

**PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE
LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FALLAS
ENFOCADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS
CAMPOS DE PRODUCCIÓN DE LA
SUPERINTENDENCIA DE MARES DE ECOPETROL
S.A.**

DAISON DARLWING CASTRO SALAZAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE
LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FALLAS
ENFOCADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS
CAMPOS DE PRODUCCIÓN DE LA
SUPERINTENDENCIA DE MARES DE ECOPETROL
S.A.**

DAISON DARLWING CASTRO SALAZAR

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres, con todo mi amor,

A mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A **Isnardo González Jaimes**, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración siempre oportuna.

A **Miguel Humberto Barros Suárez**, Coordinador del mantenimiento de periféricos del campo de producción de la SMA - ECOPETROL S.A., por su amistad, apoyo y compromiso en la implementación de esta metodología en la SMA.

Al ingeniero mecánico **Carlos Augusto Arenas**, por compartir información fruto de sus experiencias y aplicaciones profesionales.

Al grupo de **ingenieros de mantenimiento y confiabilidad (IMC)** del Departamento de Mantenimiento de la SMA - ECOPETROL S.A., por su participación en la conformación de esta metodología, divulgándola y poniéndola en marcha.

A la Ingeniera **Arelys Rodríguez Acosta** por su apoyo en todas las etapas del desarrollo de este proyecto.

A mis padres y familiares por su constante apoyo.

A todos mis amigos.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ECOPETROL S.A.- SUPERINTENDENCIA DE MARES (SMA)	3
1.1 RESEÑA HISTORICA	3
1.1.1 Origen del Petróleo	3
1.1.2 Historia de Superintendencia de Mares - ECOPETROL	4
1.1.3 La transformación a ECOPETROL S.A.	8
1.2 ÁREAS QUE CONFORMAN LA GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO (GRM)	10
1.3 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA SUPERINTENDENCIA DE PRODUCCIÓN DE MARES (SMA)	12
1.4 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA SMA	13
1.4.1 Labores del Departamento de Mantenimiento de la SMA	14
1.4.2 Misión del Departamento de Mantenimiento de la SMA	15
1.4.3 Visión del Departamento de Mantenimiento de la SMA	15
1.4.4 Objetivos Generales del Departamento de Mantenimiento de la SMA	16
1.4.5 Objetivos específicos del Departamento de Mantenimiento de la SMA	16
1.4.6 Áreas que conforman el Departamento de Mantenimiento de la SMA	16

2. MANTENIMIENTO CLASE MUNDO (MCM)	23
2.1 PRACTICAS DEL MANTENIMIENTO CLASE MUNDIAL	23
2.1.1 Organización Centrada en Equipos	24
2.1.2 Contratistas Orientados a la Productividad	25
2.1.3 Integración con Proveedores de Materiales y Servicios	26
2.1.4 Apoyo y Visión de la Gerencia	26
2.1.5 Planeación y Programación Preactiva	26
2.1.6 Procesos Orientados al Mejoramiento Continuo	27
2.1.7 Gestión Disciplinada de Obtención de Materiales	27
2.1.8 Integración de Sistemas	27
2.1.9 Gerencia Disciplinada de Paradas de Plantas	27
2.1.10 Producción Basada en Confiabilidad	27
2.2 MANTENIMIENTO CLASE MUNDO META PARA EL 2006 EN LA SMA	28
2.2.1 Pirámide de Sostenimiento del MCM	28
2.2.2 Matriz de la Excelencia	30
3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS DE MANTENIMIENTO DE LA SMA	39
3.1 CONCEPTOS BASICOS	39
3.2 ANTECEDENTES PARA REALIZAR CRITICIDAD	43
3.3 EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	44
3.3.1 Análisis de Criticidad en el Área de Mantenimiento	46
3.3.2 Análisis de Criticidad para Inspecciones	46
3.3.3 Análisis de Criticidad en Materiales	46
3.3.4 Análisis de Criticidad para Disponibilidad de Planta	46
3.3.5 Análisis de Criticidad a Nivel Personal	47

3.4	MATRIZ DE DEFINICIÓN DE EQUIPOS CRITICOS	47
3.5	METODOLOGIA USADA PARA ESTABLECER LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA SMA	48
3.5.1	Recolección de Información para establecer la Criticidad de Equipos	49
3.5.2	Resultados Obtenidos	49
3.5.3	Estudio de Criticidad a los Equipos Tipo Pozo	51
4.	PROCESO DE OBTENCION DE LOS DIAGRAMAS DE PARETOS MEDIANTE CMMS MIMS ELLIPSE PARA LOS EQUIPOS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA SMA	53
4.1	HISTORIA	53
4.2	PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR UN DIAGRAMA DE PARETO	54
4.3	CARACTERÍSTICAS DEL DIAGRAMA DE PARETO	56
4.3.1	Ventajas del Diagrama de Pareto	56
4.3.2	Utilidades del Diagrama de Pareto	56
4.4	METODOLOGIA PARA REALIZAR PARETOS A PARTIR DEL CMMS ELLIPSE	56
5.	ESTRATEGIA PARA LA IMPLANTACION DE LA METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE FALLA DE CAUSA RAIZ EN EL CAMPO DE LA SMA	69
5.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN RCA EN EL CAMPO DE LA SMA.	69
5.1.1	Matriz de Severidad	70
5.1.2	Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)	71

5.2	PROCEDIMIENTOS PARA EL RCA EN LA SMA	84
5.2.1	Procedimiento Selección de Técnica de Análisis de Causa	88
5.2.2	Procedimiento Definición Términos de Referencia (TOR) y Equipo RCA	88
5.2.3	Procedimiento Ejecución Análisis de Causa Raíz	89
5.2.4	Procedimiento Preparación Reporte Escrito RCA	89
5.2.5	Procedimiento Validación Reporte Escrito RCA	90
5.2.6	Procedimiento Presentación Reporte Escrito RCA a la Gerencia	90
5.2.7	Procedimiento Asignación de Acciones RCA	90
5.2.8	Procedimiento Implementación de Acciones RCA	90
5.2.9	Procedimiento Seguimiento Implementación de Acciones RCA	91
5.2.10	Procedimiento Ejecución y Revisión del Reporte de Falla	91
5.3	PROPUESTA DEL FAILURE TRACKING SYSTEM (FTS) PARA LA SMA	92
5.4	FLUJO DEL RCA EN LA SMA	96
5.5	FORMATOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL RCA EN LA SMA	100
5.5.1	Formato de Captura de Parada de Equipos Críticos	100
5.5.2	Formato de Seguimiento de Acciones del RCA en la SMA	102
5.5.3	Formato de reporte de falla de la SMA	105
5.6	MATRICES PARA LA IMPLANTACIÓN DEL RCA EN LA SMA	108
5.6.1	Matriz de severidad	108
5.6.2	Matriz de causas raíces latentes	111
5.6.3	Matriz de priorización de recomendaciones	117

6. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

7. BIBLIOGRAFIA

8. ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Organigrama General de ECOPETROL S.A.	6
Figura 2. Organigrama de la Vicepresidencia de Producción de ECOPETROL S.A.	7
Figura 3. Áreas de la Gerencia Regional Magdalena Medio	11
Figura 4. Ubicación Geográfica de la Superintendencia de Operaciones De Mares	13
Figura 5. Organigrama del Departamento de Mantenimiento De Mares	17
Figura 6. Escalera de la Confiabilidad	24
Figura 7. Las 10 Mejores Practicas del Mantenimiento Clase Mundial	25
Figura 8. Pirámide de Sostenimiento del Mantenimiento Clase mundo	29
Figura 9. Roles y Responsabilidades en Función del Mantenimiento	29
Figura 10. Categorías o Prioridades del Mantenimiento	30
Figura 11. Aspectos de la confiabilidad operacional	40
Figura 12. Agrupación típica de instalaciones. Árbol de Equipos	41
Figura 13. Árbol de Equipos para el oleoducto de Casabe a Barrancabermeja.	42
Figura 14. Modelo básico de criticidad	45
Figura 15. Equipos Críticos según CMMS ELLIPSE	52
Figura 16. Producción Total por Campos vs. Producción Crítica por Campos	52
Figura 17. Análisis Pareto y clasificación de fallas	55
Figura 18. Diagrama de Pareto	55
Figura 19. Diagrama de flujo obtención de paretos	57

Figura 20. Entorno hacia Terminal Server	58
Figura 21. Entrada al Terminal 40	58
Figura 22. Acceso a Windows Server	59
Figura 23. Microsoft Access en Windows Server	59
Figura 24. Obteniendo datos externos en Terminal 40	60
Figura 25. Importando las tablas en Terminal 40	60
Figura 26. Seleccionando las tablas en Terminal 40	61
Figura 27. Encale entre MIMSP_3013L_MS600 y MIMSP_3013L_MS626 en Terminal 40	61
Figura 28. Campos de consulta en Microsoft Access	62
Figura 29. Ubicación del botón ejecutar en Microsoft Access	64
Figura 30. Porcentaje de eventos por años	65
Figura 31. Pozos con mayor frecuencia de falla y producción total alta	66
Figura 32. Eventos X Años del pozo Gala2	66
Figura 33. Componentes vs producción pedida por falla del año 2000-2004 en el pozo Gala 2	67
Figura 34. Modo de falla vs producción pedida por falla del año 2000-2004 en el pozo Gala 2	68
Figura 35. Anverso de la matriz de definición de tipo de análisis de causa raíz	70
Figura 36. Reverso de la matriz de definición de tipo de análisis de causa raíz	71
Figura 37. Unidad de Bombeo Mecánico	75
Figura 38. Planta de compresión de gas	76
Figura 39. Formato estándar para la creación de procedimientos en la SMA	84
Figura 40. Encabezado y pie de pagina para los procedimientos en la	85

SMA

Figura 41. Ejemplo para el formato de procedimiento totalmente diligenciado	86
Figura 42. Flujo de los datos en el FTS	92
Figura 43. Entrando al FTS	93
Figura 44. Reportes posibles en el FTS	94
Figura 45. Administración de datos en el FTS	94
Figura 46. Creación y/o modificación del RCA en el FTS	96
Figura 47. Flujo de implantación de la técnica RCA para el Departamento de Mantenimiento de la SMA	97
Figura 48. Diagrama de Flujo de caracterización del proceso RCA para la SMA	98
Figura 49. Diagrama de flujo del programa tipo	110
Figura 50. Matriz de priorización de recomendación del RCA en la SMA	117

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de la Excelencia de Mantenimiento	31
Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento	33
Tabla 3. Evaluación del Rating de Criticidad	49
Tabla 4. Criticidad del campo El Centro	49
Tabla 5. Descripción de la consulta en Microsoft Access	62
Tabla 6. Campos a consultar en Microsoft Access	62
Tabla 7. Descripción de los componentes de las Unidades de Bombeo	67
Tabla 8. Modos de falla de los equipos críticos de la SMA	73
Tabla 9. Causa de falla de los equipos críticos de la SMA	74
Tabla 10. FMEA para el sistema eléctrico de las Unidades de Bombeo Mecánico de la SMA	77
Tabla 11. FMEA para el sistema de transmisión de potencia de las Unidades de Bombeo Mecánico de la SMA	78
Tabla 12. FMEA para el sistema de refrigeración de los compresores de la SMA	80
Tabla 13. FMEA para el sistema de compresión de los compresores de la SMA	81
Tabla 14. FMEA para el sistema motriz de los compresores de la SMA	82
Tabla 15. FMEA para el sistema auxiliares de los compresores de la SMA	83
Tabla 16. Caracterización del Proceso RCA	99

Tabla 17. Formato de captura de información de paradas de equipos críticos de la SMA	101
Tabla 18. Formato de listado de seguimiento de acciones (LSA)	104
Tabla 19. Matriz de causas latentes Parte A	112
Tabla 20. Matriz de causas latentes Parte B	114

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Procedimiento de Selección de Técnica de Análisis de Causa Raíz.	
Anexo B. Procedimiento de Definición de Términos de Referencia (TOR) y Equipo RCA.	
Anexo C. Procedimiento de Ejecución de Análisis de Causa Raíz.	
Anexo D. Procedimiento de Preparación del Reporte Escrito RCA.	
Anexo E. Procedimiento de Validación del Reporte Escrito RCA.	
Anexo F. Procedimiento de Presentación del Reporte Escrito RCA a la Gerencia.	
Anexo G. Procedimiento de Asignación de Acciones RCA.	
Anexo H. Procedimiento de Implementación de Acciones RCA.	
Anexo I. Procedimiento de Seguimiento Implementación de Acciones RCA.	
Anexo J. Procedimiento de Ejecución y Revisión del Reporte de Falla.	
Anexo K. Matrices	
Anexo L. FMEA's	
Anexo M. Formatos	
Anexo N. Hojas tipo reporte en el FTS	
Anexo O. Informe de fallas 2000-2004	
Anexo P. Introducción de las Normas	
Anexo Q. Formato estándar de creación de procedimientos	

GLOSARIO

AMEF o FMEA: Análisis Modo y Efecto de Fallas.

