado deseado, sólo viene después de la aplicación consecutiva y persistente del PHVA. Sucede que el concepto de Correcto o Equivocado, es nuevamente la consecuencia de la evaluación de un resultado en relación con un estándar (o

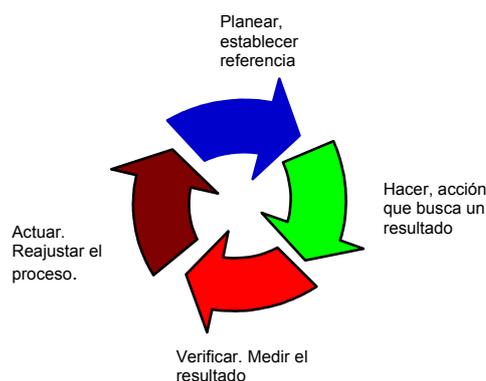
<sup>10</sup> Tavares, Lourival Augusto. Administración moderna Del mantenimiento. Internet mantenimiento mundial.com

cuadro de referencia). O sea, se puede admitir que hacer lo correcto es obtener un resultado sin desvíos con relación a la expectativa.

Cabe anotar la analogía a la teoría básica del control de procesos con retroalimentación o “Feedback control system”, un sistema o engranaje cerrado de control a la retroalimentación, consiste de cuatro etapas o aspectos fundamentales, los cuales serán:

1. Establecer una referencia o “set point” (correspondiente con un resultado deseado) = “PLAN”.
2. Ejecutar una acción de control proactivo (o proceder de acuerdo con un planteamiento, buscando alcanzar el resultado deseado) = “HACER”
3. Medir el resultado alcanzado y compararlo con la referencia (evaluar el resultado con relación a la expectativa o estándar) = “VERIFICAR”.
4. Determinar la acción correctiva necesaria, para la eliminación del desvío constatado de manera que se lleve el resultado a un valor deseado (reajustar el proceso correctivamente) = “ACTUAR”.

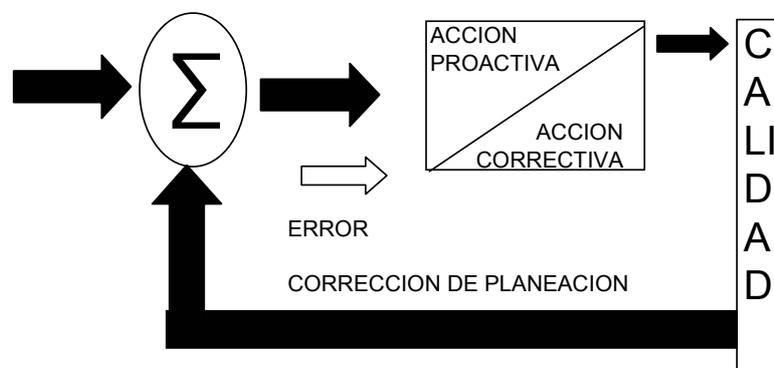
**Figura 20. Círculo de calidad de Deming.**



La metodología propuesta por Deming para la gestión de calidad, puede ser encarada como una oportuna transposición hacia el contexto gerencial, de la teoría básica de control de los procesos industriales, o sea, aplicar el PHVA es básicamente controlar el proceso de obtención de un resultado deseado, sin ocurran desvíos con relación con las expectativas. La gestión de la calidad por el método PHVA puede entonces, ser considerado como un Sistema de Control a retroalimentación del proceso de la calidad, ver Figura 21.

Sin embargo, esto no siempre es posible ya que, en la mayoría de las veces, se observa que el resultado alcanzado, después de la ejecución de un programa o un plan, es diferente al esperado, siendo, por lo tanto, un resultado no deseado. Teniéndose ahí un desvío o problema.

**Figura 21. Sistema de control a retroalimentación del proceso de calidad.**



Pero qué es un problema, técnicamente problema es “cualquier desvío de una estándar”, es por lo tanto un desvío entre el estado actual de cuestiones, asuntos, efectos o resultados y las “metas” o modos de control de cómo las cosas deberían estar.

Para que se reconozca un problema se deben hacer comparaciones con algún tipo de estándar (o meta establecida) para determinar si hay discrepancia y, si la hay, investigarla para conocer el tipo y grado de variación. Es importante observar que a veces alguna tolerancia en la variación del resultado es admisible y debe ser considerada.

