

MEJORAMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE  
PETROTIGER EN LA BASE ACACIAS

OSCAR DARIO CACERES NOVA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2012

MEJORAMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE  
PETROTIGER EN LA BASE ACACIAS

OSCAR DARIO CACERES NOVA

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

Director: Gerardo Vargas Pedraza  
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2012

## **AGRADECIMEINTOS**

Quiero dar gracias a Dios por permitirme recorrer el camino a lo largo de este tiempo para realizarme como profesional y así seguir adquiriendo conocimientos como los obtenidos en esta especialización haciéndome un profesional mas integro y mas humano.

También quiero agradecer a mi familia por el apoyo moral, ético y emocional que me brindaron durante esta etapa, ya que fueron ellos los que me brindaron su apoyo incondicional para superar los inconvenientes que se presentaron en este proceso.

Agradecer a todas las personas directas e indirectas de Petrotiger que con sus aportes, su apoyo y empuje hicieron realidad este proyecto desde su formulación hasta su actual proceso de ejecución.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
INTRODUCCION	14
1. PETROTIGER SERVICES COLOMBIA LTDA	16
1.1. RESEÑA HISTORICA	16
1.2 POLITICA DE INTEGRIDAD Y MANTENIMIENTO	17
2. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA OPERACIÓN DEL CAMPO CASTILLA CHICHIMENE	19
2.1 EQUIPOS DE LA OPERACIÓN DE SUPERFICIE	19
2.1.1 Separador trifásico.	19
2.1.2 Generadores trifásicos.	20
2.1.3 Bombas centrifugas.	20
2.1.4 Bombas de desplazamiento positivo.	21
2.1.5 Compresores de aire.	22
3. GESTION DEL MANTENIMIENTO	23
3.1 PLANEACION DE LA GESTION DEL MANTENIMIENTO	24
3.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	26
3.2.1 Procesos y herramientas necesarias para el desarrollo de la estrategia	26
3.3 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	27
3.4 PROCESOS DE APOYO A LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	29
3.4.1 Manejo de competencias.	29
3.4.2 Manejo de la cadena de abastecimiento.	29

3.4.3 Manejo de partes y repuestos (Bodega de materiales).	29
3.4.4 Planeación y programación:	30
3.5 MEDICION, ANALISIS Y MEJORA	30
3.5.1 Análisis de datos.	30
3.5.2 Análisis sistemático de criticidad.	30
3.5.3 Análisis de integridad.	30
3.5.4 Análisis de causa raíz.	30
3.5.5 Análisis de efecto de modo de falla.	31
3.5.6 Análisis de causa de efecto de modo de falla.	31
3.5.7 Análisis de criticidad.	31
3.6 CRITERIOS PARA DEFINIR PRIORIDADES	31
3.6.1 Criterios productivos.	31
3.6.2 Criterios de mantenimiento.	32
3.6.3 Criterios de autoridad.	33
4. PLAN PROPUESTO	34
4.1 OBJETIVOS	35
4.1.1 Objetivo general	35
4.1.2 Objetivos específicos	35
4.2 SITUACION ACTUAL	35
4.3 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO SEGÚN LA NORMA ISO 14224	37
4.3.1 Localización.	39
4.3.2 Características.	43
4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS CRITICOS	45
4.4.1 Los equipos Críticos.	46
4.4.2 Los equipos Esenciales.	46
4.4.3 Los equipos de propósito general.	46
4.5 RECOLECCIÓN DE DATOS	48

4.6 CODIGOS DE FALLA	53
4.6.1 Causas Inmediatas.	58
4.6.1.1 Área Mecánica.	58
4.6.1.2 Área eléctrica.	59
4.6.1.3 Área Materiales.	59
4.6.1.4 Área Instrumentos.	59
4.6.1.5 Área Influencia externa	60
4.6.1.6 Área Misceláneos.	60
4.6.2 CAUSAS BASICAS.	60
4.6.2.1 Área Diseño	60
4.6.2.2 Área Fabricación / Instalación	60
4.6.2.3 Operación / Mantenimiento	61
4.6.2.4 Administración	61
4.6.2.5 Misceláneo	61
4.6.3 Causas raíz.	61
5. CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXOS	68

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Definición niveles Árbol de Equipos	41
Tabla 2 Códigos de falla	55
Tabla 3 Modos de falla	57

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1 Separador Trifásico	19
Figura 2 Generador Trifásico	20
Figura 3. Bomba de desplazamiento positivo tipo tornillo	21
Figura 4. Bomba de desplazamiento positivo tipo paletas	21
Figura 5. Compresor de aire de pistón	22
Figura 6. Estrategias de mantenimiento	26
Figura 7 Información centrada en confiabilidad	39
Figura 8. Árbol de Equipos – Taxonomía	40
Figura 9. Definición de límites	42
Figura 10 Estructura de la información de equipos	43
Figura 11. Matriz de Clasificación	47

## LISTADO DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO 1 DICCIONARIO TÉCNICO DE MANTENIMIENTO	68

## RESUMEN

**TITULO:** MEJORAMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE PETROTIGER EN LA BASE ACACIAS<sup>1</sup>

**AUTOR:** OSCAR DARÍO CÁCERES NOVA<sup>2</sup>

**PALABRA CLAVE:** Plan de mantenimiento. Equipos de Petrotiger

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** El objeto principal de esta monografía es realizar una adecuada gestión y administración del mantenimiento en búsqueda de una apropiada, controlada y efectiva ejecución de las actividades programadas dando cumplimiento a un programa diseñado, brindando disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Con el desarrollo de este proyecto se busca dar una herramienta mas acorde a las necesidades de las operaciones que Petrotiger realiza en el área de influencia de la base Acacias, basándose en una adecuada planeación y un control en la ejecución de las diferentes actividades de mantenimiento y en la operación de los equipos utilizados en las operaciones de Well Testing con el fin de mejorar la confiabilidad y disponibilidad.

La implementación de la norma ISO 14224, fue una herramienta practica e importante en la identificación e implementación de equipos críticos y no críticos de la operación, el levantamiento de sus historiales y la concentración de esta información en un solo lugar haciéndola mas accesible y de fácil consulta.

Finalmente en esta monografía se dan a conocer las ventajas de tener procedimientos de mantenimiento acordes a cada equipo y su respectiva operación que a la vez aplicados a la implementación de un software que facilite la gestión de mantenimiento permite enfocar los esfuerzos en actividades que tienen que requieren de mas tiempo como los análisis de falla, su corrección y las medidas para evitar su ocurrencia.

---

<sup>1</sup> Monografía

<sup>2</sup> Facultad de ciencias físico – mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento.

Director: Gerardo Vargas Pedraza. Ingeniero Electricista

## SUMMARY

**TITLE:** IMPROVEMENT OF THE PLAN OF MAINTENANCE OF THE EQUIPMENT OF PETROTIGER IN THE BASE ACACIAS<sup>3</sup>

**AUTHOR:** OSCAR DARÍO CÁCERES NOVA<sup>4</sup>

**KEY WORD:** Plan of maintenance. Equipment of Petrotiger

**DESCRIPTION OR CONTENT:** The main object of this monograph is to realize a suitable management and administration of the maintenance in search of an appropriate one, controlled and effective execution of the programmed activities giving fulfillment to a designed program, offering to availability and trustworthiness of the equipment.

With the development of this project one looks for to give an agreed tool but to the needs of the operations that Petrotiger realizes in the area of influence of the base Acacias, being based on a suitable planning and a control on the execution of the different activities from maintenance and on the operation of the used equipment in the operations of Well Testing with the purpose of to improve the trustworthiness and availability.

The implementation of norm ISO 14224, was a tool practices and important in the identification and implementation of equipment critics and noncritics of the operation, the rise of its files and the concentration of this information in a single place doing it but accessible and of easy consultation.

Finally in this monograph they occur to know the advantages to have procedures of maintenance chords to each equipment and its respective operation that simultaneously applied to the implementation of a software that it facilitates the maintenance management allows to focus the efforts in activities that they have require of but time as the failure analyzes, its correction and the measures to avoid its occurrence.

---

<sup>3</sup>Monograph

<sup>4</sup> Faculty of sciences physical - mechanical. Specialization in maintenance management.  
Director: Gerardo Vargas Pedraza. Electrical engineer

## INTRODUCCION

EL mantenimiento se ha ganado el papel protagónico en el desarrollo y crecimiento de las organizaciones a nivel mundial, el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento, la creación de cátedras universitarias referentes a la conservación de activos nos dan un pequeño abrebocas acerca de la importancia que cada día toman los departamentos de mantenimiento en la empresas.

Petrotiger, en este caso la base Acacias, con el propósito de evaluar su proceso de mantenimiento buscando herramientas gerenciales que lleven esta actividad al aumento de la eficiencia, la maximización de los recursos y la disminución de los costos, ha establecido la necesidad del mejoramiento del plan de mantenimiento. Actualmente no se cuenta con un modelo moderno y unificado de gestión de mantenimiento acorde con el tamaño de la organización, las necesidades de producción.

EL alcance de esta monografía es mejorar el plan de mantenimiento actual, que permita al área de mantenimiento, modernizar su modelo de gestión de mantenimiento y consolidarse en el tiempo como una organización de mantenimiento de clase mundial, administrando de manera eficiente el ciclo de vida de los activos a su cargo. Evaluando los costos de mantenimiento presupuestado y ejecutado, además de costos de paradas por fallas en equipos, determinando el impacto real sobre los indicadores financieros.

El propósito general de este documento es ilustrar los lineamientos que establece la norma ISO 14224, para implementar un plan de mantenimiento, donde se muestra la selección de equipos críticos, los modos de falla que se puedan presentar, las probabilidades de ocurrencia de dichas fallas y la posterior consecuencia tanto a la integridad del personal, el medio ambiente y a los costos de producción de la planta.

## **1. PETROTIGER SERVICES COLOMBIA LTDA**

### **1.1. RESEÑA HISTORICA<sup>5</sup>**

PetroTiger a TigerCompany es una compañía especializada en servicios petroleros E&P, con 20 años de trayectoria en la industria colombiana, América Latina, Siria, Alaska y Rusia; caracterizada por su excelencia operacional, altos estándares de seguridad industrial, calidad y compromiso con el medio ambiente.

PetroTiger, antes PTS, fue fundada en Alaska(USA) en el año 1988. En 1992 inició sus operaciones en Colombia, en 2009 se integró al grupo de TigerCompanies, fortaleciendo aún más la línea de Servicios Petroleros E&P.

PetroTiger ha ejecutado y completado con éxito proyectos en Colombia en los departamentos de Arauca, Antioquia, Boyacá, Casanare, Huila, Norte de Santander, Meta, Putumayo, Santander y Sucre; así como en el mundo en países como Alaska, Ecuador, Indonesia, México, Perú, Rusia, Siria y Trinidad Y Tobago.