Análisis de Falla: Procedimiento de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad encargado de detectar y corregir las causas raíz de falla de componentes de unidades productivas, antes de su periodo de envejecimiento natural, en un orden de prioridades gobernado por su impacto para el cumplimiento de los objetivos del negocio.

Análisis Pareto: técnica para clasificar las fallas crónicas o recurrentes de acuerdo a su impacto y/o costo relativo. El Análisis Pareto nos permite evaluar las fallas a las que es necesario o recomendable realizarles un RCA logrando un retorno más rápido del tiempo y dinero invertido.

Analista Principal (PA): Es la persona responsable de liderar y completar un análisis RCA. Véase también Líder Equipo RCA.

Árbol lógico: Representación gráfica de la lógica y los 6 pasos o niveles usados para derivar las causas raíz. Estos seis niveles son: Evento de Falla, Modo de Falla, Causas Potenciales, Causa Raíz Física, Causa Raíz Humana y Causa Latente del Sistema.

Caracterización de las fallas: Conjunto de características asignables a cada falla que la definen, identifican y diferencian de las demás. Se definieron 5 características principales asociadas a las fallas:

- Modo: Forma o manera genérica como se produce una falla

- Síntoma: Hecho o suceso operacional o mecánico que evidencia la ocurrencia de una falla
- Medio de Detección: Manera como se detecta la ocurrencia de una falla
- Efecto: Consecuencias acarreadas por la ocurrencia de una falla
- Severidad: Calificación cualitativa o cuantitativa del daño ocasionado por una falla.

Causa Raíz: Es la causa primaria que origina la ocurrencia de una falla.

Champion: Persona con autoridad que promueve el proceso de RCA dentro de la organización.

CMMS: Herramienta que permite asegurar la integridad de la gestión de mantenimiento. Sistema computarizado empleado para documentar la información de los equipos, historia, trabajos de mantenimiento, horas-hombre, materiales, compra y almacenamiento de materiales, etc.

Códigos de Productividad: Valores que permiten medir la utilización y distribución de los recursos de personal en las diferentes etapas de la planeación y ejecución de una tarea de mantenimiento (procedimientos, HSE, aislamientos, trabajo neto sobre un equipo, causas externas).

Compromiso: Es una corta explicación detallando cual es el objetivo del equipo para un análisis RCA específico. Simplemente definir que se quiere establecer como resultado de analizar cada problema en particular.

Confiabilidad: Capacidad de un componente de ejecutar una función requerida bajo condiciones definidas para un periodo de tiempo determinado. Probabilidad de que un componente no falle dentro de un periodo de tiempo determinado.

Consecuencia de falla: Efectos relacionados con la ocurrencia de una falla. Pueden ser operacionales, de seguridad, ambientales y económicas.

Criticidad: Es una medida de las consecuencias de un modo de falla particular de un equipo y su frecuencia de ocurrencia.

Disponibilidad: Probabilidad de que un sistema o equipo se encuentre operacional cuando se requiere que ejecute la función para la cual fue diseñado.

ELLIPSE: Software del CMMS que permite controlar las labores de mantenimiento.

Equipo RCA: Grupo de trabajo multidisciplinario encargado de la Ejecución de un análisis de Causa Raíz.

Factores críticos de éxito: son las reglas o directrices que el equipo usará para conducir el proyecto RCA. Es un marcador identificable que señalará si el análisis RCA ha sido exitoso.

Falla: Inhabilidad o incapacidad de un componente para desarrollar la función para la cual fue diseñado de manera confiable, económica y segura. Desde el punto de vista de mantenimiento cuando un equipo, sistema o componente se detiene o debe detenerse por una condición técnica no prevista.

Fallas crónicas: Una falla crónica es la falla típica repetitiva que puede afectar las operaciones en el corto plazo o las actividades de mantenimiento pero que, por lo general, no resulta dramática.

Falla esporádica: es, por lo regular, una falla repentina, dramática e inesperada que algunas veces lleva todo el proceso a detenerse y, con frecuencia, es altamente visible dentro de la Unidad de Negocios o de la compañía.

FTS - Failure Tracking System: Base de datos de seguimiento de acciones de Análisis de Causa Raíz.

GRM: Gerencia Regional Magdalena Medio

Grupo Implementador: Grupo de personas encargadas de llevar a cabo o liderar la implementación de alguna de las acciones recomendadas por el grupo investigador.

Grupo de Confiabilidad: Equipo de trabajo responsable del desarrollo e implementación de procesos estructurados tendientes a asegurar la integridad y mejorar la disponibilidad de los equipos y plantas de proceso.

Hipótesis: Una opinión fundamentada de cómo puede ocurrir un evento.

Matriz de Priorización de Trabajos: Herramienta utilizada para priorizar tareas de mantenimiento basados en la criticidad de los equipos y en las consecuencias del evento de falla o tarea de mantenimiento.

Los pocos significativos (Few Significant): Corresponden al 20% de los eventos de falla que equivalen al 80% de las pérdidas de producción. Los Few Significant pueden ser fallas esporádicas o crónicas.

Líder Equipo RCA: Es la persona responsable de liderar y completar un análisis RCA. Véase también Analista Principal.

OHSAS: Norma que por sus siglas en ingles traduce “Occupational Health & Safety Assessment Series”

Periodo de Programación: Intervalo de tiempo en los que se dividen las etapas de planeación, programación y ejecución de los trabajos de mantenimiento.

Planeador de Área: Responsable de la definición, planeación y programación de los trabajos y actividades de mantenimiento a corto plazo de cada una de las disciplinas.

Prioridad: Importancia relativa de un trabajo asignada de acuerdo a la criticidad del equipo y de las consecuencias de la falla o evento de mantenimiento a ejecutar.

Problema Critico: Una desviación de la operación regular.

Problemas Potenciales: Para el caso de este procedimiento se consideran problemas potenciales como aquellas posibles situaciones de falla que puedan ocurrir como consecuencia de la implantación de una o varias soluciones a cada caso específico de análisis de falla.

RCA: el RCA (Root Cause Analysis por sus siglas en inglés también es conocido como Root Cause Failure Analysis-RCFA) o Análisis de Causa Raíz es un riguroso método o técnica de análisis y solución de problemas mediante el análisis de eventos, bajando hasta sus causas raíz latentes, es decir, las deficiencias en los sistemas administrativos y normas culturales que permiten que un evento ocurra. Permite eliminar las causas en lugar de corregir los síntomas.

RCM: (Reliability Maintenance centered por sus siglas en ingles) Proceso de análisis utilizado para determinar los requerimientos operativos y de mantenimiento de cualquier equipo, para asegurar que continúe haciendo lo que los usuarios desean que haga dentro de su contexto operativo. Metodología utilizada para definir un programa de mantenimiento considerando la confiabilidad como una entrada para el proceso de toma de decisiones.

Recomendaciones de Análisis de Causa Raíz: Acciones para la corrección y prevención de fallas, derivadas de un RCA.

Reporte de Falla: Técnica de análisis y solución de problemas mediante el análisis de eventos de falla de mediano impacto o de fallas crónicas que no son consideradas como significativas “Few Significant”, luego de realizar un análisis Pareto.

SMA: Superintendencia de Operaciones de Mares.

Standard Job: Los Standard Job son planes de trabajo que contienen toda la información necesaria para la completa ejecución de una tarea: procedimiento, recursos de mano de obra, materiales y repuestos. Aplican a trabajos de mantenimiento correctivo que se ejecutan con significativa frecuencia. Son similares en estructura a las rutinas de mantenimiento preventivo (MST) configuradas en el CMMS. La diferencia esencial radica en que los Standard Job no tienen frecuencia de ejecución.

TOR: Términos de Referencia. Documento donde se definen los objetivos y el alcance de una investigación (p.e. un RCA).

Tiempo Entre Fallas: Intervalo de tiempo operando de un componente desde la puesta en servicio, una vez recuperada su condición, hasta la falla.

Tiempo Medio Entre Fallas: Media estadística de los tiempos entre fallas. Se calcula como el tiempo en servicio u operación de un elemento, dividido entre el número de fallas presentadas en el mismo periodo de tiempo.

Unidad de bombeo Mecánico: Maquina encargada en la extracción del crudo del yacimiento petrolero, mas conocida como machín.

Yacimiento: Es donde se encuentra el pozo productor de petróleo.

RESUMEN

TÍTULO:
PLAN ESTRATÉGICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FALLAS ENFOCADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS CAMPOS DE PRODUCCIÓN DE LA SUPERINTENDENCIA DE MARES DE ECOPETROL S.A. *

AUTOR:
Daison Darlwing Castro Salazar. **

PALABRAS CLAVES:
Mantenimiento, Análisis de Causa Raíz, Análisis de Fallas.

DESCRIPCIÓN:
El objetivo de este proyecto es proponer en los campos de producción de ECOPETROL S.A. la tecnología de mantenimiento mediante el establecimiento de equipos críticos y la estrategia metodológica para la implantación del análisis de fallas en sus equipos críticos, además promover los indicadores de gestión con el fin de ser más competitivos en el mercado y alcanzar niveles de mantenimiento clase mundo.

El desarrollo de la metodología para la implantación del análisis de causa raíz (ACR) en los campos de la Superintendencia de Mares (SMA) es un proceso estructurado basados principalmente en las Normas ISO 14224:2004 que establece “la colección y el intercambio de datos de confiabilidad y de mantenimiento para los equipos de las industrias del petróleo y gas natural”, y en la norma ISO 9001:2000(E) que establece “los requisitos de los sistemas de gestión de calidad”.

El resultado es el desarrollo de procedimientos, matrices, formatos y/o formularios y programas que permiten estructurar el proceso de análisis de fallas aplicados a los equipos críticos del campo de producción de Mares, permitiendo así obtener la puntuación y/o requisitos necesarios para los estándares mundiales dando a su vez un paso mas hacia la certificación.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Isnardo González.

SUMMARY

TITLE:

STRATEGIC PLAN FOR THE IMPLANTATION OF THE METHODOLOGY OF ANALYSIS OF FAULTS FOCUSED IN THE CRITICAL EQUIPMENT OF THE FIELDS OF PRODUCTION OF THE SUPERVISION OF SEAS OF ECOPETROL *

AUTHORS:

Daison Darlwing Castro Salazar. **

KEY WORDS:

World Class Maintenance, Analysis of Root Cause, Analysis of Failures.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to propose in the fields of production of ECOPETROL S.A. the technology of maintenance by means of the establishment of critical equipment and the methodologic strategy for the implantation of the analysis of faults in its critical equipment, in addition promoting the indicators to management with the purpose of being more competitive in the market and to reach maintenance levels class world.

The development of the methodology for the implantation of the root cause analysis (RCA) in the fields of the Superintendencia de Mares (SMA) is a structured process based mainly on the Norms ISO 14224:2004 that settles down "the collection and the interchange of data of reliability and maintenance for the equipment of the industries of petroleum and natural gas", and on the norm ISO 9001:2000(E) that settles down "the requirements of the systems of quality management".

The result is the development of procedures, wombs, formats and/or forms and programs that allow to structure the process of analysis of flaws applied to the critical teams of the field of production of MAres, allowing this way to obtain the punctuation and/or necessary requirements for the world standards taking a step in turn but toward the certification.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Isnardo Gonzalez.

INTRODUCCIÓN

ECOPETROL S.A. esta muy comprometida en el proceso de Certificación en todos sus campos de exploración y explotación, y refinerías, con el fin de lograr la expansión de su negocio a nivel internacional. Para poder lograr esto debe trabajar en los procesos de calidad y operaciones en cada una de sus áreas, siendo necesario hacer un proceso estructurado paso a paso para salir del mantenimiento clase inocente hasta obtener un mantenimiento de clase mundo o del mejor en su clase. Unas de sus etapas que debe desarrollar es el manejo de información de fallas en equipos siendo necesario la implantación del proceso Análisis de Causa Raíz (RCA) y Análisis de Causa Raíz en Falla (RCFA) y es aquí donde nace este proyecto “plan estratégico para la implantación de la metodología de análisis de fallas enfocado en los equipos críticos de los campos de producción de la superintendencia de mares de ECOPETROL S.A.”.

Con la implantación de esta metodología, se espera disminuir las fallas frecuentes en los equipos críticos de la SMA, alcanzando una disminución representativa en las pérdidas de producción y un aumento de los ingresos de la empresa, permitiendo además que esta metodología sea irrigada hacia todos los distritos de ECOPETROL S.A.

El capítulo 1 tiene como fin mostrar la estructura organizacional del campo de la Superintendencia de Mares (SMA).

En el capítulo 2, se describe la teoría del mantenimiento clase mundo (MCM), sumergiéndose en las 10 practicas del mantenimiento clase mundo.

El capítulo 3 muestra la descripción del análisis de criticidad, presentando la metodología usada para establecer los equipos críticos para el campo de la SMA.

El capítulo 4 muestra un proceso estructurado de la obtención de diagramas de paretos a partir del CMMS ELLIPSE.