### **3.7 Optimización del Mantenimiento Preventivo (P.M.O.)**

#### **3.7.1 Beneficios de la velocidad**

La experiencia en la industria nuclear de los Estados Unidos después de numerosos análisis de PMO2000™ es que en promedio el P.M.O. es seis veces más rápido de implementar que el RCM.<sup>11</sup>

Un eficiente análisis permite a la organización hacer una implementación intensiva en lugar de un análisis intensivo.

#### **3.7.2 Recopilación de Información.**

La información será recogida de diferentes fuentes tales como:

- Conocimiento de operadores
- Histórico de monitoreo sistema supervisorio
- Memoria y tradición
- Rondas de lubricación
- Procedimientos operativos
- Manuales de mantenimiento
- Conocimientos de contratistas externos
- CMMS

---

<sup>11</sup> TURNER STEVE . Introducing PM Optimization, Internet, OMCS Pty Ltda. 2000

Para recoger esta información el grupo que hace la evaluación debe estar constituido por personal de operación, mantenimiento, técnicos contratistas, lubricadores.

La información para el equipo puede obtenerse del conocimiento general o de equipos similares en otras localizaciones.

### 3.7.3 Análisis de Modos de Falla

Se identifica que modo(s) de falla se busca(n) evitar con cada tarea.

**Tabla 3. Análisis de modos de falla en P.M.O**

<b>Tarea</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Falla</b>
Tarea 1	Diaria	Operador	Falla A
Tarea 2	Diaria	Operador	Falla B
Tarea 3	1500 Horas	Operador	Falla C
Tarea 4	1500 Horas	Mantenedor	Falla A
Tarea 5	6000 Horas	Mantenedor	Falla B
Tarea 6	6000 Horas	Mantenedor	Falla C

### 3.7.4 Revisión de los Modos de Falla

Agrupando los datos por modos de falla, las tareas duplicadas son fácilmente detectables. La duplicación de tareas es donde el mismo modo de falla es tratado por tareas realizadas por más de una disciplina.

En este punto se agregan las fallas faltantes a la lista, generadas a través de un análisis de falla, histórico de plantas similares o de la experiencia del grupo. En la figura corresponde a la falla D.

**Tabla 4. Revisión de los modos de falla en P.M.O**

Tarea	Disciplina	Falla
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 4	Mantenedor	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 5	Mantenedor	Falla B
Tarea 3	Operador	Falla C
Tarea 6	Mantenedor	Falla C
		Falla D

### 3.7.5 Análisis Funcional

En este paso se establece la pérdida de función debido a cada modo de falla.

**Tabla 5. Análisis funcional en P.M.O.**

Tarea	Disciplina	Falla	Función
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Mantenedor	Falla A	
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 2
Tarea 5	Mantenedor	Falla B	
Tarea 3	Operador	Falla C	Función 1
Tarea 6	Mantenedor	Falla C	
		Falla D	Función 1

### 3.7.6 Evaluación de Consecuencia

Cada de modo de falla es analizado para determinar si la falla es evidente o escondida. Para fallas evidentes se debe hacer un análisis de riesgos o consecuencias operacionales.

**Tabla 6. Evaluación de la consecuencia en P.M.O.**

<b>Tarea</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Falla</b>	<b>Función</b>	<b>Efecto</b>
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1	Operación
Tarea 4	Mantenedor	Falla A		
Tarea 2	Operador	Falla B		
Tarea 5	Mantenedor	Falla B	Función 2	Oculto
Tarea 3	Operador	Falla C	Función 1	Operación
Tarea 6	Mantenedor	Falla C		
		Falla D	Función 1	Operación

### **3.7.7 Determinación de la política de Mantenimiento**

Las modernas filosofías de mantenimiento tienen como premisa que un programa de mantenimiento exitoso se enfoca a la consecuencia de la falla más que al equipo por si mismo.

En este paso cada modo de falla se analiza usando los principios del RCM, revisando las antiguas políticas de mantenimiento ó estableciendo nuevas. Durante este paso, se hace evidente lo siguiente:

- Los elementos del programa de mantenimiento documentado que son costo-efectivos, los que no lo son (y deben ser eliminados).
- Que tareas deberían ser más efectivas y menos costosas, si estas fueran realizadas por condición y no por “overhaul”.
- Que tareas no sirven para el propósito y deben ser eliminadas.
- Que tareas serían más efectivas si fueran hechas con frecuencias diferentes.
- Que fallas serían mejor manejadas utilizando tecnología de punta o mas simple.

- Que datos deben ser recolectados para ser capaz de predecir con precisión la vida del equipo.
- Que defectos deben ser corregidos por diseño.