PetroTiger ofrece el gerenciamiento y coordinación de servicios y soluciones para la perforación, el completamiento y las intervenciones de pozos productores de petróleo y gas, así como el desarrollo de las operaciones de superficie

PetroTiger es una compañía líder en servicios de pruebas de pozo, ofrece a sus clientes la planeación y gestión de pruebas iniciales y extensas al igual

---

<sup>5</sup> Tomado de la pagina de Tiger Companies

que la ingeniería, procura y construcción de facilidades para el tratamiento y producción de hidrocarburos.

- WT - Pruebas de pozo
- EPF – Facilidades tempranas de producción
- EPC – Ingeniería, procura y construcción

PetroTiger cuenta con la tecnología e infraestructura idónea para la prestación de servicios de completamiento e intervención en hueco revestido y abierto

- WL – Registros en pozo entubado
- DST – Sarta de prueba de pozos
- TCP – Cañoneo con tubería
- SL – Línea de acero

PetroTiger cuenta con la tecnología e infraestructura idónea para la prestación de completamiento e intervención de hueco revestido y abierto

- Planeación y programación de mantenimiento preventivo y predictivo
- Mantenimiento tipo Overhaul
- Mantenimiento tipo Inframe
- Análisis RTA

## **1.2 POLITICA DE INTEGRIDAD Y MANTENIMIENTO<sup>6</sup>**

PETROTIGER SERVICES COLOMBIA LTDA – PETROTIGER - ha establecido su política de Mantenimiento & Integridad con miras hacia el

---

<sup>6</sup> Tomado de la Política corporativa de integridad y mantenimiento

cumplimiento de sus objetivos corporativos. Para tal efecto se compromete a desarrollar sus actividades siguiendo tres lineamientos fundamentales:

- Mantener ante todo equipos íntegros y seguros
- Mantener en todo momento personal competente, motivado, con actitud de servicio y orientado hacia la satisfacción de nuestros clientes internos y externos
- Mantener altos índices de disponibilidad y confiabilidad de equipos

## 2. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA OPERACIÓN DEL CAMPO CASTILLA CHICHIMENE

Los equipos utilizados en las operaciones que realiza en superficie y subsuelo la empresa son aptos para cumplir las necesidades de nuestros clientes, cumpliendo las especificaciones tecnológicas de punta requeridas para los diferentes procesos.

### 2.1 EQUIPOS DE LA OPERACIÓN DE SUPERFICIE

Contamos con equipos de prueba montados en tráiler y heli-transportables, capaces de operar bajo diferentes rangos de presión, temperatura, producción, tipos de crudo, gas y agua.

**2.1.1 Separador trifásico.** Vasija que internamente realiza la dilución de agua, crudo y gas. Los fluidos que por este circulan son separados, analizados, y devueltos a la línea de proceso mezclados nuevamente a excepción del gas que es quemado mediante un sistema de Tea Horizontal.



**Figura 1 Separador Trifásico**

Con este equipos se controlan las diferentes variables de operación para los productos que el pasan como los son la presión, el caudal, la temperatura mediante sistemas neumáticos, manómetros, turbinas entre otros elementos.

**2.1.2 Generadores trifásicos.** Equipos movidos con motores diesel que prestan el servicio de generación de electricidad, están ajustados para generar a 480V.



**Figura 2 Generador Trifásico**

Son equipos que cumplen con la legislación en cuanto a emisiones y a ruido, adicionalmente cuentan con tanques de abastecimiento de combustible interno para una disponibilidad de 24 horas; son equipos que trabajan continuamente y que son intervenidos según las indicaciones del fabricante.

**2.1.3 Bombas centrifugas.** Equipos de bombeo que se utilizan como booster o cebadoras para las bobas de despacho.

**2.1.4 Bombas de desplazamiento positivo.** Son bombas utilizadas para el despacho del producto a la troncal, las hay de tornillo y de paletas.



**Figura 3. Bomba de desplazamiento positivo tipo tornillo**



**Figura 4. Bomba de desplazamiento positivo tipo paletas**

Son maquinas que dentro de su amplia gama de modelos pueden manejar crudos con diferentes características, agua sola o mezclada. Pueden trabajar bajo diferentes parámetros de operación como caudal y presión.

**2.1.5 Compresores de aire.** Equipos de compresión por el sistema de pistón que producen y almacenan el aire utilizado en diferentes procesos como la separación de la mezcla en los separadores trifásicos principalmente.



**Figura 5. Compresor de aire de pistón**

### 3. GESTION DEL MANTENIMIENTO

El objetivo principal de la gestión es coordinar los medios sistemáticamente, para lograr un fin o fines comunes dentro de una organización. Así el mantenimiento representa un organismo social que opera como cualquier empresa independiente pues cuenta con:<sup>7</sup>

- ✓ Operaciones presupuestales
- ✓ Operaciones de productividad
- ✓ Operaciones de aplicación en la distribución de servicios
- ✓ Operaciones en la conservación de recursos humanos y materiales
- ✓ Operaciones de registro y control estadístico de las actividades

La gestión del mantenimiento se define como un conjunto sistemático de técnicas que mediante la coordinación de cursos y estructuras organizacionales busca la obtención de un objetivo definido.

El proceso de mantenimiento, consciente de la necesidad del cumplimiento de los requisitos de sus clientes internos como externos. Esta gestión esta alineada a los programas y directrices gerenciales de diferentes procesos estratégicos y de apoyo. Para el desarrollo de la gestión se han diseñado estrategias basadas en el cumplimiento de procesos y herramientas que garanticen la efectividad del proceso.

---

<sup>7</sup> GARCIA, Oliverio. Administración de mantenimiento industrial. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Duitama 1992. P.56

En mantenimiento el objetivo es la conservación de equipos y su protección, para que se mantengan operando eficientemente, y retardar el deterioro para prolongar su vida útil. Así un sistema de mantenimiento verifica todo el ciclo de la administración, y sus fases permanecen continuamente cambiando, transformándose y desarrollándose, constituyéndose en un proceso cíclico administrativo.<sup>8</sup>

### **3.1 PLANEACION DE LA GESTION DEL MANTENIMIENTO**

La experiencia demuestra que cualquier máquina o equipo a lo largo de su vida presenta degradaciones. Si no se evitan estas degradaciones o si no se eliminan cuando aparecen, el objetivo para el que se crearon no se alcanza plenamente, su rendimiento disminuye y se reduce su vida útil. Esto nos lleva a que cualquier instalación necesitará siempre de alguien que la opere, pero también alguien que la mantenga. Entre más automatizada este la instalación, menos personal de operación será necesario, sin embargo, el número de elementos susceptibles a fallar será mayor.

Para lograr una disponibilidad alta en los equipos, es necesario contar con una buena estrategia o sistema de mantenimiento. Para la definición de esta estrategia, el proceso de mantenimiento ha caracterizado su proceso.

La estrategia pretende mantener altos indicadores de confiabilidad y disponibilidad de estos equipos, dependiendo de las necesidades específicas, solicitudes o exigencias de nuestros clientes. Adicionalmente, ante la ocurrencia de un evento no deseado, la respuesta ante las necesidades operacionales deberá ser efectiva y en menor tiempo posible,

---

<sup>8</sup> GARCIA, Oliverio. Administración de mantenimiento industrial. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Duitama 1992. P.56

minimizando así los efectos de su ocurrencia. De igual manera, el costo de la gestión de mantenimiento debe ser razonable, buscando la optimización de los recursos del proceso y de la empresa en general.

Para trabajos especializados de mantenimiento, Petrotiger a través del proceso de mantenimiento y soportándose en el proceso de cadena de abastecimiento, quien se encargara de contratar compañías especializados en mantenimiento predictivo y coordina estos servicios con personal especializado en las diferentes ramas del mantenimiento. Los producibles de estos servicios son analizados por grupos de trabajo con las competencias requeridas y se generan acciones que garanticen el cumplimiento de nuestros objetivos.

Nuestra fuerza laboral consta de un grupo de ingenieros y técnicos en las diferentes ramas, los cuales cumplen funciones específicas de acuerdo a su especialidad según la descripción del cargo.

Existen diferentes reglas aplicables en un proceso de planeación, pero básicamente se debe seguir una serie de pasos secuenciales para llevar a cabo una planeación efectiva de las las actividades de mantenimiento, estos son:

- ✓ Determinara las necesidades de los equipos, que pueden ser originados por uso de bitácoras, reportes de falla, estadísticas de comportamiento o comunicación verbal con los operadores
- ✓ Diagnosticar las causas de falla mediante investigación y análisis
- ✓ Planear las soluciones alternativas y proponer las acciones correctivas, mediante u listado de las actividades
- ✓ Programar lo planeado con la secuencia de actividades
- ✓ Evaluar el programa de carga de trabajo

- ✓ Confrontar la carga de trabajo con la fuerza de trabajo
- ✓ Informar y controlar el programa con el cliente
- ✓ Elaborar la reprogramación si fuere necesario.