Finalmente, el capítulo 5 muestra los procesos que identifican cuando debe realizarse un RCA, los procedimientos requeridos para satisfacer en todas las cabalidades la metodología RCA, formatos y diagramas de flujos necesarios la orientación apropiada del proceso RCA.

Se incluye como anexo a este documento, la normas principales en que se baso el desarrollo de este proyecto de grado.

1. ECOPETROL S.A.- SUPERINTENDENCIA DE MARES (SMA)

La Superintendencia de Mares (SMA) un campo de producción de ECOPETROL S.A. en ella se desarrolló el nacimiento de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), con 13.500 Barriles de Crudo promedio al día en la actualidad. Sus objetivos, posición geográfica organigramas serán presentados en este capítulo.

1.1 RESEÑA HISTORICA

1.1.1 Origen del Petróleo. El petróleo es una sustancia oscura y aceitosa que se formó hace millones de años en las entrañas de la tierra como consecuencia de la descomposición de enormes cantidades de sedimentos marinos, removidos por violentos cambios en la corteza terrestre. Su origen es de tipo orgánico, igual que el gas natural. Por sus compuestos de hidrógeno y carbono se les denomina hidrocarburos.

Junto con esta materia orgánica, se depositaron en el lecho marino mantos de arenas, arcillas, fango, caliza y otros sedimentos que vinieron a conformar lo que se conoce geológicamente como rocas sedimentarias. Entre estas capas subterráneas fue donde se produjo el fenómeno físico-químico natural que dio lugar a la creación del petróleo, palabra que significa *-aceite de roca-*.

Se atribuye al norteamericano William Drake el primer hallazgo de petróleo luego de la perforación en 1859 de los pozos de Titusville, Pensilvania (USA) a más de 20 metros de profundidad. El petróleo representa un 40% del total de la energía que se consume en el mundo. Le siguen el gas y el carbón. La

excesiva dependencia de los hidrocarburos (petróleo y gas suman casi el 70% del consumo) y los innumerables conflictos internacionales derivados de su comercialización, han obligado a investigar sobre energéticos alternativos, sin que por el momento haya una opción favorable.

En el mundo las mayores concentraciones de petróleo se hallan en el subsuelo de países en vía de desarrollo. El mayor volumen de reservas está en el Medio Oriente, Asia y América Latina. La explotación de petróleo generó el desarrollo de una industria con alta tecnología, considerada a nivel mundial como una de las más importantes junto a las de construcción de automóviles e informática.

1.1.2 Historia de la Superintendencia de Mares - ECOPETROL. El origen de esta gran empresa nacional se remonta en la época de la conquista cuando la maltrecha expedición de Gonzalo Jiménez de Quesada descubre en el año de 1536, en la influencia de los ríos Oponcito y la Colorada las fuentes de petróleo que en memoria de las recién nacidas hijas del rey de España, los conquistadores bautizaron con el nombre de “Infantas”.

La explotación comercial de estos yacimientos ubicados en el Departamento de Santander se comenzó en junio de 1916, aunque posteriormente se fijó el 25 de agosto de 1921 como la fecha oficial de dicha construcción por traspaso que se había hecho en la Tropical Oil Company.

De esta forma en los terrenos de lo que es hoy la Gerencia Regional del Magdalena Medio, nació en la Industria Petrolera Colombiana. Fue aquí, en el pozo Infantas 2 donde el 29 de abril de 1918, manó petróleo colombiano por primera vez con base en la Concesión De Mares (Superintendencia de Mares) que data del año 1905. En este mismo año fue firmada la concesión

Barco en los terrenos de Catatumbo (Norte de Santander), donde la producción se inició en firme en el año de 1920. Casabe (Antioquia) y Cantagallo (Bolívar), comenzaron a operar en 1941 y 1942 respectivamente y en 1962 inicia su producción el campo de Provincia de Sabana de Torres (Santander).

El 25 de agosto de 1951, en la sede del Club internacional de El Centro (Santander) se firmó la reversión De Mares por medio del cual los derechos de la concesión del mismo nombre revirtieron al estado colombiano y sus bienes y operaciones pasaron a ser manejadas directamente por la recién formada Empresa Colombiana de Petróleos.

ECOPETROL fue creada por la ley 15 de 1948 y organizada por el decreto N° 30 de 1951, como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía. Sus estatutos están contenidos en el decreto 062 de enero 20 de 1970.

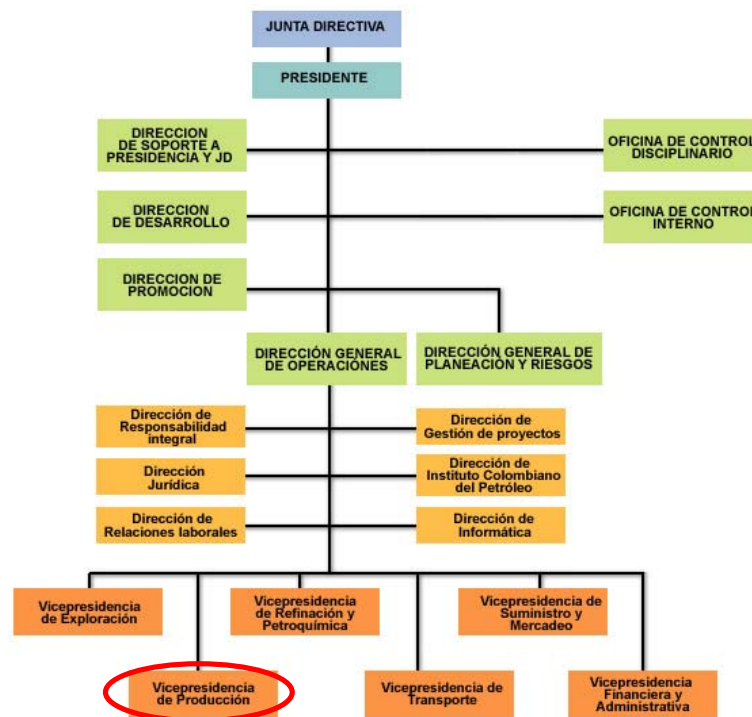
Después de este hecho histórico y de manera paulatina los demás campos continuaron estos procesos de reversión para llegar a manos de la estatal petrolera: Cantagallo en 1974, Casabe y Tibú en 1975, Cicuco en 1976 y Provincia y Río Zulia en la época de los 90.

A esta empresa se le ha encomendado la responsabilidad de suministrar los principales combustibles, lubricantes y derivados petroquímicos que el país requiere para su desarrollo. Para lograr este abastecimiento, ECOPETROL:

- ❖ Explora directamente o bajo asociación el subsuelo potencialmente petrolífero.

- ❖ Produce y refina el petróleo utilizando los más modernos sistemas existentes en la industria.
- ❖ Transporta los diversos productos hasta los sitios de consumo.
- ❖ Comercializa el crudo excedente del consumo interno del país.

Figura 1. Organigrama General de ECOPETROL S.A.

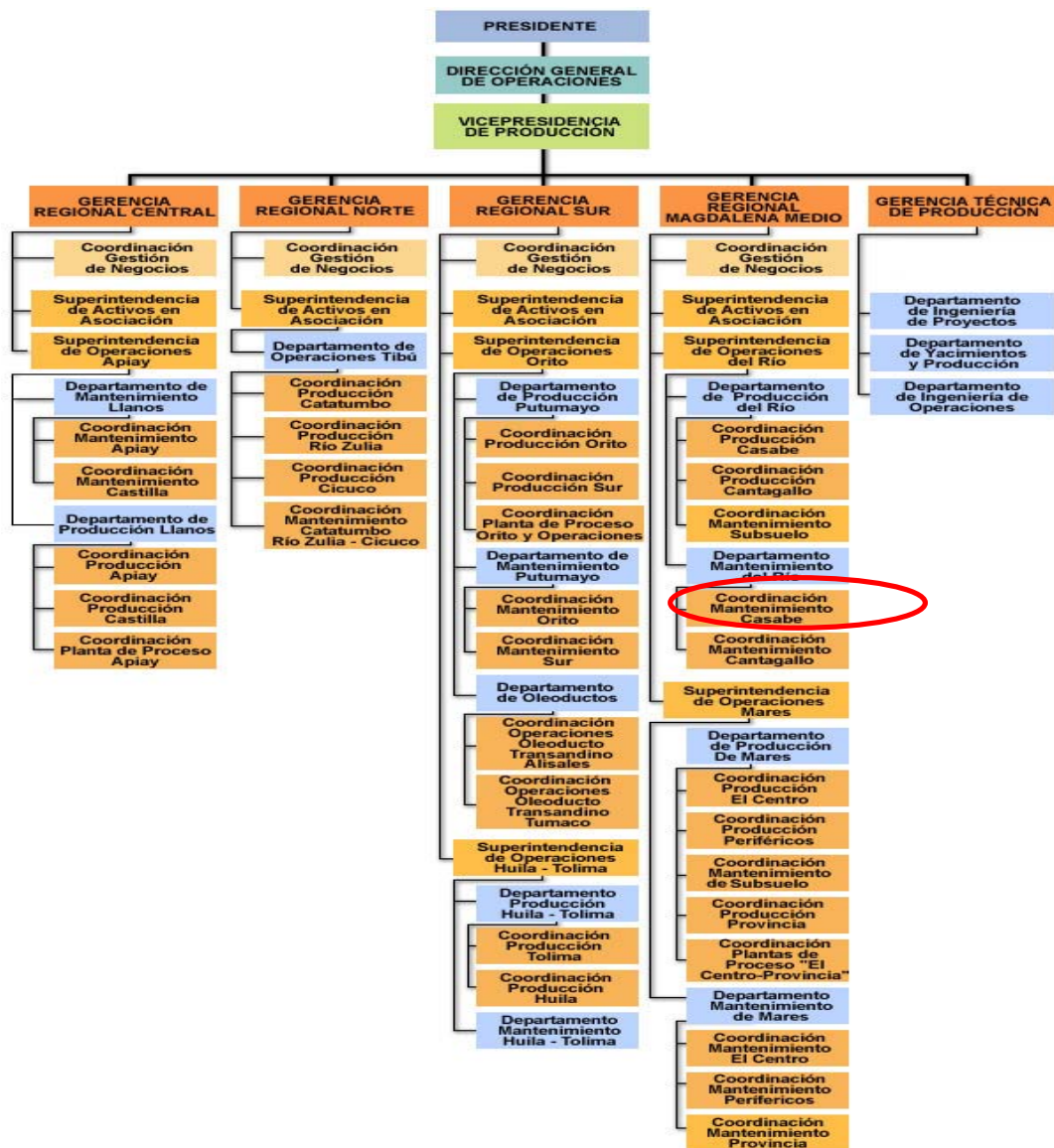


Fuente: ECOPETROL S.A. <www.ecopetrol.com.co>

La dirección y administración de la empresa están a cargo de la Junta Directiva y el Presidente (Ver figura 1). La Junta Directiva la preside el ministro de Minas y Energía y consta además de otros cuatro miembros más designados por el Presidente de la República. Sus principales funciones se dirigen a formar la política general de la empresa, aprobar su presupuesto y controlar su funcionamiento; la Dirección y representación legal de la empresa están a cargo del presidente, de quién dependen directamente las vicepresidencias responsables de las áreas fundamentales en el

funcionamiento de la misma, una de esas es la Vicepresidencia de Producción que en ella se desprende Gerencia Regional del Magdalena Medio (GRM) que es donde estará ubicado este proyecto, cabe resaltar que después la Superintendencia de Mares esta ligada a la GRM. Ver figura 2.

Figura 2. Organigrama de la Vicepresidencia de Producción de ECOPETROL S.A.



Fuente: ECOPETROL S.A. <www.ecopetrol.com.co>

1.1.3 La Transformación a ECOPETROL S.A. Después de 52 años de existencia como una empresa industrial y comercial del Estado, el Gobierno nacional transformó la Empresa Colombiana de Petróleos como ECOPETROL S.A., creando una sociedad pública por acciones, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, según el Decreto 1760 del año 2003.

De todas maneras, ECOPETROL S.A., sigue siendo una empresa 100% pública, donde el mayor accionista es la nación a través del Ministerio de Hacienda, con más del 99% de las acciones. Los otros accionistas minoritarios son cinco organismos del Estado.

El papel que jugaba ECOPETROL S.A., como administrador de las reservas de petróleo y gas del país pasó a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), otro ente que se creó con el decreto 1760 y que dejó en manos de ANH y el Ministerio de Minas y Energía el manejo de política petrolera en Colombia. Ahora será la ANH la que se encargue de administrar los recursos petroleros de propiedad de la nación y contratar con terceros la exploración y explotación de estos recursos.

ECOPETROL S.A. por su parte, tendrá que acudir ante la ANH, como cualquier compañía petrolera, para solicitar bloques para exploración o explotación y deberá competir con los socios privados en igualdad de condiciones.

❖ **Prioridades estratégicas de ECOPETROL S.A.** A partir de 2004 la prioridad de ECOPETROL S.A. es encontrar más hidrocarburos. Para lograrlo debe duplicar sus esfuerzos con el fin de ser una empresa rentable y que le genere recursos económicos al país, producto de sus operaciones.