**Tabla 7. Determinación de la política de mantenimiento en P.M.O.**

<b>Causa</b>	<b>Función</b>	<b>Efecto</b>	<b>Política</b>	<b>Ciclo</b>
Falla A	Función 1	Operación	Inspeccionar	Diario
Falla B	Función 1	Operación	No aplicar mantenimiento Preventivo	
Falla C	Función 2	Oculto	Pruebas	Anual
Falla D	Función 1	Operación	Inspeccionar	Semanal

### **3.7.8 Agrupación y Repaso**

Una vez el análisis de la tareas se ha completado, el equipo establece el mejor método para manejar el mantenimiento del activo teniendo en cuenta todos los factores que puedan afectarlos. En este paso es probable que las tareas se transfieran entre los ejecutantes del mantenimiento y personal de operaciones para mejorar la eficiencia y productividad.

Un mayor beneficio se obtiene al aplicar PMO desde las fases de diseño y arranque, es decir, el diseño visto desde una perspectiva de mantenibilidad. Como cada tarea y programación es revisada, son evaluadas y mejoradas la aplicación y la efectividad. Las modificaciones recomendadas son documentadas y sometidas a un análisis preliminar de costo-beneficio.

### **3.7.9 Aprobación e Implementación**

En el siguiente paso, el análisis es comunicado a los interesados para revisión comentarios. Luego se inicia la implementación, donde se emplea mayor tiempo e igualmente es el que tiene más dificultades. Para desarrollar exitosamente este paso, se requiere de dirección fuerte y un seguimiento continuo.

### **3.7.10 Siguiendo el programa**

A través de pasos 1 a 8, el proceso de Optimización PM ha establecido un trabajo racional y costo efectivo del PM. En “el Programa en línea”, el programa de PM es consolidado.

Durante este paso, varios procesos vitales para el manejo eficaz de activos pueden ajustarse de acuerdo al avance del programa.

Estos procesos incluyen lo siguiente:

- Estrategia de producción y mantenimiento.
- Medida del avance.
- Reportes de fallas históricas y corrección del defecto.
- Planeación y Programación.
- Determinación de repuestos.
- Prácticas de talleres y mantenimiento.

En este paso se apunta directamente a la creación de una organización que constantemente busca mejorar sus métodos a través de la evaluación continua de cada tarea que emprende y de cada correctivo no planeado que ocurre.

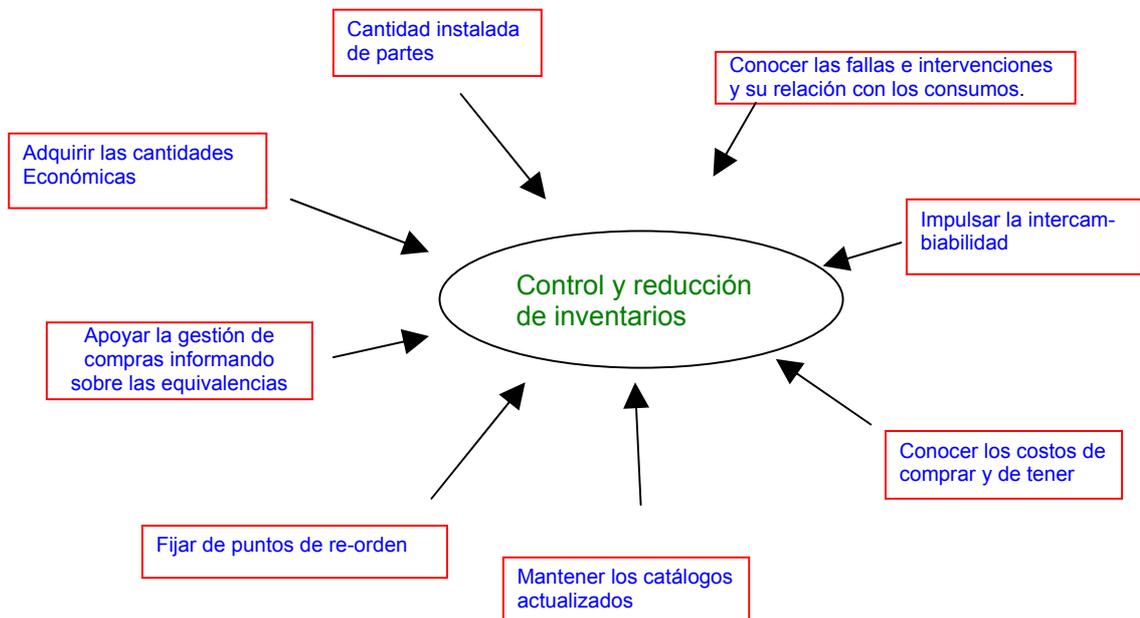
Para lograr esto, se requiere de un programa dónde la mano de obra este entrenada adecuadamente en las técnicas del análisis e incentivada a cambiar las prácticas para mejorar su propia satisfacción del trabajo y a reducir el costo por unidad de producción.