### 3.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

#### 3.2.1 Procesos y herramientas necesarias para el desarrollo de la estrategia

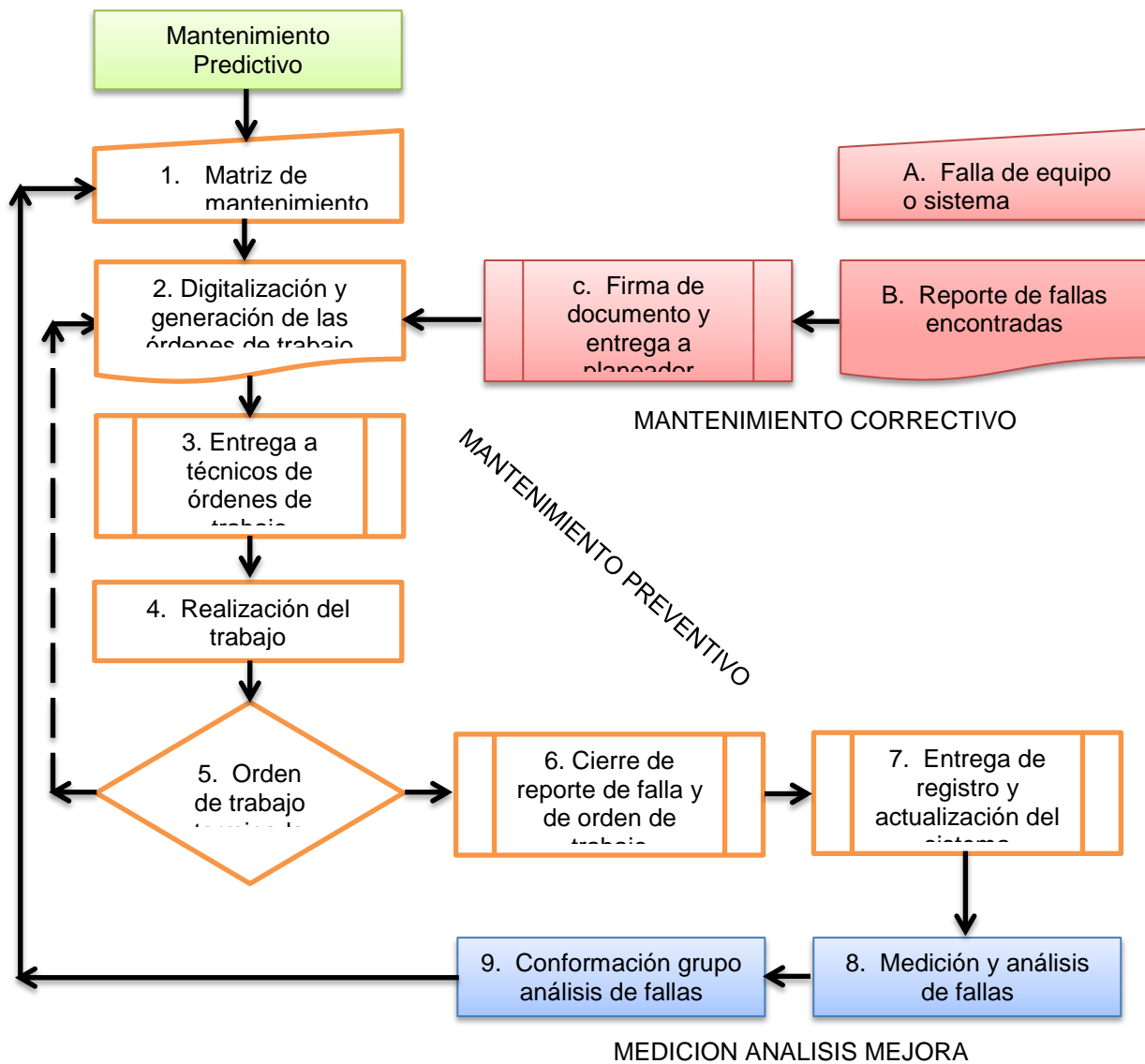


Figura 6. Estrategias de mantenimiento

### 3.3 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Las actividades propias de mantenimiento están soportadas en procedimientos, flujo gramas y registros. Algunos que son de tipo técnico y que están relacionados con la estrategia de la gerencia.

Petrotiger lleva a cabo la administración del mantenimiento como un sistema basado en las siguientes etapas:

- Planeación: Visualización de eventos futuros para el logro de objetivos.
- Organización: Correcta relación entre recursos materiales y humanos.
- Dirección: Guía y supervisión de todo el equipo de mantenimiento grupo para alcanzar metas trazadas.
- Control: Verificación que la actividades vayan de acuerdo con lo planeado.

Las actividades de mantenimiento se encuentran identificadas dentro de tres grupos básicos, que dependiendo de las condiciones, instalaciones, etc., de la industria, donde determinando la prioridad se clasifican principalmente en:

- **Mantenimiento predictivo.** Conocido también como basado en condición. Usado para predecir o anticiparse al daño (Inspecciones, monitoreo de condiciones, control al desgaste). Se basa fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción. Se evalúa la condición mecánica de la máquina y su evolución, mientras ella esta funcionando, a través de diversos síntomas que ella emite al exterior. En base a esto se programan las necesidades de mantenimiento cuando se detecta un problema en ella. Puede llevarse a cabo en forma periódica o continua, en función de tipos de equipo,

sistema productivo, etc. Para ello se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, vibraciones, termografías, etc. Reduce los tiempos de parada; permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo; optimiza la gestión del personal de mantenimiento; toma de decisiones sobre la parada de una máquina en momentos críticos; facilita el análisis de fallas; permite el análisis estadístico del sistema; datos para crear el archivo histórico del desempeño de equipos; conocer con exactitud el tiempo límite de intervención que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, etc.

- **Mantenimiento preventivo.** Mantenimiento que se hace de forma rutinaria o cíclica aun cuando una maquina este operando satisfactoriamente. Su característica principal es detectar fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen programa de este tipo de mantenimiento, se obtienen experiencias en la determinación de causas de fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como de definir puntos débiles de las instalaciones, maquinas, etc. Con este mantenimiento se logran ventajas como reducción de tiempos de parada; permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo; optimiza la gestión del personal de mantenimiento; toma de decisiones sobre la para de una máquina en momentos críticos; facilita el análisis de fallas; permite el análisis estadístico del sistema; permite conocer el historial de intervenciones para ser utilizado en el mantenimiento correctivo; conocer el límite de intervención que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, etc.
- **Mantenimiento correctivo.** También conocido como mantenimiento reactivo. Permite a la maquina funcionar hasta la falla. Puede ser planificado y no planificado.

Planificado consiste en la reparación de un equipo o máquina, cuando se dispone del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para efectuarlo.

No planificado consiste en la corrección de fallas cuando estas se presentan y no de manera planificada, al contrario del mantenimiento preventivo.

Un programa de mantenimiento con lleva una serie de actividades que sirven de apoyo para la ejecución del proceso o procesos de mantenimiento. Estas actividades son:

### **3.4 PROCESOS DE APOYO A LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

**3.4.1 Manejo de competencias.** El área de talento y desarrollo organizacional es el responsable de administrar las competencias del personal por medio de la descripción de cargos, planes de capacitación y evaluación de desempeño.

**3.4.2 Manejo de la cadena de abastecimiento.** EL proceso de cadena de abastecimiento es el responsable por dar cumplimiento a los requisitos de equipos, partes, consumibles, repuestos y/o servicios que sean requeridos.

**3.4.3 Manejo de partes y repuestos (Bodega de materiales).** La selección de repuestos necesarios en sitio se hace de acuerdo con el listado de consumibles recomendado por cada fabricante y la experiencia del desempeño del equipo en particular, basándose en datos históricos de la maquina.

**3.4.4 Planeación y programación:** Se lleva a cabo una priorización de los trabajos a ejecutar y se programan según su criticidad.

### **3.5 MEDICION, ANALISIS Y MEJORA**

EL proceso cuenta actualmente con indicadores, su frecuencia es mensual y han sido creados para el monitoreo de las variables básicas. Las tendencias de los resultados son analizados con base en la toma de decisiones para su mejoramiento

**3.5.1 Análisis de datos.** Grupos de trabajo interdisciplinarios analizan los datos obtenidos de análisis predictivos y/o analizan causa raíz de la fallas.

**3.5.2 Análisis sistemático de criticidad.** Se concentran esfuerzos en sistemas y/o equipos de mayor criticidad con el fin de mantener su mejor nivel de confiabilidad teniendo en cuenta parámetros de HSEQ y de producción.

**3.5.3 Análisis de integridad.** El proceso de integridad contribuye al proceso de mantenimiento administrando los procesos de inspección para garantizar la integridad de los equipos, capacita el personal en aspectos básicos y normatividades entre otros.

**3.5.4 Análisis de causa raíz.** Método riguroso de solución de problemas de cualquier tipo de falla, que utiliza la lógica y un árbol de causas, el cual consiste en una representación de visual de un evento de falla, en el cual el razonamiento por deducción y la verificación de los hechos conducen a las causas originales. Esta técnica permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir síntomas.

**3.5.5 Análisis de efecto de modo de falla.** Método sistemático para identificar fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminar o minimizar los riesgos asociados con ellas. El FMEA documenta las acciones preventivas y la reducción del proceso.

**3.5.6 Análisis de causa de efecto de modo de falla.** Técnica para revisar diseños centrada en el desarrollo de productos y procesos en acciones priorizadas. EL propósito de las acciones priorizadas es reducir el riesgo de que el producto falle.

**3.5.7 Análisis de criticidad.** Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe definir el alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

## **3.6 CRITERIOS PARA DEFINIR PRIORIDADES**

Los criterios básicos que se usan para definir las prioridades dentro de un proceso de mantenimiento son de tres tipos.

**3.6.1 Criterios productivos.** Son los que miden la importancia del equipo con relación a la función principal para la cual fueron diseñados, esta importancia productiva depende de cuatro factores básicos:

- ✓ Su capacidad. En cuanto a su volumen de producción y de utilización

- ✓ Su influencia en el proceso productivo. Determinada por su efecto en la calidad del producto y su efecto sobre otros equipos vinculados
  
- ✓ Su rentabilidad. Determina su eficiencia productiva en términos económicos
  
- ✓ Su riesgo. Parámetro que mide los posibles riesgos de falla de un equipo, que ocasionan peligros a la salud humana o a los demás equipos de la instalación

**3.6.2 Criterios de mantenimiento.** Son los que miden la importancia del equipo de acuerdo a sus necesidades particulares de mantenimiento, entre ellos podemos enumerar:

- ✓ Costo de hacer o no hacer el trabajo. Valora económicamente la posibilidad de diferir el trabajo durante un lapso determinado, o la necesidad de realizarlo en el menor tiempo posible.
  
- ✓ Disponibilidad de mano de obra. Determina la posibilidad del uso de obra excesiva o en tiempo extra, y relaciona su costo con el de tiempo perdido.
  
- ✓ Velocidad y gravedad del deterioro. Mide la importancia de la falla con la velocidad de deterioro, y los posibles problemas que pueda ocasionar la operación deficiente del equipo.
  
- ✓ Riesgo de postergación del mantenimiento. Analiza las posibilidades de riesgo ocasionadas por el aplazamiento en la intervención del equipo cuando se detectan las fallas, y las consecuencias de su operación en la condición de riesgo calculado.

**3.6.3 Criterios de autoridad.** Son aquellos determinados por el grado de autoridad correspondiente a las personas que tienen el poder de decisión y que se utiliza cuando los criterios productivos y de mantenimiento no determinan claramente la prioridad.

Los criterios de autoridad son en últimas, los que definen las prioridades a adoptar en los trabajos, con base en los criterios productivos o de mantenimiento y en las necesidades particulares del momento, originadas en los compromisos productivos y comerciales pre-establecidos.

#### 4. PLAN PROPUESTO

Recopilar y analizar datos de mantenimiento y convertirlos en información, es una de las partes mas complicadas, ya que la información en mantenimiento es muy abundante y todos le damos formas diferentes. El mantenimiento preventivo para algunos solo incluye la rutina en sí, para otros el mantenimiento preventivo incluye reparaciones preventivas, confiabilidad para algunas organizaciones es el valor en porcentaje del tiempo de parada del equipo por eventos correctivos sobre el tiempo total de operación de la máquina en determinado período, mientras que otros dicen que es igual a la probabilidad de falla en un período determinado, en fin son muchos los criterios y formas que tenemos de hacer mantenimiento.