Es así como el proyecto exploratorio Sirirí-Catleya se convierte en una prioridad, pues el hallazgo de nuevas reservas de hidrocarburos dependerá de que se impulsen otras áreas de la empresa, como son los negocios del transporte, la refinación y la comercialización de crudo, gas y sus derivados.

- ECOPETROL S.A. es una empresa petrolera que maneja los negocios de exploración, producción, refinación, transporte y comercialización.
- Deberá mantener el liderazgo en Colombia.
- Podrá explorar fuera de Colombia.

❖ **Gestión social de ECOPETROL S.A.** ECOPETROL S.A. realiza sus operaciones cumpliendo unas políticas de responsabilidad social que apoyan la construcción del estado social de derecho y la democracia participativa. Sus políticas contribuyen con:

- Desarrollar programas con las comunidades del entorno de los proyectos para propiciar un clima de convivencia.
- Diseñar y ejecutar planes y estrategias sociales, en donde los requerimientos de los proyectos petroleros se ajusten a las condiciones de la región.
- Crear espacios de diálogo, integración y concentración con autoridades del Gobierno, instituciones y comunidades del entorno, para prevenir y manejar de manera participativa las situaciones propias de la operación.
- Promover el desarrollo y fortalecimiento de las entidades territoriales y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades de su área de influencia.
- Integrar la empresa con la comunidad.

- Promover relaciones y acciones de trabajo conjunto entre empresa, concejos municipales, asambleas departamentales, Congreso de la República y otras entidades del Gobierno nacional, regional y local que se reflejen en beneficio del desarrollo regional y de la empresa.

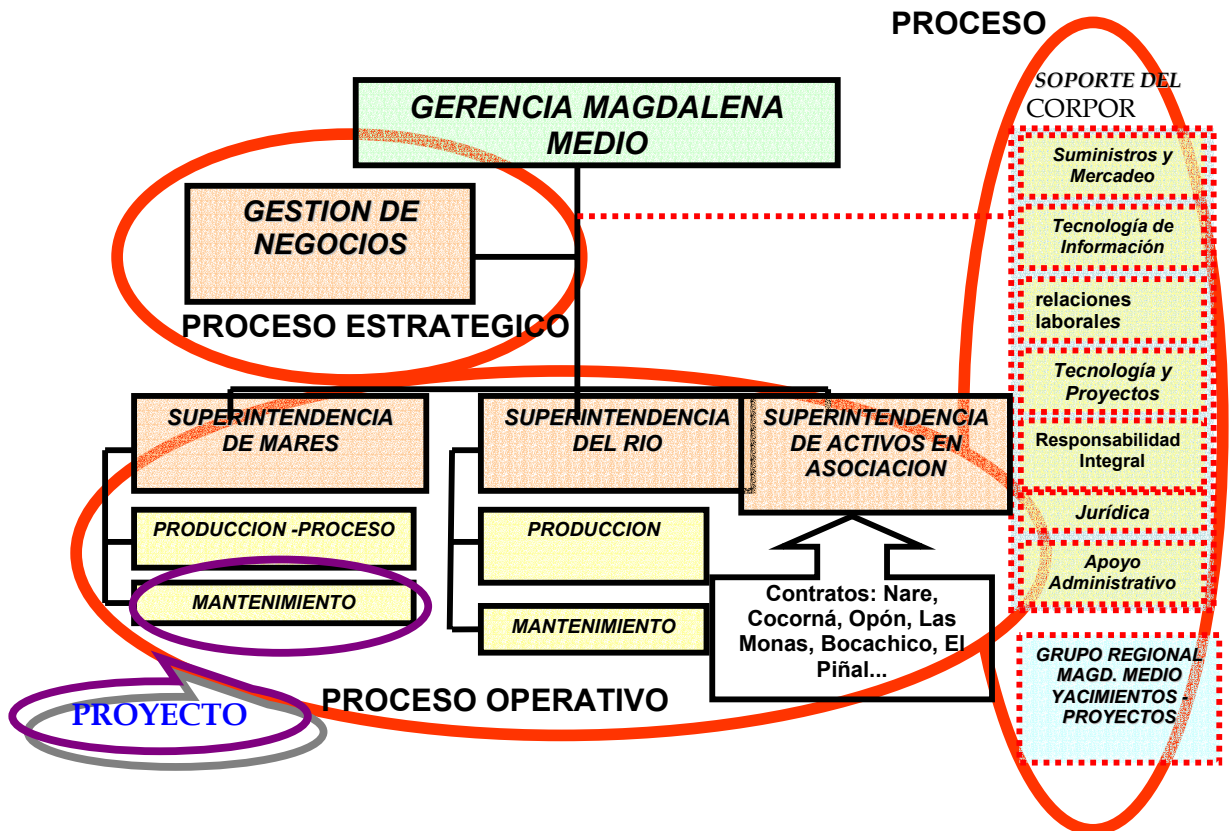
1.2 ÁREAS QUE CONFORMAN LA GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO (GRM).

Según la Resolución No 025 de noviembre 7 de 2003, por la cual se conforman los Grupos internos de Trabajo y se les asignan tareas y responsabilidades por el presidente de ECOPETROL S.A., en ejercicio de las facultades legales señaladas en la Ley 489 de 1998 y las conferidas por el artículo 100 del Decreto 2394 de 2003, con el fin de atender las necesidades del servicio y cumplir con eficacia y eficiencia los objetivos, políticas y programas del organismo o entidad, su representante legal crea y organiza grupos internos de trabajo que se denominaran según el caso, coordinación, grupo o jefatura, que Conformar la Dirección General de Operaciones, y las Vicepresidencias de Exploración, Producción, Refinación y Transporte.

La Gerencia Regional del Magdalena Medio de ECOPETROL (GRM) que parte de la Vicepresidencia de producción (Ver figura 2) tiene una estructura organizacional desde el punto de vista administrativo así: (Ver figura 3).

- **Gerencia:** (una)
- **Coordinación Gestión de Negocios:** (una).
- **Superintendencia de Activos en Asociación:** (una).
- **Superintendencias de Operaciones:** (dos): Superintendencia de Operaciones del Río y Superintendencia de Operaciones De Mares.

Figura 3. Áreas de la Gerencia Regional Magdalena Medio



Fuente: Documento de la GRM-ECOPETROL S.A.

- **Departamentos de Producción (dos):** Departamento de Producción del Río y Departamento de Producción De Mares.
- **Departamentos de Mantenimiento (dos):** Departamento de Mantenimiento del Río y Departamento de Mantenimiento De Mares.
- **Coordinaciones de Producción (cinco):** Coordinación de Producción Casabe, Coordinación de Producción Cantagallo, Coordinación de Producción El Centro, Coordinación de Producción Periféricos y Coordinación de Producción Provincia.
- **Coordinaciones Mantenimiento de Subsuelo (dos):** Coordinación Mantenimiento de Subsuelo del Río y Coordinación Mantenimiento Subsuelo De Mares.

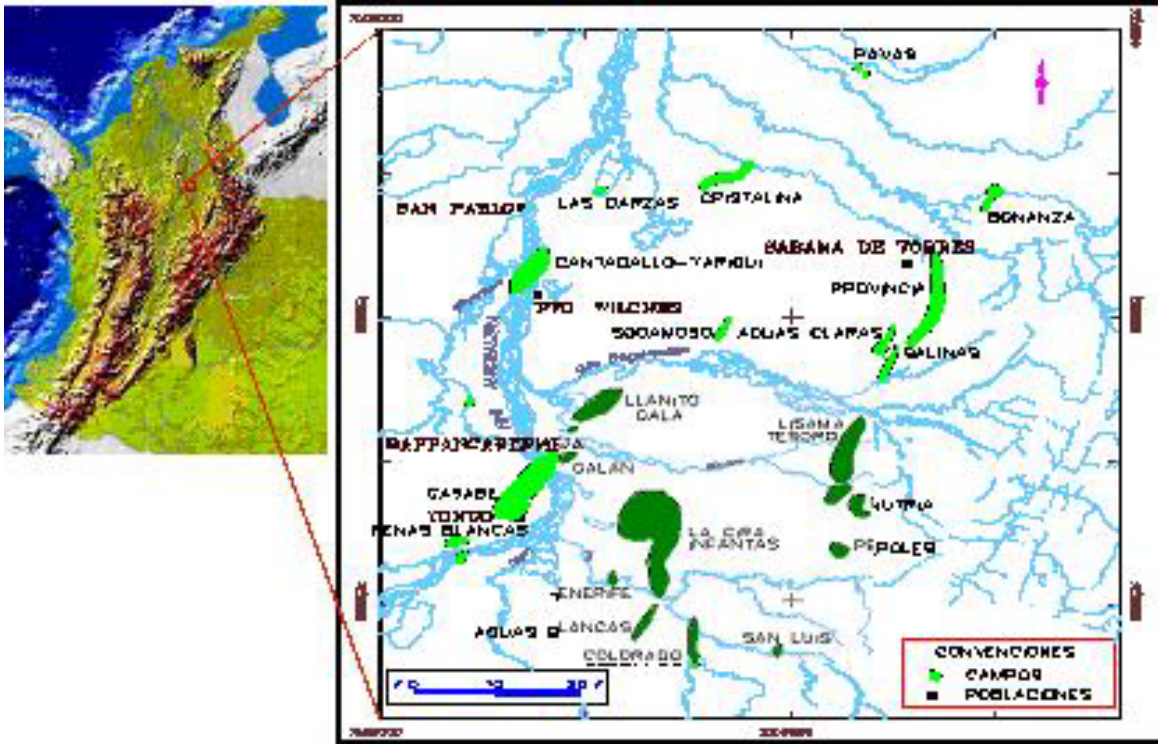
- **Coordinación de Plantas de Proceso El Centro- Provincia: (una).**
- **Coordinaciones de Mantenimiento (cinco):** Coordinación de Mantenimiento Casabe, Coordinación de Mantenimiento Cantagallo, Coordinación de Mantenimiento El Centro, Coordinación de Mantenimiento Periféricos, Coordinación de Mantenimiento Provincia.

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUPERINTENDENCIA DE PRODUCCIÓN DE MARES (SMA)

Superintendencia de Operaciones de Mares SMA: Las áreas en Colombia se representan gráficamente en el Mapa de ubicación. En él se muestran las áreas que se encuentran en Exploración y Explotación asignadas a la operación directa de ECOPETROL S.A., o contratadas bajo las diferentes modalidades pertenecientes a la Superintendencia de Mares, de la Gerencia Regional Magdalena Medio. (Ver figura 4)

- **Área de influencia de la SMA:** Departamento de Santander en los municipios de Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí y Sabana de Torres, con una extensión aproximada de 4609,3 km².
- **Campos:**
 - **Reversión Troco (1918-1951):** Infantas (1918), La Cira (1926), San Luís (1927), Colorado (1953), Galán (1955), San Silvestre (1958), Aguas Blancas (1962).
 - **Descubiertos por ECOPETROL:** Llanito (1960) Lisama (1964), Tesoro (1965), Tenerife (1968), Peroles (1977), Nutria (1982), Gala (1985) y Cardales-Yuma (1988).
 - **Reversión Esso (1962-1992):** Bonanza, Santos, Suerte y Conde.
 - **Reversión Petronorte (1965-1998):** Tisquirama.

Figura 4. Ubicación Geográfica de la Superintendencia de Operaciones De Mares



Fuente: SMA-ECOPETROL S.A. <www.ecopetrol.com.co>

1.4 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MARES

Es la encargada de mantener en condiciones óptimas de operación las maquinarias (Cementadora, Limpieza de pozos, otros), los equipos (motores, Bombas, otros), instalaciones (Líneas Eléctricas, Redes de Distribución, otros), muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tienen la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipos de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgo en el área laboral.

La necesidad cada día más acentuada por mejorar los estándares en materia de seguridad, ambiente y productividad de las instalaciones y sus procesos,

obliga a incorporar nuevas tecnologías que permitan alcanzar las metas propuestas.

El Mantenimiento comprende el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

1.4.1 Labores del Departamento de Mantenimiento de la SMA. El departamento de Mantenimiento de la SMA a diario atiende la función de dar cumplimiento a los diferentes planes de mantenimiento que pueden ser de los siguientes tipos: correctivos y preventivos.

► **Mantenimiento Correctivo:** comprende el evento que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo y los podemos clasificar en:

✓ **No planificado:** Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición operativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de formas legales, etc.). Esta forma de Mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

✓ **Planificado:** responde a un plan de trabajo, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la intervención, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente en el tiempo previsto.

► **Mantenimiento Preventivo:** Es la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración que deben llevarse a cabo en forma periódica con base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario. Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de la infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. Las características principales de este tipo de mantenimiento son inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno.

1.4.2 Misión del Departamentote Mantenimiento de la SMA.

Maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos que soportan la producción de crudo y gas de la SMA, mediante la aplicación de programas de Mantenimiento Preventivo empleando modernas técnicas con personal capacitado y comprometido con las metas establecidas.