### 3.8 Gestión de Materiales.<sup>12</sup>

Un factor fundamental en las estrategias de mantenimiento es el control adecuado de los repuestos, materiales y accesorios. Un manejo sin planeación incurre en sobrecostos por inventarios altos, baja rotación y por paros técnicos debido a la falta de recursos en el momento oportuno

De acuerdo con los programas de mantenimiento, la demanda de repuestos puede incrementarse en algunas épocas, especialmente cuando se intensifican o coinciden las actividades programadas. Los inventarios de repuestos deben ser calculados para absorber estas fluctuaciones.

**Figura 22. Control y reducción de inventarios**



<sup>12</sup> PÉREZ Carlos Mario, Organizaciones del Mantenimiento. U.I.S.1999. P 114

Para controlar y reducir los inventarios se recomiendan algunas actividades y factores para una gestión exitosa de repuestos (Ver Figura 22):

- Conocer la cantidad instalada de partes por equipo.
- Conocer las fallas e intervenciones clasificadas y su relación con los consumos.
- Establecer un sistema de clasificación de artículos.
- Adquirir las cantidades económicas.
- Establecer procedimientos adecuados para la fijación de puntos de re-orden.
- Mantener los catálogos actualizados.
- Definir métodos adecuados de pedido de repuestos de equipos.
- Conocer los costos de comprar y de tener.
- Impulsar la Inter.-cambiabilidad la estandarización y normalización.
- Apoyar la gestión de compras informando sobre las equivalencias.
- Eliminar nombres comerciales de artículos genéricos.
- Evaluar la sustitución de repuestos del fabricante con la fabricación local de repuestos.

Un manejo de materiales sin planeación incurre en sobrecostos por inventarios altos y baja rotación y por paros técnicos debido a la falta de recursos en el momento oportuno. Pérdida de tiempo en la búsqueda de repuestos dado que existen deficiencias en la catalogación de los repuestos.

### **3.8.1 Repuestos para Prevención de Fallas.**

Los repuestos que se usan con muy poca frecuencia son repuestos para prevención de fallas. Son críticos para lograr uno o más objetivos de la planta y el mantenerlos asegura contra la pérdida en que se incurriría si el artículo no estuviera disponible de inmediato.

El almacenamiento o no de un repuesto para prevención es una decisión que se debe tomar con bases puramente económicas. La misma definición de la palabra “prevención” indica que el consumo anual no tiene sentido en este caso. Si el almacenamiento es económico, debe procederse a ello enseguida.

La necesidad de almacenar repuestos de prevención aumenta cuando se tienen largos plazos para la llegada de los repuestos, porque las pérdidas aumentan con el tiempo. Si se decide no arriesgarse a pérdidas sustanciales de producción por falta de repuestos, se opta por almacenar los artículos que previenen las paradas.

Se consideran alternativas, pedir al proveedor, fabricante o distribuidor que almacene los repuestos y los tenga a nuestra disposición; esta es una buena solución para artículos que no son de prevención de paradas y es una buena manera de reducir los inventarios a un mínimo. La segunda solución es buscar en otras plantas o empresas el almacenamiento de los repuestos y ofrecer reciprocidad en otros artículos, otra opción es almacenarlo.

Si desafortunadamente existen máquinas de muchos fabricantes diferentes conviene estudiar sus necesidades de partes intercambiables con el objeto de determinar las posibilidades de estandarización entre los diferentes equipos. En este tipo de repuestos es fundamental comprar por marca de parte y no de maquinaria.

El tiempo de entrega es un factor importante a considerar para establecer cantidades máximas y mínimas, en los artículos que los proveedores entregan con prontitud, el saldo máximo de inventario puede ser disminuido.

Los artículos que tienen plazo de entrega largos, a menudo se entregan todavía más porque por lo regular son complicados y pueden sufrir demoras en la

fabricación. Generalmente son las piezas que pueden paralizar por completo una máquina o la fábrica entera.