Todos defendemos nuestro lenguaje de mantenimiento puesto que seguramente es el más apropiado para nuestro negocio, o hemos aprendido a convivir con él. Sin embargo la unificación de este lenguaje es fundamental y seguramente tendremos que adoptar algunos términos diferentes a los nuestros, pero que a la postre nos traerán gran beneficio.

En vista de este problema un grupo de compañías exitosas se unieron y desarrollaron un sistema común que les permitió, primero solucionar el problema de lenguaje, identificar sus problemas y compararse entre sí, ver los problemas de los otros y la forma como los habían resuelto. Este programa tuvo tanto éxito, que se convirtió en la Norma ISO 14224, estándar internacional que recomienda un método práctico y sencillo para estructurar la base de datos de las fallas de los equipos de tal manera que podamos identificar fallas crónicas, hacer análisis de desviaciones a nuestra estrategia y mejorar la Confiabilidad de los activos de la empresa.

## **4.1 OBJETIVOS**

### **4.1.1 Objetivo General.**

Realizar un mejoramiento al plan de mantenimiento actual para los equipos de la empresa PETROTIGER en su base ubicada en el municipio de Acacias Meta.

### **4.1.2 Objetivos Específicos.**

- ✓ Analizar la situación actual del mantenimiento de los equipos de la base
- ✓ Acacias de PETROTIGER utilizados en el desarrollo de las pruebas realizadas en los pozos de producción de Ecopetrol
- ✓ Establecer una estrategia de mantenimiento para la estructura de la base
- ✓ Acacias de PETROTIGER que le permita contar con la disponibilidad y confiabilidad de los equipos
- ✓ Diseñar un procedimiento de análisis de fallas de los equipos críticos como bombas y generadores
- ✓ Actualizar y mantener todos los indicadores de gestión del mantenimiento

## **4.2 SITUACION ACTUAL**

La idea de recopilar los datos de los trabajos de mantenimiento realizados a un equipo, aparte de saber cuanto nos está costando, es saber como se está desempeñando y que tipo de fallas está teniendo. También nos interesa hacer un seguimiento a la estrategia de mantenimiento diseñada y si realmente está dando resultado, o donde podemos mejorar para lograr las metas propuestas. Una Información adecuada es el único camino hacia el

mejoramiento. Toma de datos correcta, análisis estadístico traducido en indicadores nos permiten ver el camino, seguirlo y llegar a la meta.

Sin un camino, aunque sepamos a donde queremos ir es muy difícil llegar. Pasa como en la selva, queremos salir, no hay camino, aunque caminamos muy fuerte, durante mucho tiempo y lo que hacemos es ir en círculos sin encontrar la salida. No puedes controlar lo que no mides y no puedes mejorar lo que no controlas. Mida, mida y mida. Para medir necesito los datos correctos, fuentes de información y un proceso de manejo de esos datos.

Conocernos a nosotros mismos y además conocer las mejores prácticas de las mejores empresas mediante el uso de un mismo lenguaje y compartiendo información nos puede permitir hacer mejoras sustanciales en:

- ✓ Planeación estratégica (desarrollo de planes a corto y largo plazo)
- ✓ Pronósticos tendencias y predicciones en áreas de confiabilidad y costos de mantenimiento.
- ✓ Nuevas ideas. Aprendiendo de otras organizaciones.
- ✓ Comparaciones equipos / procesos
- ✓ Fijación de objetivos

Otros beneficios de la toma, recolección y análisis de datos de confiabilidad y mantenibilidad incluye la toma de mejores decisiones, reducción de fallas catastróficas, reducción del impacto ambiental y tendencias de desempeños efectivos, aumento de la disponibilidad de las unidades de proceso y como consecuencia de todo esto, reducción de costos.

En la actualidad Petrotiger en su base de Acacias ha venido reduciendo sus intervenciones a los equipos de tipo correctivo y una muestra de esto son sus

indicadores, donde se han reducido la cantidad de horas extras del personal de mantenimiento, ampliando el tiempo entre intervenciones, reduciendo las paradas de los equipos.

Se han logrado todos estos cambios gracias a la identificación de las variables que se ven involucradas en la parada de los diferentes equipos, siendo las más relevantes:

- ✓ Mala operación de los equipos
- ✓ Operación continua hasta falla por desgaste de repuestos
- ✓ Falta de conocimiento en la escogencia de los equipos según la necesidad de la operación
- ✓ Pocos tiempos para los mantenimientos
- ✓ Falta de pericia en la solución inmediata de problemas

#### **4.3 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO SEGÚN LA NORMA ISO 14224**

Esta es la norma adoptada por la industria petrolera y de gas natural. Consta de dos secciones, una normativa y otra de carácter informativo. La normativa contiene:

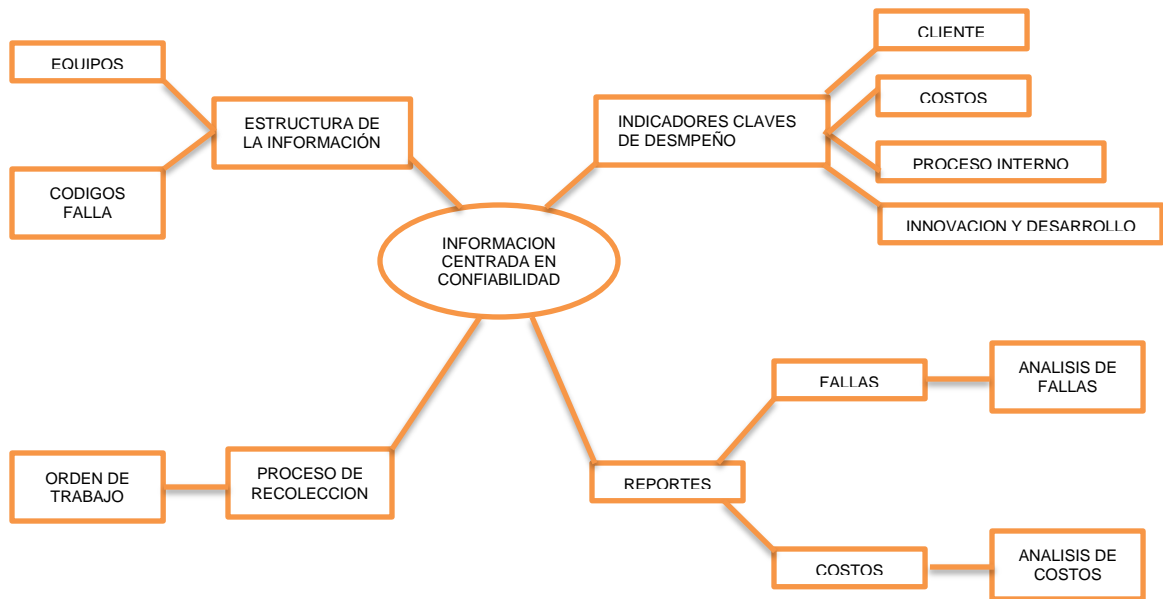
- ✓ Introducción
- ✓ Alcance
- ✓ Definiciones y abreviaciones

- ✓ Calidad de los datos. Definiciones, guías, toma de datos.
- ✓ Cuerpo y jerarquía de los equipos
- ✓ Estructura de la información
- ✓ Datos de fallas y mantenimiento de los equipos

La parte informativa contiene:

- ✓ Atributos de las clases de los equipos
- ✓ Notas de fallas y mantenimiento
- ✓ Lista de chequeo para control de calidad

El estándar fue desarrollado por iniciativa de un grupo de compañías petroleras que identificaron en los años 80 la necesidad de comparar el resultado del uso de sus equipos para mejorar su confiabilidad. Fue así como decidieron hacerse socias en este proyecto y desarrollaron una gran base de datos que tiene algo más de 18 años de historia (OREDA) que fueron evolucionando y haciendo mejoras hasta convertirse en un estándar el cual fue publicado en 1998 y revisado en Diciembre del 2006.



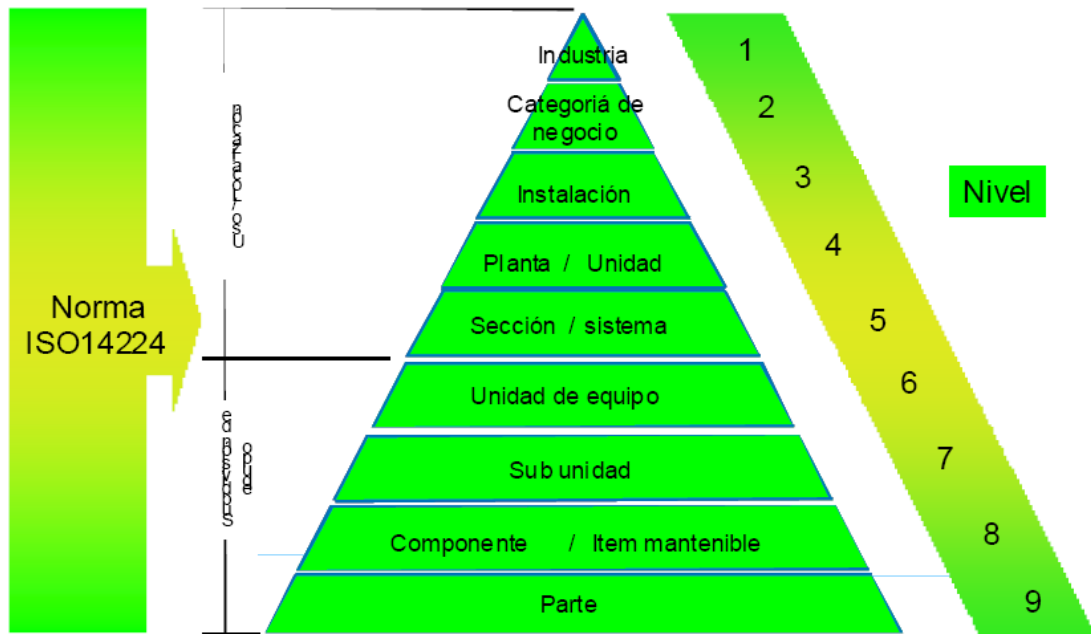
**Figura 7 Información centrada en confiabilidad<sup>9</sup>**

Para obtener información centrada en confiabilidad es necesario estructurar los equipos y establecer un proceso que permita obtener la información buscada; recordemos que las fallas son la entrada al proceso global de mantenimiento y nuestro requerimiento es minimizarlas.

Hay dos clases de datos que se deben tomar a los equipos: Su localización y sus características.

**4.3.1 Localización.** La localización se organiza de acuerdo con la taxonomía mostrada en el siguiente cuadro y para su manejo se le asigna in TAG. El TAG es un código inteligente que permite identificar la localización y clase de equipo con solo leerlo.