1.4.3 Visión del Departamentote Mantenimiento de la SMA.

Ser una organización de Mantenimiento “Clase Mundo” mediante la aplicación de los planes estratégicos de Mantenimiento establecidos para cada vigencia, apoyados principalmente en la capacidad, compromiso, políticas de HSEQ y liderazgo de su equipo humano.

1.4.4 Objetivos Generales del Departamentote Mantenimiento de la SMA.

✓ Optimizar los procesos y mejoramiento de la eficiencia de sus activos al permitir con la renovación y repotenciación de equipos, ahorros de energía de los ciclos productivos y un tiempo promedio de paradas de mantenimiento más amplio en las máquinas que soportan la mayor parte de la producción.

✓ Ser líderes en el desarrollo de programas de mantenimiento preventivo, predictivo y mejorativo, dentro de una cultura de salud ocupacional, seguridad y calidad.

1.4.5 Objetivos Específicos del Departamentote Mantenimiento de la SMA

- ✓ Mejorar la eficiencia de los equipos
- ✓ Austeridad en el gasto
- ✓ Aumentar la disponibilidad de los equipos e instalaciones de SMA-ECOPEPETROL S.A.
- ✓ Apoyar el mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✓ Asegurar que los aspectos de Calidad, Ambiente, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional formen parte del actuar cotidiano de todos los trabajadores de la Empresa, dentro y fuera del trabajo, procurando que cada uno asuma la responsabilidad derivada de sus actuaciones.

1.4.6 Áreas que Conforman el Departamento de Mantenimiento de la SMA. El Departamento de Mantenimiento De Mares está compuesto por tres coordinaciones que son: Coordinación Mantenimiento El Centro, Coordinación Mantenimiento Periféricos y Coordinación Mantenimiento Provincia y a su vez el departamento está apoyado por los grupos de IMC (Ingeniería Mantenimiento y Confiabilidad) y GMM (Gerencia Marco Mantenimiento) con ingenieros pertenecientes al departamento. Ver Figura 5. A su vez cada coordinación tiene sus respectivas áreas como lo son:

Figura 5. Organigrama del Departamento de Mantenimiento De Mares.



Fuente: Documento de la SMA-ECOPETROL S.A.

❖ **Coordinación Mantenimiento El Centro:** Esta coordinación cuenta con 5 áreas que son: Equipo Móvil, Transporte de Carga, Equipo Pesado, Vías, Automotor Liviano y Metalmecánica, que son las áreas cuya función son más netamente de taller que de atención a campos.

✓ **Equipo Móvil.** El objeto es mantener en óptimo estado mecánico y operativo los equipos de work over (Reacondicionamiento, Varilleo y Limpieza de Pozos) con sus equipos auxiliares de la Superintendencia De Mares SMA.

✓ **Transporte de Carga.** El área de transportes realiza el transporte de líquidos (agua, gasolina, acpm, varsol y otros productos blancos), casetas, unidades de bombeo, carga pesada, tubería, entre otras, velando su buen estado y disposición.

✓ **Vías.** La Unidad de Vías es la encargada de velar por el buen estado y mantenimiento de las vías de comunicación de toda la Superintendencia De Mares SMA, así como de los puentes, obras de arte, etc.

✓ **Automotor Liviano.** El objetivo del área de Automotor Liviano es la de velar por el buen estado de los vehículos a gasolina que están a disposición de la Empresa, actualmente sólo se lleva a cabo en las instalaciones del área los periodos de lubricación y las demás funciones son realizadas de manera contratada.

✓ **Automotor Pesado.** El objetivo del área de Automotor Pesado es la de velar por el buen estado de los vehículos con motor diesel que están a disposición de la Empresa, actualmente sólo se lleva a cabo en las

instalaciones del área los periodos de lubricación y las demás funciones son realizadas de manera contratada.

❖ **Coordinación Mantenimiento Periféricos:** La coordinación cuenta con 5 áreas así: área eléctrica, instrumentos, equipo estacionario, unidades de bombeo y tanques y tubería, siendo esta última área la actualmente está apoyada por personal contratista con supervisión de personal directo de la empresa.

✓ **Área Eléctrica.** Esta área es responsable de tener funcionando los equipos que contribuyen el núcleo del negocio usando técnicas de mantenimiento basado en condición y optimización energética, soportada en los proyectos de Mantenimiento. El área eléctrica se encuentra ubicada en el Departamento de Mantenimiento De Mares, en la Coordinación de Mantenimiento Periféricos, subdividiéndose en dos unidades que son: Redes Eléctricas y Mantenimiento Eléctrico de Campo.

▪ **Mantenimiento Eléctrico de Campo.** El objetivo del área de Mantenimiento Eléctrico de Campo es garantizar el más alto grado de disponibilidad de los equipos eléctricos a su cargo (motores y controles eléctricos), cuando lo requiera la producción con alta confiabilidad durante el tiempo solicitado para operar, en los momentos oportunos a un costo óptimo, empleando modernas técnicas con personal capacitado y comprometidos con las metas establecidas en la organización.

▪ **Redes Eléctricas.** El objetivo de área de Redes Eléctricas es disponer de un sistema eléctrico de alta confiabilidad y calidad en el suministro de energía

eléctrica que brinde seguridad en el servicio a pozos, plantas, estaciones de recolección y áreas administrativas.

✓ **Unidades de Bombeo.** El objetivo del área de Unidades de Bombeo es la encargada de la instalación, montaje, mantenimiento y reparación de las unidades de bombeo, cuyo objetivo es extraer el crudo de subsuelo.

Su objetivo dentro del departamento es dar cumplimiento a los programas de mantenimiento preventivo, disminuir el mantenimiento correctivo, pasar de mantenimiento correctivo a mantenimiento preventivo en unidades de alta producción, mantener la producción diferida en cero barriles, dar cumplimiento a los eventos de trabajo reportados por las dependencias a las cuales se les suministra al CMMS MIMS ELLIPSE para registrar todos los eventos de trabajo realizados en la sección y mantener cero accidentes en la sección como metas de HSEQ.

✓ **Tanques Y Tubería.** Esta área de tanques y tubería es la encargada de velar por el mantenimiento de los diferentes tanques y tuberías de la SMA, para minimizar la corrosión e incidentes de tipo ambiental que se presentan en estos equipos mediante reposición de líneas de flujo respondiendo a planes de producción limpia. Esta área está apoyada actualmente por terceros (contratación) y sólo cuenta con dos funcionarios como encargados de ser interventores de las actividades.

✓ **Equipo Estacionario.** El área de Equipo Estacionario es la encargada de ejecutar trabajos técnicos y de orden especializado en bombas, turbinas y compresores, ejecutar los programas de mantenimiento día a día y atender las eventuales emergencias que se presenten con los equipos estacionarios instalados en las estaciones de recolección y tratamiento de crudo y gas,

plantas compresoras de gas, de proceso, captación, tratamiento e inyección de agua y demás instalaciones de la Superintendencia de Operaciones De Mares con el fin de mantener los equipos a cargo en operación normal.

Su trabajo se centra en el área de Lisama, Llanito y La Cira Infantas dando intervención de manera inmediata a los equipos.

✓ **Instrumentos.** El objetivo de esta área es realizar trabajos técnicos y de orden especializado a los lazos de control de las diferentes variables de los procesos productivos, ejecutar los programas de mantenimiento día a día y atender las eventuales emergencias que se presenten con los equipos de medición y control en estaciones de recolección y tratamiento de crudo y gas, plantas compresoras de gas, de proceso, captación, tratamiento e inyección de agua y demás instalaciones de la Superintendencia de Operaciones De Mares.

❖ **Coordinación Mantenimiento Provincia:** El objetivo de la Coordinación de Provincia es mantener la producción, mejorar el factor de recobro de crudo y gas, atenuar la fuerte declinación que presentan estos campos y seguir explotándolos en forma rentable, mejorando así los aspectos ambientales, trabajando armónicamente con el entorno y las comunidades circunvecinas y buscando nuevos prospectos que aseguren la vida productiva de estos campos ya agotados.

El campo de Provincia cuenta en el departamento de Santander con tres estaciones de recolección: Santos, Suerte y Bonanza; tratamiento de crudo con sus correspondientes equipos para separación de crudo y gas, bombas de transferencia, tanques de almacenamiento, unidades de medición y sistemas de contraincendio. En el departamento de Cesar tiene los campos de

Tisquirama, Caimán y San Roque cuya producción es entregada directamente a la Estación Ayacucho de la Vicepresidencia de Oleoductos.

❖ **Área de Almacenes:** Es la encargada de la administración de las bodegas, inventarios de repuestos, recibo y entrega de materiales, listados de partes, excedentes industriales, mínimos y máximos, y catalogación de repuestos.

❖ **Área de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad (IMC).** Es la encargada de crear, implementar y mejorar los siguientes aspectos:

- Gestión de equipos (parametrización y caracterización de equipos y componentes)
- Planeación y programación (mantenimiento proactivo)
- Estudios técnicos (gestión de contratación, procedimientos e instructivos)
- Análisis estadístico y condición de falla.

2. MANTENIMIENTO CLASE MUNDO (MCM)

El Mantenimiento Clase Mundial MCM, “es un conjunto de las mejores prácticas de mantenimiento que reúne los elementos de los distintos enfoques organizacionales con visión del negocio, para crear un todo armónico de un alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas”*.

2.1 PRÁCTICAS DEL MANTENIMIENTO CLASE MUNDO

La categoría Clase Mundial, exige la focalización de los siguientes aspectos:

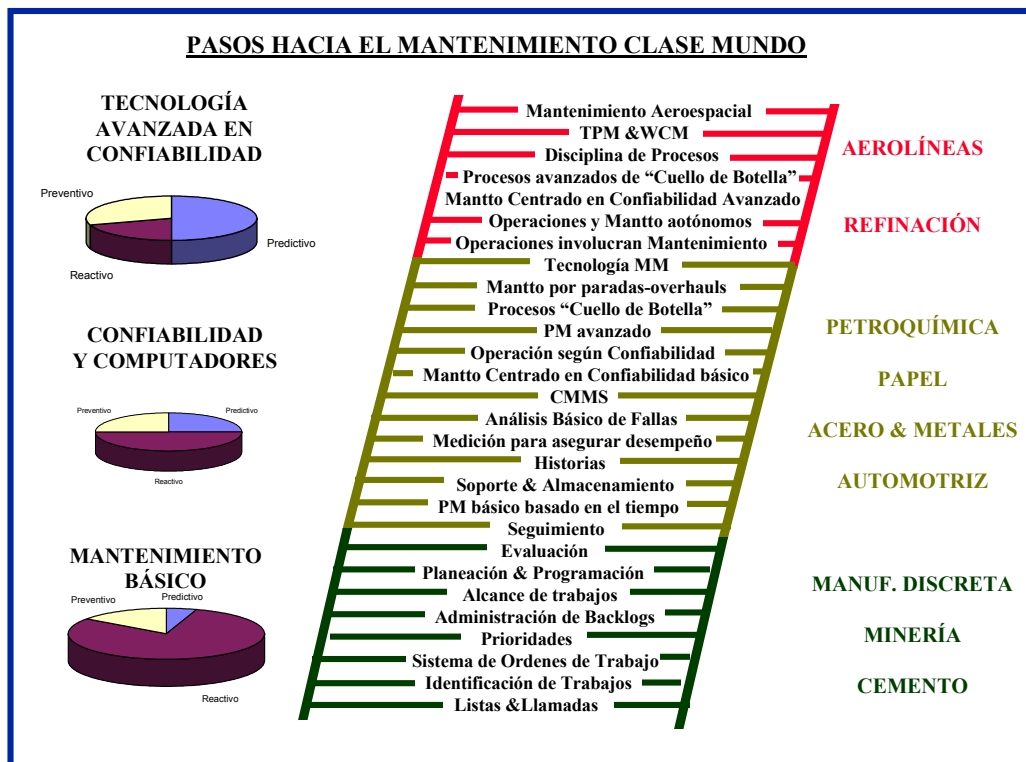
- Excelencia en los procesos medulares.
- Calidad y rentabilidad de los productos.
- Motivación y satisfacción personal y de los clientes.
- Máxima confiabilidad.
- Logro de la producción requerida.
- Máxima seguridad personal
- Máxima protección ambiental.

Los objetivos de las empresas de clase mundial es llegar a los Seis Ceros: “cero inventarios – cero defectos – cero accidentes – cero reparaciones – cero

* Según el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA (Venezuela).

papeles - cero tiempos de espera". Lograr ello es reducir los costos al nivel competitivo, pues se habrán eliminado todas aquellas actividades que no aportan valor agregado para el consumidor¹. Ver figura 6.