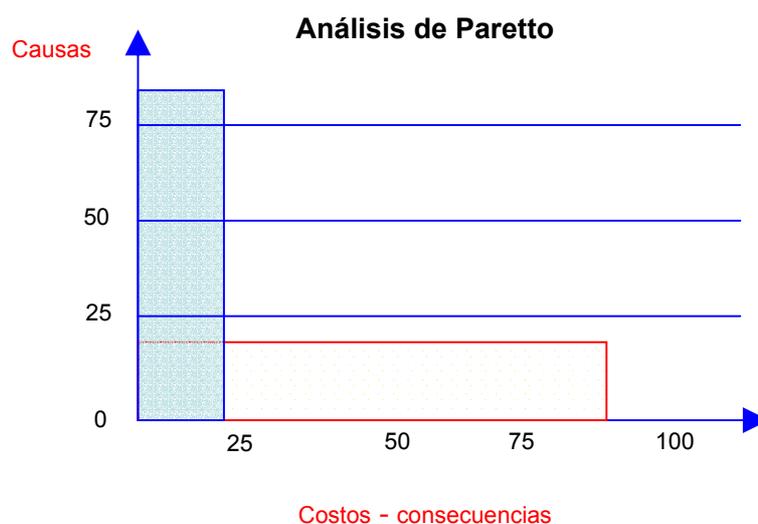
No hay que olvidar que muchas piezas pueden reconstruirse de una manera económica, reconstituyéndolas mediante técnicas, reduciendo con ello los saldos de inventario y asociando el costo de reconstrucción.

Los proveedores pueden mantener existencias de partes para entrega inmediata, si no se hacen es necesario negociarlo, aun cuando el volumen de compras no sea elevado. Esta clase de servicio al cliente cada vez es más común, ya que los proveedores buscan ganar pedidos y tener satisfechos a sus clientes.

### 3.8.2 El Sistema “ABC de Control de Inventario.

El sistema ABC se fundamenta en el principio Pareto y permite dedicarle mayor esfuerzo a los repuestos cuyo movimiento tienen un mayor valor. Ver Figura 23.

**Figura 23. Análisis de Pareto al Control de Inventarios.**



El grupo "A" Lo componen entre un 10% y un 20 % de los artículos del almacén y cuyo movimiento en dinero constituyen entre el 70 y 80% del valor total del movimiento del almacén.

El grupo "B" lo componen entre el 30 y el 40% de los artículos del almacén que generan entre un 15 y un 20% del valor total del movimiento del almacén.

El grupo "C" está compuesto por algo así como el 40 o el 50% de los artículos del almacén que constituyen el 5 al 10% del movimiento total del almacén el mismo periodo. Para lograr un sistema ABC en un almacén de repuestos, deben clasificarse todos los artículos según el valor en pesos de su movimiento anual.

De la tabla 7, para poder decidir qué porcentaje de los artículos hacen parte de cada grupo se debe hacer un cálculo acumulado después de contar cada artículo. Al terminar, ya puede decidirse cuáles artículos harán parte de cada familia A, B, y C según el grado de importancia que quiera darse a cada una, sin embargo este criterio debe tener ligado un criterio del equipo, del costo de oportunidad, por que no solamente un enfoque administrativo garantiza buenas decisiones.

**Tabla 8. Sistema "ABC" de control de inventarios**

FAMILIA	% ARTÍCULO	% VALOR	GRADO CONTROL	TIPO DE REGISTRO	ESPECIALIZACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PEDIDO
A	10-20	70-80	Intenso seguro	Completo	Baja	Cuidadoso. Rev frecuentes
B	30-40	15-20	Normal seguro	Completo	Moderada	Pedido normal alguna rapidez
C	40-50	5-10	Simple	Simplificado	Grande	Órdenes periódicas, abastecimiento grande

## **4 PROPUESTAS GERENCIALES DE MANTENIMIENTO**

### **4.1 Propuesta Gerencial – Implementación P.M.O.**

La decisión de aplicar tareas de RCM a un equipo está orientada a reducir el número de fallas, sus efectos principales y secundarios, es decir las tareas deben ser “aplicables”. Por otro lado también debe cumplir con una buena relación beneficio-costos, es decir deben ser “efectivas”.

En la práctica, la aplicación de RCM a todas las áreas no representa el mayor beneficio económico y requiere de un gran esfuerzo, la creación de un grupo multidisciplinario de confiabilidad, y sus resultados no son rápidamente obtenibles por el tiempo de desarrollo e implementación.