<sup>9</sup> Tomado del Diplomado en Gestión y Control del Mantenimiento ACIEM



**Figura 8. Árbol de Equipos – Taxonomía**<sup>10</sup>

La taxonomía o árbol de equipos permite asociar el equipo a sistemas, plantas, instalaciones, categoría del negocio y hasta el tipo de industria en donde está localizado el equipo. También glosa el equipo en subsistemas o componentes, que también pueden ser clases, y subcomponentes o sea partes de un componente. El último eslabón es la parte que falla, que es el repuesto. Lo que debemos reparar, cambiar, etc. Este último nivel normalmente se conoce como la parte que falla y va asociada en la orden de trabajo como un código de cierre.

El control debe hacerse a nivel de ítem mantenible, o sea el menor subcomponente al cual le hacemos mantenimiento. En la tabla mostrada a continuación se muestra en detalle la definición de cada nivel y muestra ejemplos de cada uno.

<sup>10</sup> Tomado del Diplomado en Gestión y Control del Mantenimiento ACIEM

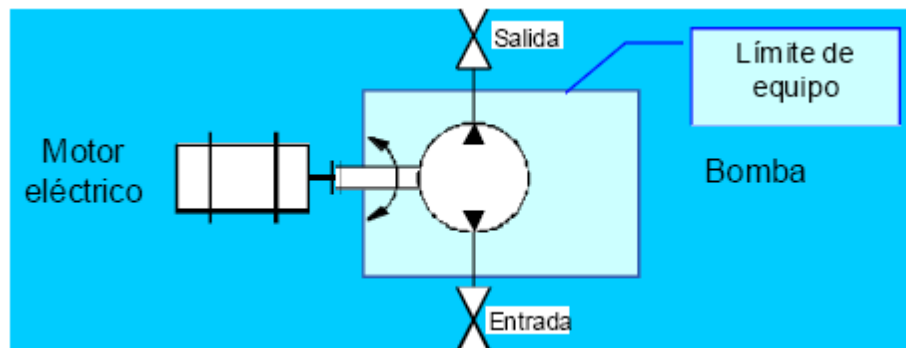
	NIVEL	DESCRIPCION	DEFINICION	EJEMPLOS
Datos uso / localización	1	Industria	Tipo principal de industria	Petróleo, petroquímico, alimentos, minería,
	2	Categoría negocio	Tipo de negocio o proceso	Extracción, producción, refinación, petroquímica
	3	Categoría instalación	Tipo de facilidad	Producción, transporte,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

**Tabla 1. Definición niveles Árbol de Equipos**

Es fundamental aclarar cuales son los límites de los equipos, hasta donde van, sobre todo en plantas industriales o equipos de transporte y minería donde no existe un limite claro para todos. Aunque no hay unos criterios universales, cada planta debe establecer sus límites usando sus propios

criterios y/o utilizando el manual del fabricante. La norma da algunas guías para su delimitación, como por ejemplo:

El equipo no incluye su manejador, ver siguiente figura



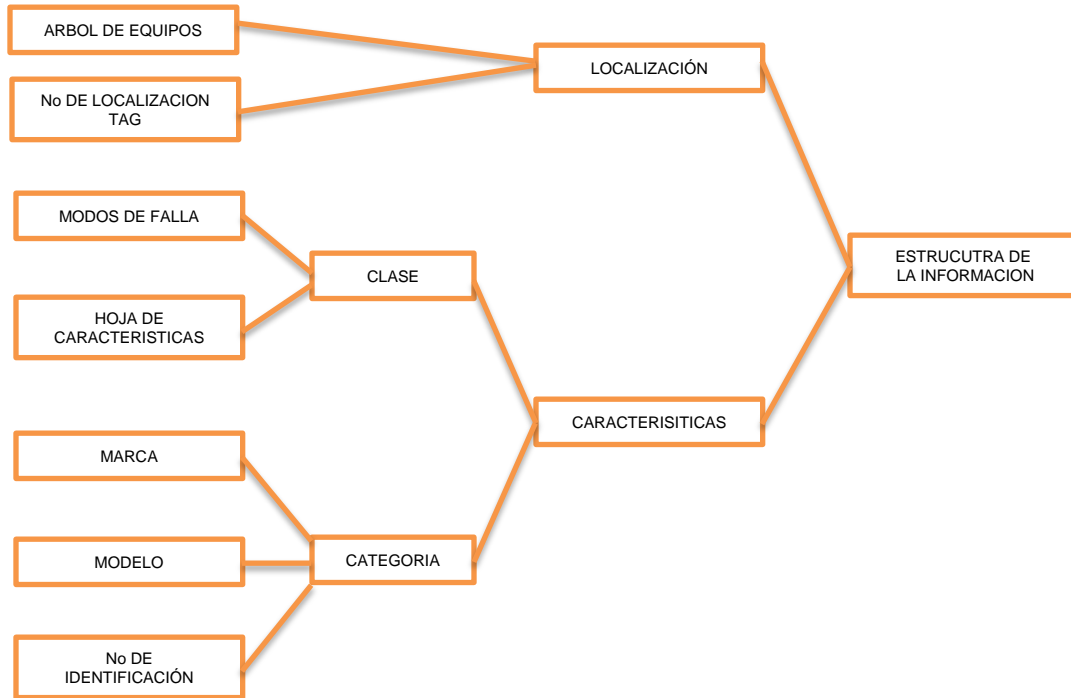
**Figura 9. Definición de límites**

El acople pertenece al manejador. Las válvulas de entrada y salida no pertenecen al equipo. Límite del equipo. Los sistemas de control y monitoreo en línea son parte del equipo, así como los sistemas necesarios para que el equipo funcione (sub unidad).

En general, la segregación de un equipo se hace de acuerdo a la importancia (criticidad - mantenibilidad) del mismo y al grado de seguimiento que deseamos hacerle. Es necesario hacer un balance costo efectivo de esta categorización, ya que un mayor detalle en el proceso implica un mayor manejo de órdenes de trabajo, con mayor utilización de horas hombre.

El código de localización comúnmente conocido como TAG es un código inteligente que determina los diferentes niveles de la taxonomía. Por facilidad en algunas empresas, aunque el TAG es completo, solo se mencionan los equipos con su número y su clase, CO101 por referirse al compresor

localizado en la posición 101. Sin embargo a la hora de hacer el reporte estadístico, el TAG debe aparecer completo.



**Figura 10 Estructura de la información de equipos<sup>11</sup>**

**4.3.2 Características.** Clase y Categoría de equipos. De acuerdo a su función los equipos son diseñados de diferentes formas y tamaños. Sin embargo, los equipos que desempeñan funciones similares, tienen características similares. Al tener características similares, tienen modos de falla similar. Es importante agrupar los equipos por clase y definir para cada clase cuales son los datos que deben ser tomados para conocer las características del equipo y sus posibles fallas de funcionamiento.

Por ejemplo: Embazadora de líquido, tractor de oruga, transformador de potencia, compresor recíprocante, etc....son equipos de iguales

<sup>11</sup> Tomado del Diplomado de Gestión y Control del Mantenimiento ACIEM

características, no importa su tamaño ni su marca. Un televisor es un televisor, no importa si es de 20", 14" o 50". Puede ser Sony, LG o lo que sea, todos tienen una pantalla, un sistema de control, una carcasa, etc. y sus modos de falla son los mismos: No prende, no tiene imagen, imagen borrosa, rayas horizontales, rayas diagonales etc. Sin embargo, si queremos ser mas exquisitos podemos decir que entre equipos de la misma clase pueden existir diferentes familias: Pantalla plana, LCD, Plasma, estándar, que aunque tienen las mismas características generales difieren en su diseño interior. Si tenemos equipos críticos, esenciales o relevantes de la misma clase, pero de diferentes familias, los debemos diferenciar desde un comienzo. Esto por si queremos saber cuales televisores fallan más: los LCD o los Plasma.

El modo de falla es el síntoma que detecta el operador. Falla para abrir, no arranca, no hay señal. Nótese que no son acciones como revisar, calibrar, etc...Son síntomas, lo que el operador o técnico detecta, ve o percibe. Cada clase de equipo tiene unos modos de falla característicos. Cada empresa debe diseñar, de acuerdo a sus clases de equipos los modos de falla aplicables. Es preferible no crear muchos códigos, ya que esto en la práctica se vuelve inmanejable. Es mejor usar los recomendados por la norma en lo posible eliminando los códigos innecesarios y agregando los no existentes que sean absolutamente necesarios para la identificación correcta de los síntomas de las fallas.

La categoría es la clase mas la marca más el modelo. Estos datos nos especifican al detalle las características del equipo, para lo cual debe existir un manual de operación y mantenimiento hecho por el fabricante. La tabla de categorías nos permite identificar la población de equipos iguales y su probable utilización de repuestos. Es un dato fundamental para establecer la necesidad de inventario de repuestos de la planta.

También es importante tener esta agrupación para identificar patrones de falla por categoría de equipos (televisor LCD marca Sony modelo 32S) y ciclos de vida de los mismos equipos o sus componentes. El número de identificación ID del equipo es un número aleatorio, algunas empresas lo hacen coincidir con el número del activo de la cuenta contable, definido por la empresa. Este número no es repetible y debe acompañar al activo durante todo su ciclo de vida.

La clase sola no identifica satisfactoriamente el equipo desde el punto de vista de mantenimiento. Es importante, para cada clase identificar los elementos diferenciadores o especiales de cada equipo para agrupar equipos iguales. Estos elementos son las características de diseño específicas de cada clase de equipo. La tabla muestra un ejemplo de que datos debe llevar la hoja de características de un motor eléctrico, tomado de la Norma ISO14224.

#### **4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS CRITICOS**

Es necesario clasificar los equipos para determinar su grado de atención desde el punto de vista de mantenimiento. Esto no quiere decir que unos son más importantes que otros. Todos los equipos son importantes para mantenimiento y a todos debemos darle atención. Lo que pasa es que a algunos podemos llevarlos hasta la falla y a otros no.

Para clasificar los equipos es necesario tener en cuenta las consecuencias en el caso de una falla en los mismos. Si un equipo falla, y esa falla pone en riesgo la seguridad o la vida de las personas, es un equipo crítico. Por ejemplo una canasta de izajes de personal para trabajo en altura. Otros criterios para tener en cuenta son la afectación al medio ambiente, las

pérdidas en la producción, la calidad del producto o los costos de la reparación.

**4.4.1 Los equipos Críticos.** Son los equipos que cuando fallan afectan la seguridad de las personas, el medio ambiente, la producción, la calidad del producto, o los costos de mantenimiento.

**4.4.2 Los equipos Esenciales.** Son equipos esenciales para la seguridad o producción, que cuyo fallo puede limitar la seguridad de las personas, el medio ambiente, la producción o los costos de mantenimiento, pero hay una solución alternativa. Ejemplo un transmisor de nivel en un terminal de líquidos que si falla es necesario colocar permanentemente un operador para que controle el nivel manualmente mientras se soluciona el problema del transmisor.