Figura 6. Escalera de la Confiabilidad



Fuente: Robert R. Viosca, HSB Reliability Technologies. Publicación de Confiabilidad. <www.Reliability.com>

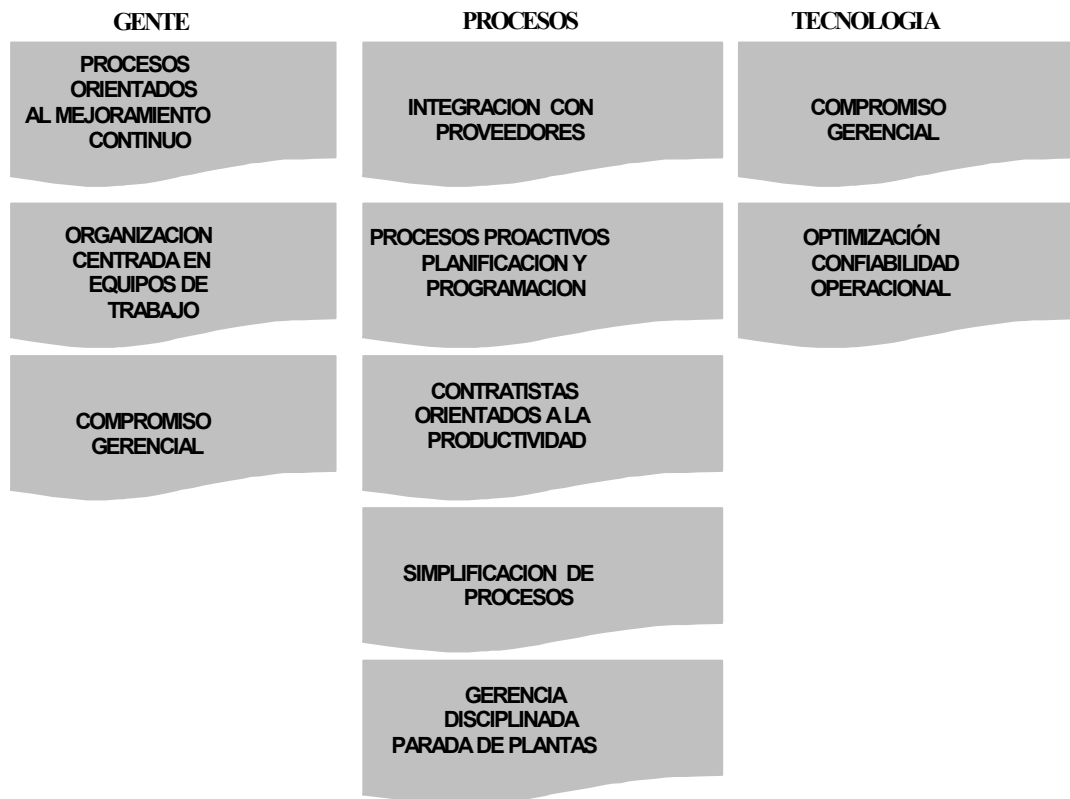
Las 10 mejores prácticas que sustentan el Mantenimiento Clase Mundo son:

1.1.4 Organización Centrada en Equipos. Se refiere al análisis de procesos y resolución de problemas a través de equipos de trabajo multidisciplinarios

¹ Dr. Mauricio León Lefcovich, Documento de Productividad y Reducción de Costos.

y a organizaciones que evalúan y reconocen formalmente esta manera de trabajar.

Figura 7. Las 10 Mejores Practicas del Mantenimiento Clase Mundial.



Fuente: Publicación de Gestión de Activos de Clase Mundial. <www.mantenimientomundial.com>

1.1.5 Contratistas Orientados a la Productividad. Se debe considerar al contratista como un socio estratégico, donde se establecen pagos vinculados con el aumento de los niveles de producción, con mejoras en la productividad y con la implantación de programas de optimización de costos. Todos los trabajos contratados deben ser formalmente planificados, con alcances bien

definidos y presupuestados, que conlleven a no incentivar el incremento en las horas - hombres utilizadas.

1.1.6 Integración con Proveedores de Materiales y Servicios. Considera que los inventarios de materiales sean gerenciados por los proveedores, asegurando las cantidades requeridas en el momento apropiado y a un costo total óptimo. Por otro lado, debe existir una base consolidada de proveedores confiables e integrados con los procesos para los cuales se requieren tales materiales.

1.1.7 Apoyo y Visión de la Gerencia. Involucramiento activo y visible de la alta Gerencia en equipos de trabajo para el mejoramiento continuo, adiestramiento, programa de incentivos y reconocimiento, procesos definidos de selección y empleo, evaluación del desempeño de los empleados y programas de desarrollo de carrera.

1.1.8 Planificación y Programación Preactiva. La planificación y programación son bases fundamentales en el proceso de gestión de mantenimiento orientada a la confiabilidad operacional. El objetivo es maximizar efectividad/eficacia de la capacidad instalada, incrementando el tiempo de permanencia en operación de los equipos e instalaciones, el ciclo de vida útil y los niveles de calidad que permitan operar al más bajo costo por unidad producida. El proceso de gestión de mantenimiento y confiabilidad debe ser metódico y sistemático, de ciclo cerrado con retroalimentación. Se deben planificar las actividades a corto, mediano y largo plazo tratando de maximizar la productividad y confiabilidad de las instalaciones con el involucramiento de todos los actores de las diferentes organizaciones bajo procesos y procedimientos de gerencia documentados.

1.1.9 Procesos Orientados al Mejoramiento Continuo. Consiste en buscar continuamente la manera de mejorar las actividades y procesos, siendo estas mejoras promovidas, seguidas y reconocidas públicamente por las gerencias. Esta filosofía de trabajo es parte de la cultura de todos en la organización.

1.1.10 Gestión Disciplinada de Obtención de Materiales. Procedimiento de obtención de materiales homologado y unificado en toda la corporación, que garantice el servicio de los mejores proveedores, balanceando costos y calidad, en función de convenios y tiempos de entrega oportunos y utilizando modernas tecnologías de suministro.

1.1.11 Integración de Sistemas. Se refiere al uso de sistemas estándares en la organización, alineados con los procesos a los que apoyan y que faciliten la captura y el registro de datos para análisis.

1.1.12 Gerencia Disciplinada de Paradas de Plantas. Paradas de plantas con visión de Gerencia de Proyectos con una gestión rígida y disciplinada, liderada por profesionales de cada una de las especialidades. Se debe realizar adiestramiento intensivo en Paradas tanto a los custodios como a los contratistas y proveedores, y la planificación de las Paradas de Planta debe realizarse con 12 a 18 meses de anticipación al inicio de la ejecución física involucrando a todos los actores bajo procedimientos y prácticas de trabajos documentados e implementados.

1.1.13 Producción Basada en Confiabilidad. Grupos formales de mantenimiento predictivo/confiabilidad (ingeniería de mantenimiento y

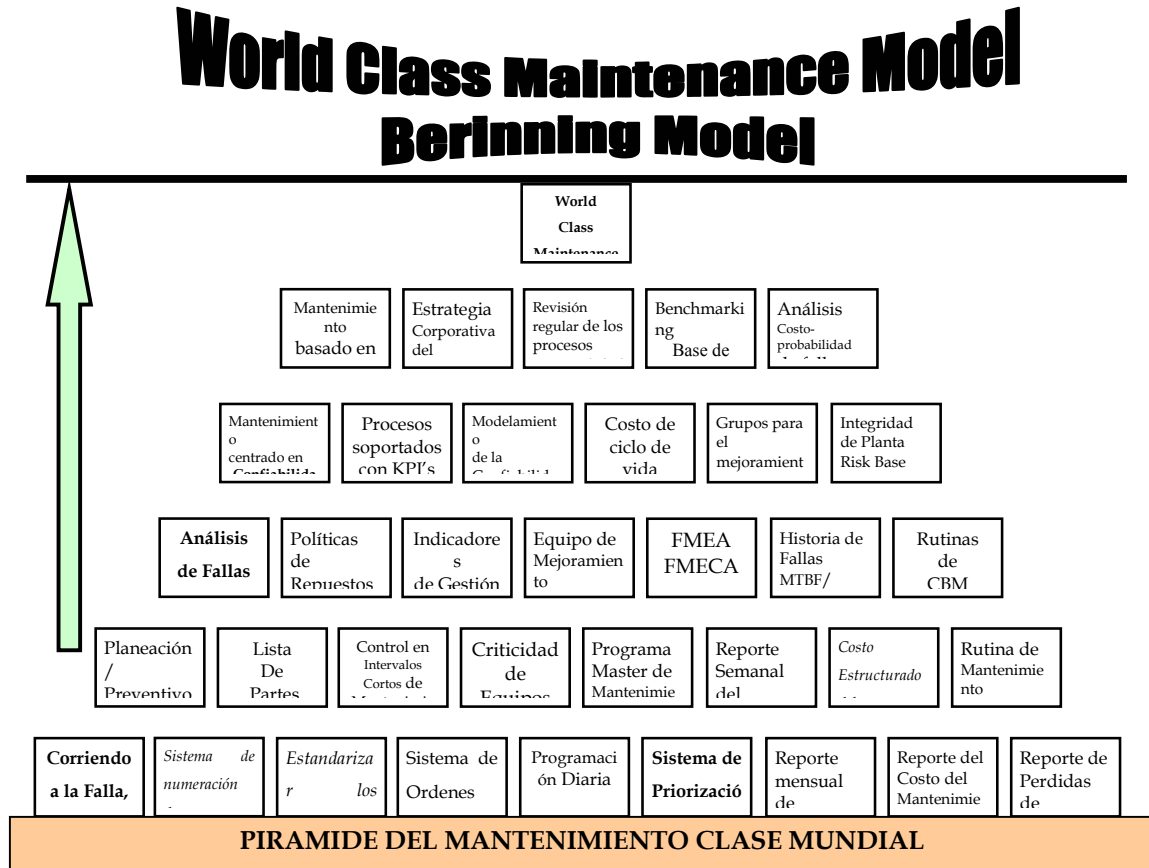
confiabilidad) deben aplicar sistemáticamente las más avanzadas tecnologías/metodologías existentes del mantenimiento predictivo como: vibración, análisis de aceite, ultrasonido, alineación, balanceo y otras. Este grupo debe tener la habilidad de predecir el comportamiento de los equipos con 12 meses de anticipación y coordinar la realización de procesos formales de "análisis causa-raíz" y otras herramientas de confiabilidad (MCC, CBM, ACR, etc.).

2.2 MANTENIMIENTO CLASE MUNDIAL META PARA EL 2006 EN LA SMA

La SMA se basa la pirámide de sostenimiento de MCM (ver figura 8) y en la Matriz de la Excelencia para llegar a los estándares de "Clase Mundial", a partir de ellos se desarrollaron diferentes estrategias, proyectos, contratos, etc., que permitan obtener la puntuación requerida para avanzar hacia el MCM.

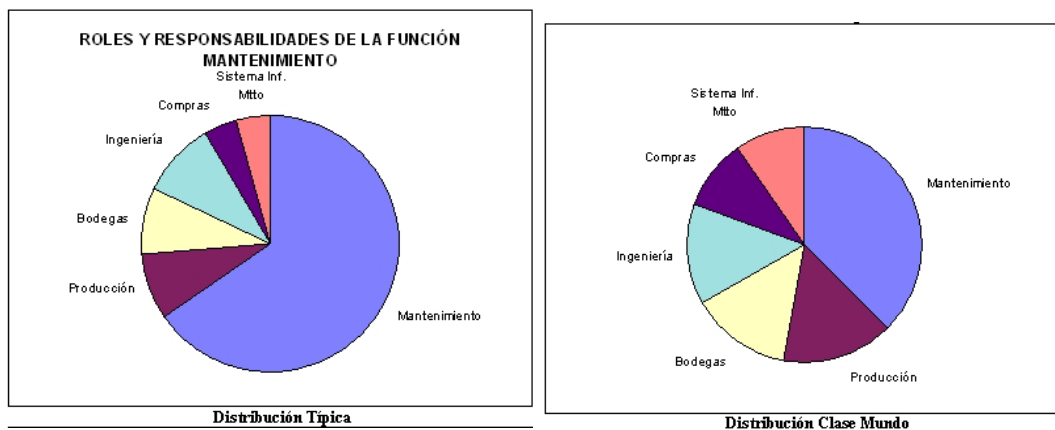
1.4.7 Pirámide de Sostenimiento del MCM. La pirámide de sostenimiento es la base para fortalecer el MCM (Ver figura 8), consta de 5 escalones evolutivos donde el escalón posterior debe fortalecer el anterior. La característica principal de la pirámide de sostenimiento es que involucra a las personas, procesos y tecnología. En la figura 9 se reflejan las diferencias en que las organizaciones típicas y de *Clase Mundo* perciben la propiedad de la función Mantenimiento, donde la organización Clase Mundo reconoce que el mantenimiento es una responsabilidad primaria de todos los departamentos de la empresa, en la figura 10 refleja el tiempo y el dinero aplicados a las categorías de trabajo en las Platas Típicas y de Clase Mundo.