Dado que la compañía realiza actividades explotación y desarrollo de un campo petrolero que tiene un corto tiempo de producción previsto, se requiere la utilización de una estrategia que sea rápidamente implementable y utilice los conocimientos adquiridos y experiencias, muchas de ellas integradas a las rutinas de mantenimiento preventivo existentes; por esta razón se propone en este documento implementar un proceso de optimización del mantenimiento preventivo. PMO.

Según se reconoce en el análisis de Pareto, solo el 20% de las áreas poseen el 80% de los problemas y sobre-costos, y el 80% de las áreas restantes el 20% de los problemas de la planta. En estas condiciones el mayor beneficio se obtendrá si se implementa en estas áreas críticas (20 % de las áreas). Ver Tabla 8.

Para el otro 80% de las áreas se reconoce la posibilidad de aplicar otras tecnologías como el AFRCR (Análisis de falla de Causa Raíz), PM (Mantenimiento

Preventivo convencional).<sup>13</sup>

**Tabla 9. El análisis de Pareto 80 / 20.**

	Áreas Críticas 20%	Otras Áreas 80%		
<b>METODOLOGIA</b>	<b>PMO</b>	<b>Convencional PM</b>	Análisis de Falla de Causa Raíz (RCFA)	
	80% de problemas y costos	20% de problemas y costos		

La metodología para implementar la estrategia se desarrolla con el cumplimiento de los siguientes pasos:

#### **4.2 Selección de Área Piloto-Crítica.**

Para seleccionar el sistema y subsistema pionero en la aplicación de esta estrategia se tomará un área piloto – crítica, (Unidad de generación PF2) seleccionada dentro del grupo de instalaciones del campo petrolero.

A esta área piloto se le aplicará el método de criticidad de factores ponderados basados en el concepto del riesgo, para seleccionar el subsistema (equipos eléctricos auxiliares, instrumentación y control asociado, partes mecánicas)

En la tabla 9, se presenta en forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar sistemas o subsistemas:

**Criticidad total = Frecuencia x Consecuencia de fallas**

**Frecuencia = rango de fallas en un tiempo determinado (fallas / año)**

**Consecuencias = ((impacto operacional x flexibilidad) + costo de mtto + impacto seguridad, ambiente e higiene) (\$, US\$).**

<sup>13</sup> NICHOLAS, Jack R et al. Advancig Maintenance. 2 Ed, 1999.P 5-1

**Tabla 10. Factores ponderados de criticidad basados en concepto del riesgo<sup>14</sup>**

<b>Frecuencia de fallas</b>	<b>Peso</b>	<b>Costo de Mtto.</b>	<b>Peso</b>
Pobre, mayor a 2 fallas/año	4	Mayor a US\$5,000	2
Promedio 1 a 2 fallas/año	3	Inferior a US\$5,000	1
Buena 0.5 fallas /año	2		
Excelente 0.5 falla/año	1		
<b>Impacto operacional</b>		<b>Impacto en Seguridad, Ambiente, Higiene (H.E.S)</b>	
Pérdida de todo el despacho (parada de toda la planta)	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente/instalaciones	7
Impacta niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones o producción	1	Provoca daños menores (ambiente, seguridad)	3
<b>Flexibilidad operacional</b>		No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	1
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2		
Función de repuesto disponible	1		

Se presenta un ejemplo del uso de esta metodología, ver Figura 24

Planta: Central de generación PF2

Sistema de generación: Unidad G201A

- **Subsistema: Instrumentación y control asociado.**

<sup>14</sup> GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. UIS Bogotá, 1999. P

Resultados de la evaluación:

Frecuencia de falla: 4

Impacto operacional: 7

Flexibilidad operacional: 4

Costos de mantenimiento: 1

Impacto en H.E.S: 1

Consecuencia =  $(7 * 4) + 1+1 = 30$

Planta: Central de generación PF2

Sistema de generación: Unidad G201A

- **Subsistema: Equipos eléctricos auxiliares**

Resultados de la evaluación:

Frecuencia de falla: 3

Impacto operacional: 4

Flexibilidad operacional: 2

Costos de mantenimiento: 1

Impacto en H.E.S: 1

Consecuencia =  $(4 * 2) + 1+1 = 10$

Subsistema no crítico.

Planta: Central de generación PF2

Sistema de generación: Unidad G201A

- **Subsistema: Equipos Mecánicos**

Resultados de la evaluación:

Frecuencia de falla: 4

Impacto operacional: 7

Flexibilidad operacional: 4

Costos de mantenimiento: 2

Impacto en H.E.S: 5

Consecuencia =  $(7 * 4) + 2 + 5 = 35$

Subsistema crítico.