También se consideran equipos esenciales aquellos que tienen por lo menos un equipo redundante o de respaldo en buen estado.

**4.4.3 Los equipos de propósito general.** Equipos cuyo paro no afecta ni la seguridad, ni el medio ambiente, ni la producción y su costo de mantenimiento es bajo.

Ya que la severidad es diferente para empresas diferentes, para facilitar la clasificación de equipos cada empresa debe hacer una matriz de clasificación, como se muestra en la figura, donde defina los criterios de severidad a aplicar en cada caso.

Consecuencias				Frecuencia			S E V E R I D A D A D	
Seguridad	Medio Ambiente	Producción o calidad del producto	Costos	> 3 años	1 > años <3	< 1 año		
Fatalidad incapacidad permanente	Daño serio al medio ambiente	Pérdida de mas de XXX productos	> US\$ 100000					A
Lesión con tiempo perdido	Contaminación seria	Perdida entre XX y XXX productos	>US\$ 100000 y > 50000					B
Lesión sin tiempo perdido	Contaminación leve	Perdida entre X y XX productos	<US\$ 50000 y > 5000					C
Ningun efecto	Ningun efecto	Menor de X productos	< US\$ 5000					D

	Equipo Crítico
	Equipo esencial
	Equipo de propósito general

**Figura 11. Matriz de Clasificación**

Vale aclarar:

- ✓ Todos los equipos son importantes. Esto quiere decir que todos los equipos deben tener una estrategia de mantenimiento.
- ✓ La clasificación nos da el orden en el cual debemos priorizar la atención a los equipos.
- ✓ Desde el punto de vista de mantenimiento, un equipo crítico no es más importante que un equipo de propósito general.
- ✓ La clasificación sirve para dar la prioridad a los trabajos de mantenimiento de los diferentes equipos.

- ✓ Una vez programado un trabajo, la atención es la misma para cualquier equipo.
  
- ✓ Todos los equipos deben ser evaluados dentro de la estrategia de mantenimiento

#### **4.5 RECOLECCIÓN DE DATOS**

Todos los eventos sucedidos en el departamento de mantenimiento deben ser capturados en alguna forma. Todos, se refiere al 100% de los datos generados. Se pueden usar desde un simple archivo manual hasta sistemas computarizados sofisticados, dependiendo de la cantidad y complejidad de los activos a mantener.

Las siguientes son las actividades más importantes antes del comienzo del proceso de la colección de datos:

Defina el objetivo y los todos los datos relevantes a recoger para el uso previsto.

Ejemplos de los análisis donde tales datos pueden ser utilizados están: Análisis Cuantitativo del Riesgo (QRA); Confiabilidad, Disponibilidad y Análisis de Mantenibilidad (RAM); Mantenimiento Centrado en Confiabilidad- (RCM); Costo de Ciclo de vida (LCC).

Investigue las fuentes de los datos y asegúrese de que las fuentes de datos relevantes de calidad suficiente estén disponibles. Dichas fuentes cubren información técnica y de inventario del equipo, datos de eventos de mantenimiento, cambios con impactos asociados de la planta. Defina la

información de la taxonomía a ser incluida en la base de datos para cada unidad del equipo.

Identifique la fecha de instalación, cantidad y periodo(s) de funcionamiento de los equipos. Defina la clase y los límites para cada equipo, indicando qué datos de RM deben ser recogidos. Aplique una definición uniforme de la falla y del método de clasificar fallas. Defina los chequeos específicos de los datos a aplicar, verifique con el procedimiento de verificación de calidad de los datos. Como mínimo se debe verificar:

- ✓ Que el origen de los datos esté documentado y sea detectable
- ✓ Que los datos de equipo similar en condiciones, tipo, tecnología y de funcionamiento sean consistentes
- ✓ Que el equipo es relevante para el propósito (e.g. modelos no anticuados)
- ✓ Conformidad con las definiciones y la interpretación de normas (e.g. definición de la falla)
- ✓ Que las fallas registradas están dentro del límite del equipo y período definidos de vigilancia
- ✓ Consistencia entre la información (e.g. consistencia entre los modos de fallo y el impacto de la falla)
- ✓ Que los datos están colocados en el formato correcto
- ✓ Que haya suficiente cantidad de datos recogidos para dar la confianza estadística aceptable (e.g. no tomados en períodos muy cortos).

Consultar con el personal de Operación y mantenimiento para validar los datos. Defina un nivel de prioridad para el completamiento de datos por un método conveniente. Un método de dar importancia de los diversos datos que se recogen es usando tres clases de la importancia de acuerdo con la siguiente recomendación:

- ✓ Datos obligatorios (cobertura = 100 %)
- ✓ Datos altamente deseables (> de la cobertura; 75 %)
- ✓ Datos deseables (> de la cobertura; 50 %).

Defina el nivel de detalle de los datos divulgados y recogidos y líguelo de cerca a la importancia del equipo por producción y seguridad. Base la priorización en seguridad, regularidad y otras evaluaciones de criticidad.

Prepare un plan para el proceso de la toma de datos, e.g. horario, fechas límite, secuencia de toma de datos para las instalaciones y unidades de equipo, períodos de vigilancia que se cubrirán, etc.; Planee cómo van a ser montados y divulgados los datos e idee un método de transferir por cualquier método conveniente, los datos de la fuente de datos a usar al banco de datos de confiabilidad.

Entrene, motive y organice la toma de datos personalmente, e.g. fuentes de interpretación, conocimientos técnicos del equipo, herramientas del software, involucre personal de operaciones y expertos en el uso entendimiento/experiencia del análisis de los datos de RM, etc. Asegúrese de que ellos tienen comprensión profunda del equipo, sus condiciones de funcionamiento, el estándar internacional (ISO 14224), y los requisitos dados

para la calidad de los datos; Haga un plan para garantizar la calidad del proceso de toma de datos y sus entregables. Como mínimo incluya los procedimientos para el control de calidad de datos, la grabación y la corrección de desviaciones. La verificación de la calidad de los datos deberá estar documentada y puede variar dependiendo de si es la toma de datos para una sola planta o cubre varias compañías o instalaciones de la industria. Al combinar bases de datos individuales es imperativo que cada archivo de datos tenga una única identificación.

Durante y después del ejercicio de la colección de datos, analice los datos para verificar la consistencia, distribuciones razonables, códigos apropiados e interpretaciones correctas dentro del acuerdo en la actividades planeadas.

El proceso de esta verificación de calidad será documentado y puede variar dependiendo de si la colección de datos está para una sola planta o cubre varias compañías o instalaciones industriales. Al combinar bases de datos individuales es imprescindible que cada archivo de datos tenga una identificación única. Para verificar la calidad de la información, determine la calidad de los datos recogidos tan temprano como sea factible de acuerdo con los indicadores de medición planeados. Un procedimiento conveniente es una evaluación de los proveedores de datos, con medidas de calidad que enfoquen los comportamientos de dichos proveedores. El objetivo principal de esta evaluación temprana es buscar cualquier problema que pueda requerir cambios en el proceso inmediatos para evitar que se recojan datos inaceptables.

Personal diferente a los proveedores de datos verificarán la calidad de cada registro individual de datos y el patrón total de la confiabilidad reflejado por la suma de los diferentes eventos individuales de acuerdo con las medidas planeadas.

Identifique todas las fuentes de datos disponibles y extraiga los datos “crudos” relevantes en un medio de almacenaje. Si la información está contenida en una base de datos automatizada, utilice cualquier método conveniente para extraer la información relevante.

Extracción de información de metas por métodos de software específicos o informes con la información deseada. Interprete esta información y tradúzcala en el tipo y formato deseado para la base de datos de las metas. Transfiera los datos de la fuente(s) al banco de datos de confiabilidad usando cualquier método conveniente. Los métodos de la colección de datos son absolutamente decisivos para los beneficios de costo de recoger datos y por lo tanto debe ser planeado cuidadosamente y probado antes de que se comience el proceso principal de la toma de datos.

#### Reglas de Oro

- ✓ Capture el 100 % de los eventos ocurridos en mantenimiento
- ✓ Tome la información lo más cerca posible de la fuente
- ✓ No cree procesos paralelos. Haga que la información sea parte del proceso.
- ✓ Evite que varias personas re-escriban la misma información (Desperdicio)
- ✓ Verifique la información escrita VS la vida real
- ✓ Verifique la calidad de la información

- ✓ Desarrolle un proceso que le permita mantener la información al día (On Line)
- ✓ Estructure los equipos y use códigos para hacer análisis estadísticos y producir los indicadores claves de desempeño

#### 4.6 CODIGOS DE FALLA

Los siguientes son los códigos de falla incluidos en la norma ISO 14224 en su segunda edición del 15 de diciembre del 2006. Estos códigos son solo recomendaciones, ya que están adaptados a la industria petrolera por lo que para otras industrias probablemente puede haber variaciones. Sin embargo es muy recomendable seguir los criterios con los que fueron hechos ya que han mostrado excelentes resultados en donde se han aplicado.

CODIGOS DE MODOS DE FALLA			
<p><b>Definición:</b> Modo de falla, es la <b>falla observada</b> y la razón por la cual se abre la Orden de trabajo</p> <p>Los códigos marcados en negrilla aplican para todos los equipos. Los otros solo aplican para algunas clases de equipos según matriz mostrada en la siguiente hoja. Estos códigos están basados en el estándar ISO 14224 y son los usados en la industria del petróleo a nivel mundial.</p> <p>Solo se debe usar en la Orden de trabajo, cuando la razón de apertura sea relativa a una <b>falla</b> de un equipo. Otros trabajos, como inspecciones, toma de datos, modificaciones, mantenimientos preventivos rutinarios, etc., no deben llevar modo de falla ya que en estos casos no hay falla</p> <p>El propósito de este código es identificar las fallas que nos suceden, con el fin de eliminarlas o minimizarlas hasta donde sea posible.</p>			
CODIGO	DEFINICION EN INGLES	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>AIR</b>	Abnormal instrument reading	Lectura anormal de parámetro	Falsa alarma, lectura falsa o errónea, discrepancia de lecturas, etc..
<b>BRD</b>	Breakdown	Parada por rotura de algo	Daño serio. (Rotura, cizalladura, explosión, etc..)