Figura 8. Pirámide de Sostenimiento del Mantenimiento Clase mundo



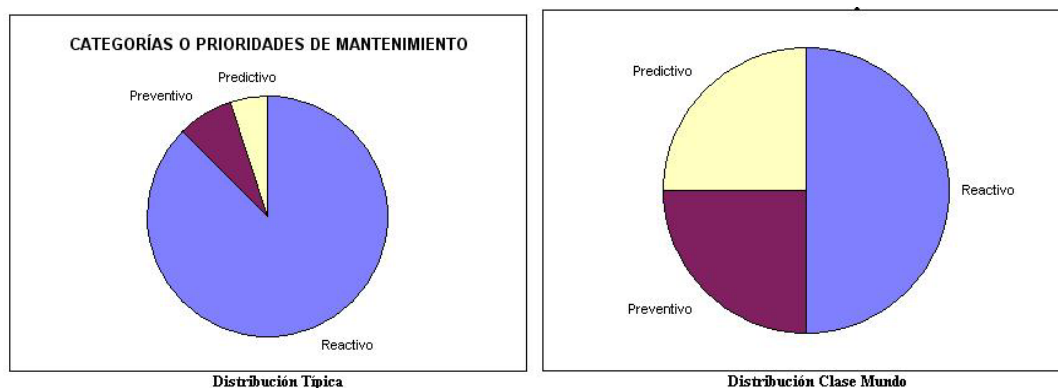
Fuente: Revista Maintenance Technology del 1995

Figura 9. Roles y Responsabilidades en Función del Mantenimiento



Fuente: Revista Maintenance Technology del 1995.

Figura 10. Categorías o Prioridades del Mantenimiento



Fuente: Revista Maintenance Technology del 1995

1.4.8 Matriz de la Excelencia. La matriz de la excelencia esta compuesta por 5 filas de valoración de mantenimiento que va desde mantenimiento de clase inocente hasta mantenimiento clase mundo, y 10 columnas que califican las áreas de la organización, del seguimiento, el uso de tecnología y el manejo de la información organizacional, del proceso, de labor y de la infraestructura de la empresa (Ver tabla 1). La metodología de la matriz de la excelencia consiste en hacer seguimiento a una serie de pasos metodológicos los cuales involucran entrevistas y soportes documentales de información con lo cual se hace la valoración de la posición en cada una de sus columnas.

❖ Niveles de Clasificación

✓ **Nivel Inocente:** No existe planeación. La programación es elemental y no existe la ingeniería de mantenimiento. Su puntuación esta entre 0-10 puntos.

✓ **Nivel Insatisfactorio:** Soporte para detección de fallas y nivel elemental de programación (no balanceo de recursos, no planeación profunda). Su puntuación esta entre 10-20 puntos.

Tabla 1. Matriz de la Excelencia de Mantenimiento.

CLASS	ESTRATEGIA DE MANTTO	ADMON Y ORGANIZACIÓN	PLANEACION Y PROGRAMACIÓN	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	ANÁLISIS DE PROCESOS	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES
WORD CLASS	Estrategia Corporativa de Mantenimiento	"Organización de Alto Desempeño"	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (Vista a tres años mínimo)	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Cálculo de Efectividad de Equipos y de planta, Benchmarking y excelente base de datos de costos implementada	Bases de datos totalmente integradas	Equipos de trabajo autónomos	Programa total de confiabilidad (Predicción y Ajuste de Estrategia de Mantenimiento con base en estudios Confiabilidad)	Revisión regular de los procesos de costo, tiempo y calidad, certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento	Fuente única de información con toda la infraestructura de Equipos, componentes jerarquizada para realizar la gestión de mantenimiento
BEST IN CLASS	Plan de Mejoramiento a largo plazo	Admón. y organización de manto "Ampliada" (Integrada) con proveedores de bienes y servicios externos	Buena planeación del trabajo, programación y Soporte de Ingeniería de Mantenimiento implementado (Pvos con base en RCM, Análisis de Falla, Soporte Técnico)	CBM formal y dando resultados. PPMs con base en RCM. Inspecciones basadas en riesgo	MTBF/MTTR, Availability, Reliability, costos de mantenimiento muy estructurados y gestionados	CMMS Convencional ligado a financiero y materiales	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando	Modelamiento de Confiabilidad	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	Infraestructura de equipos y componentes estandarizada en las diferentes bases de datos con las cuales se realiza la gestión de mantenimiento
AWARNESS	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Estructura organizacional de manto integrada con logística, financiera, recursos humanos, gerencia y demás áreas de la compañía.	Grupos de Planeación e Ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente	Algo de CBM. Algo de NDT	Tiempos de parada con modo, causa y elementos de falla. Costos de mantenimiento disponibles	CMMS convencional no ligado a otros paquetes, operando y produciendo resultados	Comités de mejoramiento ad-hoc	Buena base de datos de falla, en uso y utilización de RCFA y FMEA	Revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos y documentación de los procesos administrativos	Infraestructura jerarquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica
UNSATISFACTORY	Plan de Mejoramiento de mantenimientos preventivos	Manto organizado como respuesta a la necesidad operativa del proceso productivo principal	Soporte para detección de fallas y programación elemental (no balanceo, planeación no profunda)	Inspecciones basadas en tiempo	Algunos registros de falla y costos de mantenimiento no segregados	Algunos programas y registros de repuestos	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	Registro de Fallas poco usado	Procesos técnicos (procedimientos), revisados por lo menos una vez	Se dispone de la infraestructura de Equipos y componentes debidamente estructurada en algún medio magnético
INNOCENSE	Mantenimiento reactivo (run to fail)	Organización y administración funcional	No planeación. La programación es elemental y no existe la Ingeniería de mantenimiento	Paradas anuales de inspección únicamente	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y falla de equipos	Manual y registro ad-hoc	Solo reuniones con el personal para tocar temas sindicales o sociales	No existe registro estructurado de fallas	Procedimientos técnicos y Procesos administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados (verbales o de conocimiento individual)	No existe ningún registro de la infraestructura de Equipos y Componentes

- ✓ Nivel Conciente: Grupos de Planeación e Ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente. Su puntuación esta entre 20-40 puntos.
- ✓ Nivel Mejor en su Clase: Buena planeación del trabajo, programación y soporte de Ingeniería de Mantenimiento implementado (Preventivos con base en RCM, Análisis de Falla, Soporte Técnico). Su puntuación esta entre 40-70 puntos.
- ✓ Nivel Clase Mundo: Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de largo plazo (Vista a tres años). Su puntuación esta entre 70-100 Puntos.

A finales del año 2003 se realizó el ejercicio de valoración posicional de la SMA utilizando la matriz en la cual se obtuvo una puntuación de 8.25 puntos clasificando en el tipo de mantenimiento de clase inocente, a finales del 2004 después de la reestructuración del plan estratégico de mantenimiento se obtuvo una valoración de 20.25 puntos clasificando en Mantenimiento Conciente, y la valoración obtenida en Diciembre del 2005 fue de 40 clasificando en el rango mínimo del Mantenimiento Mejor de su Clase. Se espera que para finales del 2006 después de implementar las últimas estrategias del plan estratégico de mantenimiento de la SMA se logre pasar al *World Class Maintenance*. El ejercicio de valoración consiste en un "benchmarking de mantenimiento" que se basa en las evidencias que se puedan recolectar para cada tipo de mantenimiento (Ver tabla 2) para posteriormente agregar su valoración.

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento.

No.	Evaluación Organización de Mantenimiento	EVIDENCIAS
1	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	
1,1	Estrategía Corporativa de Mantenimiento	Existe plan a largo plazo de por lo menos tres años, visión, objetivos, responsables y presupuesto establecido y el cual está totalmente integrado con el plan corporativo de mantenimiento.
1,2	Plan de Mejoramiento a largo plazo	Existe plan a largo plazo de por lo menos tres años, visión, objetivos, responsables y presupuesto establecido para la gerencia.
1,3	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Existe plan aprobado y con evidencia de ejecución donde estén los objetivos de la organización de mantenimientos en las diez áreas claves de resultado, con responsables asignados, meta establecida y con cubrimiento de un año.
1,4	Plan de Mejoramiento de mantenimientos preventivos	Existe archivo magnético o impreso donde se muestran los mantenimientos de origen preventivo para los equipos del negocio para un año a la vista y con evidencia de haber sido revisados mínimo una vez al año.
1,5	Mantenimiento reactivo (run to fail)	
2	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	
2,1	"Organización de Alto Desempeño"	Decisiones y poder distribuido entre los participantes de los procesos de mantenimiento (siempre alguien resuelve de cara a la necesidad del cliente y no necesariamente el mismo). Las personas pueden autoorganizarse en función de las necesidades del cliente.
2,2	Administración y organización de mantenimiento "Ampliada" (integrada) con proveedores de bienes y servicios externos	Se incorporan en la definición de los procesos los proveedores de bienes y servicios generándose una "Red de Valor". Se abandona el concepto de "Yo hago todo" a "Solo hago aquello en lo cual soy el mejor" y "hago lo demás con los mejores en su clase".
2,3	Estructura organizacional de mantenimiento integrada con logística, financiera, recursos humanos, gerencia y demás áreas de la compañía.	Existe y se usa una plataforma de Tecnología de Información (TI) que soporta los procesos integrados; los presupuestos, planes de desarrollo, planes operativos etc. se elaboran, consultan y actualizan conjuntamente y sobre soluciones únicas.

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento. Continuación.

2,4	Mantenimiento organizado como respuesta a la necesidad operativa del proceso productivo principal	Existe un plan operativo y de mantenimiento integrado.
2,5	Organización y administración funcional	
3	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	
3,1	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (Vista a tres años mínimo)	Existencia, con vista por lo menos de tres años, de un plan de mantenimiento para los equipos críticos y/o mayores, con estimados de costos, repuestos, mano de obra. Se debe obtener copia de dicho plan o impresión del mismo.
3,2	Buena planeación del trabajo, programación y soporte de Ingeniería de Mantenimiento implementado (Preventivos con base en RCM, Análisis de Falla, Soporte Técnico)	Es necesario contar con medios físicos o magnéticos (electrónicos), que demuestren que la planeación, la programación y la ingeniería de mantenimiento, al igual que el seguimiento de estas, están siendo ejecutados y son los que direccionan operativamente la producción.
3,3	Grupos de Planeación e Ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente	Deben existir organigrama, roles y responsabilidades (documento) donde sea clara la existencia tanto de los funcionarios que realicen la planeación, como aquellos que soportan las funciones de Ing. de Mantenimiento.
3,4	Soporte para detección de fallas y programación elemental (no balanceo de recursos, planeación no profunda)	Existencia de (archivos físicos o magnéticos), medios oficiales de la organización, donde se muestre la captura de la las fallas de los equipos y los correspondientes análisis de estas, donde se programa el trabajo para corregir las fallas (Las evidencias
3,5	No planeación. La programación es elemental y no existe la Ingeniería de mantenimiento	
4	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	
4,1	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Como fruto de análisis tipo RCM o RBI, todos los equipos críticos deben disponer de una matriz que identifique todas las técnicas de mantenimiento a que deben ser sometidos (estrategia de mantenimiento). Con base en herramientas de Modelamiento (Reliability).

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento. Continuación.

4,2	CBM formal y dando resultados. PPMs con base en RCM. Inspecciones basadas en riesgo	Evidencia de plan de CBM o RBI (NDT) para todos los equipos críticos, (copia del estudio que define que equipos son críticos y las técnicas de CBM o NDT a que estarán sujetos); reporte típico donde se muestre el "tracking" a un equipo cualquiera y evaluación del mismo.
4,3	Algo de CBM. Algo de NDT	Deben existir planes de trabajo que contemple la ejecución de actividades de CBM sobre algunos equipos críticos o mayores y demostrar que con base en las recomendaciones de CBM, se han realizado (realizan), trabajos para corregir las anomalías detectadas.
4,4	Inspecciones basadas en tiempo	
4,5	Paradas anuales de inspección únicamente	
5	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	
5,1	Cálculo de efectividad de Equipos y de planta, Benchmarking y excelente base de datos de costos implementada.	Se dispone del cálculo en línea del "Cálculo de Efectividad de Equipos", se tiene "Benchmarking" de mantenimiento y la base de datos de costos está en línea y es decisiva en la gerencia del mantenimiento.
5,2	MTBF/MTTR, Availability, Reliability, costos de mantenimiento muy estructurados y gestionados	Se dispone de los indicadores de confiabilidad claves con base en las estadísticas de falla de manera automatizada mínimo para todos los equipos críticos. Los costos están automatizados, sus indicadores están establecidos y sobre ellos se realiza seguimiento.
5,3	Tiempos de parada con modo, causa y elementos de falla. Costos de mantenimiento disponibles	Existe registro estandarizado de tiempos de parada para todos los equipos críticos. Igual existe para seguir la historia de costos de mantenimiento.
5,4	Algunos registros de falla y costos de mantenimiento no segregados	Existen algunos equipos críticos con registro de datos de falla pero no son estructurados o son no uniformes (no códigos de falla estándar). Igual ocurre con los datos de costos y por lo tanto no es posible realizar segregación o "drill down" de los mismos equipos.
5,5	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y falla de equipos	

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento. Continuación.