**Figura 24. Matriz general de criticidad para unidad de generación G201A.**

<b>FRECUENCIA DE FALLA</b>	4	<b>Equipos eléctricos auxiliares</b>	SC	<b>Instrumentación y control G201A</b>	<b>Equipos Mecánicos</b>	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
	10	20	30	40	50	
	<b>CONSECUENCIA DE FALLA</b>					

<b>LEYENDA</b>
NC: NO CRITICO
SC: SEMICRITICO
C: CRITICO

### 4.3 Aplicación 9 pasos PMO

Se propone formar un grupo multidisciplinario e Inter-departamental constituido por personal de operación, mantenimiento, técnicos contratistas, lubricadores, que desarrollarán secuencialmente cada uno de los pasos según descripción teórica.

- **Recopilación de Información**

La información se puede recoger de diferentes fuentes tales como:

- Conocimiento de operadores
- Histórico de monitoreo sistema supervisorio IRIX
- Memoria y tradición
- Rondas de lubricación
- Procedimientos operativos
- Manuales de mantenimiento
- Conocimientos de contratistas externos
- CMS

- **Análisis de Modos de Falla**

Se debe identificar que modo(s) de falla se busca(n) evitar con cada tarea preventiva programada (1500, 3000, 6000, 12000, 24000 horas), predictivas pre y post-mantenimiento. Ver Tabla 10.

**Tabla 11. Ejemplo Análisis modos de falla en P.M.O.**

<b>Tarea</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Falla</b>
Corrección fugas menores	Diaria	Operador	Bajo nivel de aceite
Verificación de ruidos anormales	Diaria	Operador	Daño oculto
Lavado de radiadores	1500 Horas	Mantenedor	Altas temperaturas
Tarea 4	1500 Horas	Mantenedor	Falla A
Tarea 5	6000 Horas	Mantenedor	Falla B
Tarea 6	6000 Horas	Mantenedor	Falla C

- **Revisión de los Modos de Falla**

En la Tabla 11, se busca detectar la duplicidad de tareas y agregar nuevas fallas derivadas de un análisis de falla, histórico de plantas similares o de la experiencia del grupo.

**Tabla 12. Ejemplo revisión modos de falla en P.M.O**

<b>Tarea</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Falla</b>
Voltajes de bancos de baterías semanalmente	Operador	Baterías descargadas
Voltajes baterías bimestrales	Mantenedor	Baterías descargadas
Voltajes baterías Trimestrales	Predictivo	Baterías descargadas
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 5	Mantenedor	Falla B
Tarea 3	Operador	Falla C
Tarea 6	Mantenedor	Falla C
		Baterías con cuba fisurada

- **Análisis Funcional**

En este paso se establece la pérdida de función debido a cada modo de falla.

**Tabla 13. Ejemplo revisión análisis funcional en P.M.O**

<b>Tarea</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Falla</b>	<b>Función</b>
Corrección fugas menores	Operador	Bajo nivel de aceite	Refrigeración - Lubricación
Verificación de ruidos anormales	Operador	Daño oculto	Transmisión de potencia

Tarea	Disciplina	Falla	Función
Lavado de radiadores	Mantenedor	Altas temperaturas	Refrigeración
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Mantenedor	Falla A	
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 2
Tarea 5	Mantenedor	Falla B	
Tarea 3	Operador	Falla C	Función 1
Tarea 6	Mantenedor	Falla C	
		Falla D	Función 1

- **Evaluación de Consecuencia**

Cada modo de falla se analiza para determinar si la falla es evidente u oculta. Para fallas evidentes se debe hacer un análisis de riesgos o consecuencias operacionales.

**Tabla 14. Ejemplo revisión evaluación de la consecuencia en P.M.O**

Tarea	Disciplina	Falla	Función	Efecto
Corrección fugas menores	Operador	Bajo nivel de aceite	Refrigeración - Lubricación	Operación
Verificación de ruidos anormales	Operador	Daño oculto	Transmisión de potencia	Oculto
Lavado de radiadores	Mantenedor	Altas temperaturas	Refrigeración	Operación
Tarea 5	Mantenedor	Falla B	Función 2	Oculto
Tarea 3	Operador	Falla C	Función 1	Operación
Tarea 6	Mantenedor	Falla C		
		Falla D	Función 1	Operación

- **Revisión de la política de Mantenimiento**

Como consecuencia del análisis de los modos de falla realizado anteriormente usando los principios del RCM, se revisan las políticas de mantenimiento ó se establecen nuevas.