<b>CODIGO</b>	<b>DEFINICION EN INGLES</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>DOP</b>	Delay operation	Demora en operar	Apertura / cierre por debajo del tiempo especificado
<b>ELF</b>	External leakage-fuel	Fuga externa de combustible	Fuga externa de ACPM o Gas
<b>ELP</b>	External leakage process medium	Fuga externa del medio de proceso	Escape del medio de proceso al medio ambiente
<b>ELU</b>	External leakage utility medium	Fuga externa de servicio	Aceite, refrigerante, etc..
<b>ERO</b>	Erratic Output	Salida errada	Oscilaciones o hunting, lectura no legible
<b>FOF</b>	Faulty output frequency	Defecto en la salida de frecuencia	
<b>FOV</b>	Faulty output voltage	Defecto en la salida de voltaje	
<b>FTC</b>	Fail to close on demand	Falla para cerrar	No cierra o cierra parcialmente
<b>FTF</b>	Fail to function on demand	Falla cuando se necesita	
<b>FTO</b>	Fail to open on demand	Falla para abrir	No abre o abre parcialmente
<b>FTR</b>	Fail to regulate	No regula	(para válvulas de control)
<b>FTS</b>	Fail to start on demand	No arranca	La máquina no puede arrancar
<b>HIO</b>	High. output	Alta salida	Sobre-velocidad / Sobrepassa especificaciones
<b>HIU</b>	High output, unknown reading	Salida alta, lectura desconocida	
<b>IHT</b>	Insufficient heat transfer	Insuficiente transferencia de calor	Enfriamiento o calentamiento
<b>INL</b>	Internal leakage	Fuga interna	Fuga interna de agua. No incluye pase de una válvula
<b>LCP</b>	Leakage in closed position	Fuga en posición cerrada	Fuga de una válvula en posición cerrada
<b>LOO</b>	Low output	Baja salida	Salida por debajo de las especificaciones deseadas
<b>LOW</b>	Low output, unknown reading	Salida baja, lectura desconocida	
<b>NOI</b>	Noise	Ruido	Ruido excesivo o extraño

<b>CODIGO</b>	<b>DEFINICION EN INGLES</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>NOO</b>	No output	No da salida	lecturas menores de 10%lel
<b>OHE</b>	Overheating	Sobre-calentamiento	Engine component, exhaust
<b>OTH</b>	other	Otros	Especificar en comentarios
<b>OWD</b>	Operates without demand	Opera cuando no se necesita	Alarma o señal falsa.
<b>PDE</b>	Parameter deviation	Desviación de parámetro	Parámetro monitoreado excedido en tolerancias. Alto, bajo, mucho, poco, etc.
<b>PLU</b>	Plugged / Choked	Taponado o tapado	Restricción total o parcial debida a hidratos, mugre, etc..
<b>SER</b>	Minor in-service problems	Problemas menores	El equipo presenta algún daño, pero continúa efectuando su función.
<b>SHH</b>	Spurious high level alarm signal	Salida por señal de alto	60%lel
<b>SLL</b>	Spurious low level alarm signal	Salida por señal de bajo	20%lel
<b>SPS</b>	Spurious stop	Se apagó intempestivamente	Parada intempestiva d la máquina
<b>STD</b>	Structural deficiency	Deficiencia estructural	Rotura de culatas, soportes, carcaza, etc..
<b>STP</b>	Fail to stop	No para	La máquina no se puede detener, o el proceso de parada no es el correcto
<b>SYN</b>	Fail to synchronise	Falla al sincronizar	No se puede sincronizar el generador
<b>UNK</b>	Unknown	Desconocido Inadecuado	Se desconoce mas información
<b>VIB</b>	Vibration	Vibración	Vibración excesiva
<b>VLO</b>	Very low output	Salida muy baja	11-30lel
<b>NIVE</b>		Completar nivel	Normalmente usado para completar nivel de las turbinas. No es ISO.

**Tabla 2 Códigos de falla**

La norma ISO 14224 recomienda 39 modos de falla para todas las clases de equipos existentes en una instalación petrolera. Si bien pueden faltar algunos y sobrar otros para otras industrias, es una buena base para establecer los modos de falla.

CLASE DE EQUIPO	Salida por señal de alto	Falla por cerrar	Falla para abrir	No regula	Salida por señal de bajo	Falla cuando se necesita	No arranca	No para	Se apaga intempestivamente	Parada por rotura de algo	Falla al sincronizar	Alta salida	Salida alta, lectura desconocida	Insuficiente transferencia de calor	Baja salida	Salida baja, lectura desconocida	Salida muy baja	No salida	Salida errada
	SHH	FTC	FTO	FTR	SLL	FTT	FTS	STP	SPS	BRD	SYN	NIO	HIU	IHT	LOO	LOW	VLO	NOO	ERO
Motor de combustión interna							X	X	X	X		X			X				X
Compresores							X	X	X	X		X			X				X
Unidades lógicas de control						X						X			X				X
Generadores eléctricos							X	X	X	X	X				X				
Motores eléctricos							X	X	X	X		X			X				X
Detectores de fuego						X						X			X				X
Detectores de gas	X				X							X	X		X	X	X	X	X
Turbinas de gas							X	X	X	X		X			X				X
Intercambiadores de calor														X					
Sensores de proceso						X						X			X				X
Bombas							X	X	X	X		X			X				X
Válvulas		X	X	X								X			X				
Vasijas y tanques																			

CLASE DE EQUIPO	Fuga externa de combustible	Fuga externa del medio de proceso	Fuga externa de servicio	Defecto en la salida de frecuencia	Defecto en la salida de voltaje	Opera cuando no se necesita	Demora en operar	Fuga interna	Fuga en posición cerrada	Taponado o tapado	Vibraciones	Ruido	Sobrecalentamiento	Desviación de parámetro	Lectura anormal de parámetro	Deficiencia estructural	Problemas menores	Otros	Desconocido
	ELF	ELP	ELU	FOF	FOV	OWD	DOP	INL	LCP	PLU	VIB	NOI	OHE	PDE	AIR	STD	SER	OTH	UNK
Motor de combustión interna	X		X					X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Compresores		X	X					X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Unidades lógicas de control						X											X	X	X
Generadores eléctricos			X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X
Motores eléctricos			X								X	X	X	X	X	X	X	X	X
Detectores de fuego						X											X	X	X
Detectores de gas																	X		
Turbinas de gas	X		X					X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Intercambiadores de calor		X	X					X		X				X	X	X	X	X	X
Sensores de proceso						X											X	X	X
Bombas		X	X					X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
Válvulas		X	X			X	X	X	X	X					X	X	X	X	X
Vasijas y tanques		X	X							X				X	X	X	X	X	X

**Tabla 3 Modos de falla**

Estos códigos están basados en el estándar ISO 14224 y son los usados en la industria del petróleo a nivel mundial. Solo se debe usar en la orden de trabajo, cuando la razón de apertura sea relativa a una falla de un equipo. Otros trabajos, como inspecciones, toma de datos, modificaciones, mantenimientos preventivos rutinarios, etc., no deben llevar modo de falla, ya que en estos casos no hay falla.

El propósito de este código es identificar los modos de falla que suceden, con el fin de hacer análisis estadísticos posteriores. Los modos de falla están asociados a las clases de equipos. Lo ideal es tener un CMMS que permita este asocio, una vez identificada la clase de equipo, con el TAG nos despliegue solo los modos de falla posibles para esta clase. Esta matriz muestra algunas clases de equipos con sus modos de falla posible. Para su Empresa es necesario definir claramente estos códigos.

**4.6.1 Causas Inmediatas.** Las causas inmediatas se dividen en seis áreas mayores: mecánicas, material, instrumentos, eléctricas, influencia externa y misceláneos. Cada área tiene sus causas, según se muestra a continuación.

#### 4.6.1.1 Área Mecánica.

- ✓ Fuga
- ✓ Vibración
- ✓ Desalineamiento
- ✓ Deformación
- ✓ Suelto
- ✓ Pegado

#### 4.6.1.2 Área eléctrica.

- ✓ Corto circuito
- ✓ Circuito abierto
- ✓ Sin /bajo energía / voltaje
- ✓ Falla de energía / voltaje
- ✓ Falla tierra / aislamiento

#### 4.6.1.3 Área Materiales.

- ✓ Cavitación
- ✓ Corrosión
- ✓ Erosión
- ✓ Desgaste
- ✓ Fractura
- ✓ Fatiga
- ✓ Sobre calentamiento
- ✓ Quemado

#### 4.6.1.4 Área Instrumentos.

- ✓ Control
- ✓ No Señal / no alarma
- ✓ Señal / alarma incorrecta
- ✓ Desajustado
- ✓ Software
- ✓ Falla común (falla redundante)

#### 4.6.1.5 Área Influencia externa

.

- ✓ Bloqueado / Taponado
- ✓ Contaminación

#### 4.6.1.6 Área Misceláneos.

- ✓ Misceláneo
- ✓ Desconocido

**4.6.2 CAUSAS BASICAS.** La norma también identifica las causas básicas divididas en cinco áreas: diseño, fabricación / instalación, operación / mantenimiento, administración, misceláneo. Cada una tiene sus códigos, como se muestra en la tabla.

#### 4.6.2.1 Área Diseño

- ✓ Capacidad inadecuada
- ✓ Material inadecuado
- ✓ Diseño inadecuado

#### 4.6.2.2 Área Fabricación / Instalación

- ✓ Error de Fabricación
- ✓ Error de Instalación

#### 4.6.2.3 Operación / Mantenimiento

- ✓ Error de Operación
- ✓ Error de Mantenimiento
- ✓ Servicio fuera de diseño
- ✓ Desgaste o rotura esperada

#### 4.6.2.4 Administración

- ✓ Error de documentación
- ✓ Error Administrativo

#### 4.6.2.5 Misceláneo

- ✓ Misceláneo
- ✓ Desconocido

**4.6.3 Causas raíz.** Y la causa raíz de toda falla es la falta de control, la cual podemos dividir en:

- ✓ *Organización inadecuada*, es decir no existen las funciones necesarias para mantener el control administrativo, o si existe no se ejecuta en forma adecuada.
- ✓ *Procedimientos*, estándares o normas *inadecuadas* o inexistentes.
- ✓ *Cumplimiento inadecuado* de las normas, estándares o procedimientos.

En una falla siempre hay los siguientes elementos presentes.

**El Modo de falla**, que equivale al síntoma y es detectado y reportado por la persona que hace la solicitud de servicio

**La parte que falló**, que es el ítem mantenible que presenta la falla. Es identificado para cada clase de equipos y todos los códigos de falla se van a referir a este ítem mantenible.

**Causa Inmediata:** Como ya vimos, es identificada por el técnico que ejecuta o diagnostica el problema y se refiere a lo que le ocurrió a la parte que falló.

Ejemplo:

Modo de falla: No arranca

Parte que falló: Batería

Causa inmediata: Sin carga

Los siguientes son los datos mínimos que se deben incluir en la orden de trabajo:

**En la solicitud:**

- El TAG o código de localización del equipo o componente que falló o que presenta el defecto.
- El modo de falla o síntoma observado por quien hace la orden o solicitud de servicio.
- El método de detección, es decir como se dio cuenta de que existía la falla o defecto.

**Al cierre:**

- Causa inmediata de la falla relacionada a la parte que falló o presenta el defecto, como eje roto, o eje desalineado, etc...



### ***Parte que falló***

La parte que falló es el ítem mantenible, que se refiere, como su nombre lo indica a la parte o repuesto menor al cual se le hace mantenimiento. Una batería puede ser un ítem mantenible en algunos casos, baterías pequeñas o un componente si se refiere a una batería de un montacargas eléctrico.

### ***Actividad realizada:***

Es importante conocer como se resolvió el problema, para anticipar la siguiente falla. Las actividades realizadas incluidas en la norma son:

- ✓ Reemplazar
- ✓ Reparar
- ✓ Modificar
- ✓ Ajustar
- ✓ Pulir
- ✓ Resetear
- ✓ Servicio
- ✓ Prueba
- ✓ Inspección
- ✓ Overhaul
- ✓ Combinación
- ✓ Otros

Los datos consignados en la orden de trabajo cerrada nos permiten, utilizando herramientas estadísticas, como graficas de Pareto, gráficas de tendencias, identificar las fallas recurrentes, malos actores, con sus causas básicas e inmediatas. Podemos calcular indicadores, como el MTTR (tiempo medio de reparación) y el MTBF (tiempo medio entre fallas), claves en nuestro proceso de mejora de la confiabilidad de nuestros equipos.



## 5. CONCLUSIONES

La estrategia de mantenimiento obtenida esta orientada a la eliminación o anticipación económica de todas las fallas no deseadas.

La implementación de una adecuada estrategia de mantenimiento requiere de un sistema de información que permita una retroalimentación permanente del desempeño de los equipos.

Todas las fallas obedecen a un modelo de causalidad, el cual fue aterrizado a nuestros equipos críticos y no críticos.

Para el pronóstico y eliminación de fallas se levanto de una base de datos adecuada que permitió obtener información estadística, histórica y comparativa.

Con base en el ciclo PHVA se hizo un análisis adecuado de la información obtenida.

Con el uso de la norma ISO14224 se optimizo el sistema de información de la organización, enfocando el mantenimiento a la reducción de costos, la mejora de la confiabilidad y la productividad.

## BIBLIOGRAFIA

GARCIA PALENCIA, Oliverio. Administración del mantenimiento industrial. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1992.

GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Seminario I. La investigación Científica. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander 1998 95p.

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para industriales y servicios. Medellín. AMG. 2005

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Segunda Edición North Carolina. Aladon LLC 2004 433 p

NORMA ISO 14224. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. 2004

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 1486. Documentación. Presentación tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación Julio 2008.

PAURO, Ricardo. Mantenimiento centrado en confiabilidad ¿Qué pensamos? Disponible en Internet. [www.capacitacionempresarial.la](http://www.capacitacionempresarial.la)

## ANEXOS

### ANEXO 1. DICCIONARIO TECNICO DE MANTENIMIENTO

**Análisis de causa raíz.** Método riguroso de solución de problemas de cualquier tipo de falla, que utiliza la lógica y un árbol de causas, el cual consiste en una representación de visual de un evento de falla, en el cual el razonamiento por deducción y la verificación de los hechos conducen a las causas originales. Esta técnica permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir síntomas.

**Análisis de efecto de modo de falla.** Método sistemático para identificar fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminar o minimizar los riesgos asociados con ellas. El FMEA documenta las acciones preventivas y la reducción del proceso.

**Análisis de causa de efecto de modo de falla.** Técnica para revisar diseños centrada en el desarrollo de productos y procesos en acciones priorizadas. EL propósito de las acciones priorizadas es reducir el riesgo de que el producto falle.

**Análisis de criticidad.** Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe definir el alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

**Backlog.** Ordenes de trabajos atrasados.

**Causas de fallas.** Pueden ser esencialmente de origen físico (Diseño, fabricación, mecánicas, de materiales, eléctricas, instrumentos, influencia externa) o de acción humana (Actos o acciones no adecuadas). Cada una de estas tiene un análisis de causas secuenciales denominadas inmediatas, básicas y de raíz.

#### **Causas de falla inmediatas.**

- **Mecánicas.** Fuga, vibración, desalineación, deformación, suelto, pegado.
- **Material.** Cavitación, corrosión, erosión, desgaste, fractura, fatiga, sobrecalentamiento, quemado.
- **Instrumentación.** Control, no señal, señal incorrecta, desajustado, software, falla común (falla redundante)
- **Eléctricas.** Corto circuito, circuito abierto, sin voltaje, falla de energía, falla a tierra.
- **Influencia externa.** Bloqueado, taponado, contaminación.

#### **Causas de falla básicas.**

- **Diseño.** Capacidad inadecuada, material desconocido.
- **Fabricación/Instalación.** Error de fabricación, error de instalación
- **Operación & Mantenimiento.** Error de operación, error de mantenimiento, servicio fuera de diseño, desgaste o rotura esperada.
- **Administración.** Error de documentación, error administrativo.

**Clasificación de equipos.** En plantas de proceso, facilidades u otros sitios donde trabajen equipos, es necesario identificarlos de acuerdo a:

- **Críticos.** Equipos cuyo paro afecta directamente la producción o la seguridad de las personas, equipos o medio ambiente.
- **Esenciales.** Equipos esenciales para la producción pero que tienen al menos un equipo de respaldo.
- **De propósito general.** Equipos cuyo paro no afecta la producción, seguridad o medio ambiente..

**Confiabilidad.** Es la probabilidad de que un equipo cumpla con una misión específica (No falle) bajo condiciones de operación determinadas en un periodo de tiempo específico. Probabilidad de sobrevivencia en un periodo determinado

**Daño.** Descomposición de un elemento o componente que lo inhabilita para desempeñar una función.

**Disponibilidad.** Indicador que mide el tiempo durante el cual se encuentra operando o listo para operar un sistema, equipo o elemento. Se puede calcular como la sumatoria de las horas totales de operación en un periodo dado mas las horas de stand by en el mismo periodo y esto dividido entre las horas del periodo escogido.

**Emergencia.** Evento no deseado que resulta en daño físico a las personas, la propiedad y/o pérdida en los procesos.

**Estrategia de mantenimiento.** Es el medio para obtener compromiso de los trabajadores de todos los niveles de la organización a los métodos y objetivos que contiene, suministrando el marco para la toma de decisiones y asegurando consistencia hacia los logros del negocio,

**Falla.** Condición que puede interrumpir la continuidad o la secuencia ordenada de un proceso o de un sistema dinámico, alterando su desenvolvimiento. Es un resultado de una serie de eventos y cada evento tiene una o más causa raíz.

Por su frecuencia se clasifican en:

- **Falla crónica.** Falla de tipo repetitivo permitida por la operación.
- **Falla esporádica.** Falla eventual de consecuencias graves. Tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, lesiones importantes o fallas graves poco frecuente en los equipos.

Por su severidad o consecuencia de la falla se clasifican en :

- **Critica.** Hay parada de la unidad afectando la seguridad, medio ambiente o la producción.
- **Degradada.** El equipo sigue funcionando pero con limitaciones.
- **Incipiente.** No afecta la función del equipo.
- **Desconocida.** No se puede establecer las consecuencias.

Según la prioridad se clasifican en:

- **Alta.** Atención dentro de las siguientes 24 horas
- **Media.** Atención dentro de la siguiente semana
- **Baja.** Atención según el orden de programación.

**Falla funcional.** Se presenta cuando los equipos, máquinas, sistemas, elementos, etc., no cumple su función, o la cumple parcialmente. Los parámetros de funcionamiento utilizados para evaluar las fallas funcionales, deben ser establecidos por el personal de operación y mantenimiento,

trabajando en conjunto con cualquier otro que tenga algo legítimo que decir sobre como se comporta el equipo.

**Mantenimiento.** Conjunto de actividades encaminadas hacia la preservación de la función de los equipos, a partir de la aplicación de estrategias efectivas de mantenimiento, que permiten minimizar los riesgos que generan los distintos modos de falla dentro del contexto operacional y ayuden a incrementar la rentabilidad del negocio.

- **Mantenimiento predictivo.** Conocido también como basado en condición. Usado para predecir o anticiparse al daño (Inspecciones, monitoreo de condiciones, control al desgaste). Se basa fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción. Se evalúa la condición mecánica de la máquina y su evolución, mientras ella esta funcionando, a través de diversos síntomas que ella emite al exterior. En base a esto se programan las necesidades de mantenimiento cuando se detecta un problema en ella. Puede llevarse a cabo en forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc. Para ello se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, vibraciones, termografías, etc. Reduce los tiempos de parada; permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo; optimiza la gestión del personal de mantenimiento; toma de decisiones sobre la parada de una máquina en momentos críticos; facilita el análisis de fallas; permite el análisis estadístico del sistema; datos para crear el archivo histórico del desempeño de equipos; conocer con exactitud el tiempo limite de intervención que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, etc.

- **Mantenimiento preventivo.** Mantenimiento que se hace de forma rutinaria o cíclica aun cuando una maquina este operando satisfactoriamente. Su característica principal es detectar fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen programa de este tipo de mantenimiento, se obtienen experiencias en la determinación de causas de fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como de definir puntos débiles de las instalaciones, maquinas, etc. Con este mantenimiento se logran ventajas como reducción de tiempos de parada; permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo; optimiza la gestión del personal de mantenimiento; toma de decisiones sobre la para de una máquina en momentos críticos; facilita el análisis de fallas; permite el análisis estadístico del sistema; permite conocer el historial de intervenciones para ser utilizado en el mantenimiento correctivo; conocer el limite de intervención que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, etc.
- **Mantenimiento correctivo.** También conocido como mantenimiento reactivo. Permite a la maquina funcionar hasta la falla. Puede ser planificado y no planificado.

Planificado consiste en la reparación de un equipo o máquina, cuando se dispone del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para efectuarlo.

No planificado consiste en la corrección de fallas cuando estas se presentan y no de manera planificada, al contrario del mantenimiento preventivo.

**Indicador de gestión.** Indica que tan bien se esta haciendo una labor o conjunto de labores, comparando con un punto de referencia.

**Modo de falla.** Evento que causa la falla. Por cada modo de falla debe haber una estrategia de solución. Deben ser registrados con suficiente detalle, para que sea posible hallar una política de manejo adecuada, sin embargo existen unos definidos por ISO 14224, de los cuales se citan algunos ejemplos: No para, no arranca, fuga externa de combustible, fuga interna, etc.

**Tiempo medio entre fallas MTBF.** Indicador que mide el promedio de tiempo en que se presentan fallas en un sistema, equipo o elemento. Se calcula definiendo las fallas que ocurrieron en un periodo determinado.

**Tiempo medio de reparación MTRF.** Indicador que representa las horas promedio del equipo fuera de servicio por encontrarse en trabajos de reparación.

**Vibración.** Cambio de posición en el tiempo de una máquina hacia un lado y otro con respecto a su posición en reposo. Es una forma de energía que se desperdicia.