Se priorizan las tareas desde el punto de vista de costo – efectivo, de tal manera que para controlar la falla se define hacer algunas tareas por frecuencia, o simplemente no hacerlas. En algunos casos hacer monitoreo utilizando tecnología de punta aplicada en el mantenimiento predictivo, o tareas basadas en condición, basadas en el tiempo o actividades para encontrar fallas.<sup>15</sup>

**Tabla 15. Ejemplo revisión de la política de mantenimiento en P.M.O**

<b>Falla</b>	<b>Función</b>	<b>Efecto</b>	<b>Política</b>	<b>Ciclo</b>
Bajo nivel de aceite	Refrigeración – Lubricación	Operación	Monitoreo	Continuo
Daño oculto	Transmisión de potencia	Oculto	Predictivo	Mensual
Altas temperaturas	Refrigeración	Operación	No PM	Condición
Falla C	Función 2	Oculto	Pruebas	Anual
Falla D	Función 1	Operación	Inspeccionar	Semanal

- **Agrupación y Repaso**

Después de completado el análisis se hace una revisión completa y se determina cuál es la mejor manera de mantener los equipos fijándose que grupo de ejecutantes deben hacer las tareas de tal manera que sean efectivas y

<sup>15</sup> NICHOLAS, Jack R et al. *Advancig Maintenance*. 2 Ed, 1999. P apéndice C 2

productivas, también se revisan las tareas desde el punto de vista de costo-beneficio.

- **Aprobación e Implementación**

La dirección o la gerencia debe liderar este paso en el que se comunican los resultados a todos otros grupos para revisión, comentarios e inmediatamente se inicia la implementación la que debe tener, seguimiento continuo.

- **Siguiendo al programa**

Durante este paso se deben revisar la planeación, programación, la gestión de materiales, revisión de los índices de gestión todo bajo el esquema de mejoramiento continuo.

## 5 CONCLUSIONES

- El modelo de mantenimiento actual es una mezcla de estrategias basadas principalmente en la ejecución de rutinas preventivas con técnicas de mantenimiento predictivo asociado y mantenimiento por condición. El grupo de mantenimiento puede mejorar su gestión, aplicando adecuadamente políticas enfocadas y lideradas por la gerencia.
- Para una empresa del sector petrolero, con personal altamente calificado, con requerimientos de resultados a mediano plazo y con un programa de mantenimiento preventivo; la implementación de un plan de optimización del programa de mantenimiento preventivo (PMO), resulta viable, efectivo y de rápida adopción.
- Para lograr los mejores resultados en el análisis de P.M.O los participantes deben ser previamente entrenados y familiarizados en F.M.E.A. y A.C.R.
- Los estándares internacionales proporcionan un buen punto de partida en la adopción de índices para controlar los costos de mantenimiento, la planeación, la disponibilidad de la planta, el desarrollo humano y la seguridad industrial, índices claves en el proceso de mejoramiento continuo de la gestión. Estos deben darse a conocer al personal de mantenimiento para que el grupo lo sienta y trabaje por ellos como objetivo común y como resultado de su aporte individual.

## BIBLIOGRAFÍA

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. UIS Bogotá, P 67-70.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de especialización. UIS, Bogotá, 1999.

JARAMILLO PÉREZ, Carlos Mario. Organizaciones del mantenimiento. UIS, Bogotá, 1999. P 60-63,

JOEL Levitt. Maintenance Management. 1 Ed. New York. Industrial Press Inc., 1997.

MITCHELL John S. et al. "Physical Asset Management Handbook" Internet.

MOUBRAY, J. M. Reliability – Centered Maintenance. Butterworth- Heinemann, Oxford. 1997

NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Japan Institute for Plant Maintenance. Tecnología de Gerencia y Producción S. A. Madrid, 1991.

NICHOLAS, Jack R Advancing Maintenance. 2 Ed, Millerville. Maintenance Quality Systems LLC. 1999. P 5-1, apéndice A, C.

SMITH, A. M. Reliability Centered Maintenance, McGraw Hill, New York, NY, 1993.

TAVARES, Lourival Augusto. Administración moderna Del mantenimiento. Internet mantenimiento mundial.com

TURNER Steve. Introduction PM Optimization. OMCS Pty Ltd Internet, 2000.