6	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	
6,1	Bases de datos totalmente integradas.	Existen esquemas de reportes e interfaces que garantizan la intercomunicación del CMMS con el resto de sistemas corporativos estratégicos, facilitando la integridad de la información o un sistema de información empresarial integrado.
6,2	CMMS convencional ligado a financiero y materiales.	Existe un CMMS que soporta los módulos de mantenimiento, materiales y está interconectado con la parte contable.
6,3	CMMS convencional no ligado a otros paquetes, operando y produciendo resultados	Existe un CMMS convencional con los módulos mínimos de mantenimiento, pero no está ligado con otros sistemas corporativos como la parte contable y materiales.
6,4	Algunos programas y registros de repuestos	Se tienen bases de datos hechas en "casa" para los datos de mantenimiento y existe sistema para el control de inventarios
6,5	Manual y registro ad-hoc	
7	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	
7,1	Equipos de trabajo autónomos	Similar al anterior pero el compromiso y resultados son tales que la gerencia no debe hacer esfuerzo por su seguimiento. Los grupos de mejoramiento autónomos, tienen su "modus operandi" establecido y dando resultados.
7,2	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando.	Debe existir el procedimiento, el flujo, los roles y responsabilidades, los registros de reuniones, casos estudiados, resultados y mecanismo de seguimiento a acciones recomendadas (traceable) avalado y monitoreado por la gerencia del mantenimiento.
7,3	Comités de mejoramiento ad-hoc	Debe existir registro de las actas de trabajo, resultados y registro del seguimiento a recomendaciones
7,4	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	Deben existir actas escritas de las reuniones de mejoramiento con la participación del personal "hands on" del mantenimiento
7,5	Solo reuniones con el personal para tocar temas sindicales o sociales	

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento. Continuación.

8	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	
8,1	Programa total de confiabilidad (Predicción y Ajuste de Estrategía de Mantenimiento con base en estudios de Confiabilidad).	Se utiliza el modelo base simulado en el punto anterior para establecer la conveniencia de introducción de ajustes en la estrategia de mantenimiento y retroalimentar los planes producidos por RCM.
8,2	Modelamiento de Confiabilidad	Se dispone de herramientas de modelación en uso donde se tienen simulada la operación actual del negocio (estrategia operacional, yacimientos, mantenimiento, repuestos, etc).
8,3	Buena base de datos de falla, en uso y utilización de RCFA y FMEA	Existe buena base de datos con códigos de falla estándar para, mínimo, los equipos críticos, es conocida y usada por la organización (equipos de mejoramiento) y con base en sus resultados se procede con FMEA y RCFA.
8,4	Registro de fallas poco usado	Existe lista de equipos críticos y sus códigos de falla estándar. Igualmente mecanismo para el registro de las fallas, pero aun es poco usado.
8,5	No existe registro estructurado de fallas	
9	ANÁLISIS DE PROCESOS	
9,1	Revisión regular de los procesos de costo, tiempo y calidad, certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento	Existe procedimiento oficial puesto en práctica que garantiza que periódicamente los procesos administrativos son revisados (traceable) y además los procesos de mantenimiento están certificados con norma tipo ISO 9000.
9,2	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	Los procesos administrativos existen y existe evidencia (traceable) de que son sometidos a revisiones periódicas (fecha, # revisión, quién revisó? Quién aprobó?).
9,3	Revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos y documentación de los procesos administrativos	Debe existir procedimiento puesto en práctica donde conste que los procedimientos técnicos están sometidos a revisiones periódicas y evidencias (traceables) de lo anterior. Los procesos administrativos de mantenimiento deben estar definidos y documentados.

Tabla 2. Evidencias del Benchmarking de Mantenimiento. Continuación.

9,4	Procesos técnicos (procedimientos), revisados por lo menos una vez	Debe existir copia dura o magnética con indicaciones de fecha de elaboración, quien elaboró, quién revisó y el contenido técnicos de los procedimientos de reparación de los equipos del negocio.
9,5	Procedimientos técnicos y procesos administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados (verbales o de conocimiento individual)	
10	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES	
10,1	Existe una fuente única que contiene toda la información de la infraestructura de equipos, componentes y las diferentes jerarquías necesarias para realizar la gestión de mantenimiento (Si existen varias fuentes, están debidamente comunicadas vía interfaces)	Toda la información de la infraestructura es accesible a través de un medio único. Las interfaces (manuales o electrónicas) entre las fuentes de la información están debidamente identificados y procedimentados (verificar existencia de dichos documentos y que sean actualizables).
10,2	La información de la infraestructura de equipos y componentes está debidamente estandarizada en las diferentes bases de datos con ayuda de las cuales se realiza la gestión de mantenimiento.	Existe consistencia entre los códigos y sobre todo en los conceptos que se utilizan en las diferentes bases de datos utilizadas (ejemplo códigos de falla en CMMS, RCFA software y herramienta de simulación, etc) se debe verificar la existencia física de los documentos.
10,3	La información de la Infraestructura esta jerarquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica.	La infraestructura está debidamente jerarquizada y permite obtener reportes de gestión tanto técnica como administrativa al estar debidamente registrada en el CMMS. Estos reportes están identificados y son usados en el CMMS (obtener evidencia física de lo reportes).
10,4	Se dispone de información de la infraestructura de Equipos y componentes debidamente estructurada en algún medio magnético.	Existe registro de la infraestructura de equipos y componentes debidamente estructurada, existe listado de equipos críticos (con base en metodología conocida - escrita), los equipos críticos como mínimo tienen sus "data - sheets" elaborados.
10,5	No existe ningún registro de la infraestructura de Equipos y Componentes	

3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS DE MANTENIMIENTO DE LA SMA

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento.

3.1 CONCEPTOS BASICOS

- **ANALISIS DE CRITICIDAD:** es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.
- **CONFIABILIDAD:** se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.
- **UNIDADES DE PROCESO O UNIDADES PRODUCTIVAS:** se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para

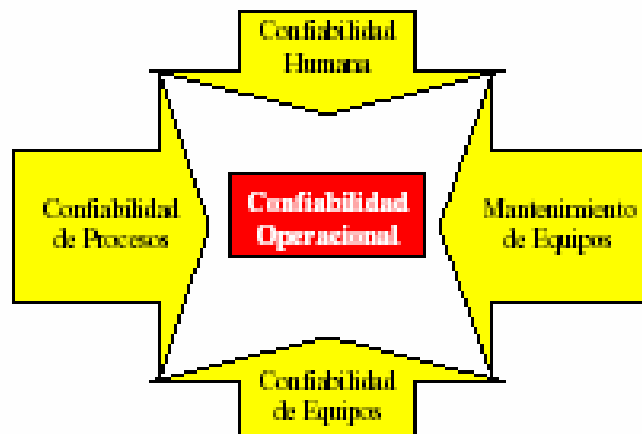
suministrar un servicio (ej. electricidad) o producto (ej. gasolina) al procesar y manipular materia prima e insumos (ej. agua, crudo, gas natural, catalizador).

- **SISTEMAS:** conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso, que tienen una función específica. Ej. Separación de gas, suministrar aire, regeneración de catalizador, etc.

- **CONFIABILIDAD OPERACIONAL:** es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que en un programa de optimización de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos.

La variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro parámetros presentados en la figura 11, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.

Figura 11. Aspectos de la confiabilidad operacional

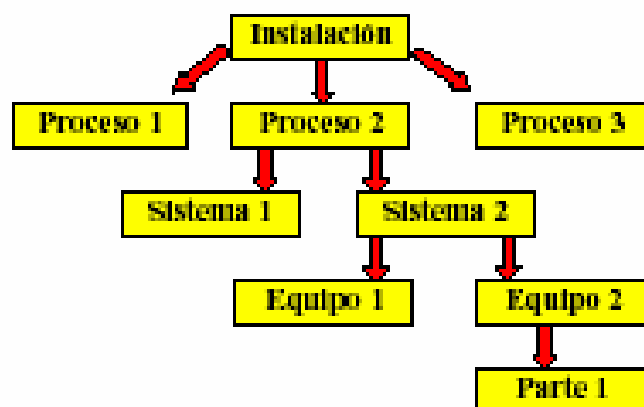


Fuente: Publicación Mantenimiento Mundial.

<www.mantenimientomundial.com>

- **ARBOL DE EQUIPOS:** define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos. Como puede verse en la figura 12, una planta compleja tiene asociada muchas unidades de proceso, y cada unidad de proceso o unidad productiva podría contar con muchos sistemas, al tiempo que cada sistema tendría varios paquetes de equipos, y así sucesivamente. A medida que descendamos por la jerarquía, crecerá el número de elementos a ser considerados.

Figura 12. Agrupación típica de instalaciones. Árbol de Equipos



Fuente: Publicación Mantenimiento Mundial.

<www.mantenimientomundial.com>

En el Departamento de Mantenimiento de la SMA se desarrollo un programa en Microsoft Excel, que se encuentra alimentada con 2 hojas sacada de la base de datos del CMMS MIMS ELLIPSE. Se han unido en la hoja ALE una primera sección de aproximadamente de 13 mil registros donde aparecen los códigos de equipos (MDSF600) y una posterior de aproximadamente 12500 registros donde aparece la relación componente _ equipo (MSF650).

Esta herramienta se controla desde la hoja ORD en el que existen dos campos editables: el primero es el nombre o raíz a partir de la cual desea conocerse el Árbol funcional de los equipos. Si se selecciona por ejemplo VRT3, este será el equipo a partir del cual se desarrollará el árbol de equipos hacia sus equipos asociados como hijos. Se profundiza tantos niveles como sea especificado en el campo siguiente denominado "Niveles". Así, si se selecciona por ejemplo OPERACIONES como raíz del árbol de equipos y se especifica un nivel (1 en el campo Niveles) se obtendrán los hijos directos de la raíz sin información adicional de sus nietos o elementos de jerarquía aún mas inferior, así: USI, URD, UDC, ELETEX. Este programa se encuentra anexo en la carpeta de programas del CD de Memorias con el nombre de Jerarquía de Equipos (Macro). Un ejemplo realizado para el equipo CCBEAKON que es Sistema de Oleoducto de Casabe a Barrancabermeja con 10 niveles de profundidad se puede ver en la figura 13.

Figura 13. Árbol de Equipos para el oleoducto de Casabe a Barrancabermeja.

CCBEAKCON	
CBEOLECBGCB	OLEODUCTO CASABE A GERENCIA CENTRO BCA
CCBEAKCCCON	CUARTO DE CONTROL DE LA ESTACION DE BOM-
CCBEAKELE	SISTEMA DE CORTES Y ALARMAS DE LOS CON-
CCBEAKSFCCI	SISTEMA DE FISCALIZACION Y CONTROL DE
CCBEAKHRD	HARDWARE DEL SISTEMA DE FISCALIZACION Y
CCBEAKSFIS	SOFTWARE DEL SISTEMA DE FISCALIZACION
CCBEAKSSCI	SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL DE CNTRA
CCBEAD07370	AIRE ACONDICIONADO MARCA: YORK
CCBEAD07371	AIRE ACONDICIONADO MARCA: YORK
CCBECICON	SISTEMA CONTRAINCENDIO ESTACION DE
CCBESBCI07A	SIST DE BOMBEO CONTRAINCENDIO ESTACION
CCBESBCI07B	SIST DE BOMBEO CONTRAINCENDIO ESTACION
CCBESBCI08	SIST DE BOMBEO CONTRAINCENDIO ESTACION
CCBETKCI	SISTEMA DE TANQUE DE AGUA Y ESPUMAS DE
CCBETKTC06	TANQUE DE AGUA DE CONTRAINCENDIO DE LA
CCBESBICON	SISTEMA DE BOMBEO ESTACION DE BOMBEO
CCBESBP01	SIST DE BOMBEO CASABE MOTOR:HP:150RPM890
CCBESBINS01	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBESBP02	SIST DE BOMBEO CASABE MOTOR:HP:150RPM890
CCBESBINS02	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBESBP03	SIST DE BOMBEO CASABE MOTOR:HP:150RPM890
CCBESBINS03	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBESBP04	SIST DE BOMBEO CASABE MOTOR:HP:150RPM890
CCBESBINS04	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBESBP05	SIST DE BOMBEO CASABE MOTOR:HP:150RPM890
CCBESBINS05	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBESBP06	SIST DE TRASIEGO BOMBEO CASABE
CCBESBINS06	INSTRUMENTACION DE PROTECCION DE LA BOM-
CCBETKCON	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE LA ESTACION
CCBEAKIKFQ	CONTADORES DE CRUDO DESPACHADO AL CIB
CCBEAKTK	SISTEMA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE

Se pueden solicitar tantos niveles como se deseen pero en general una profundidad de más de 10 niveles ya habrá entregado información hasta el más mínimo nivel que es el de componente. Con el árbol de equipos entregado en la hoja ESQ (RESULTADOS DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO), el analista estará en capacidad de limitar el universo de equipos y componentes a considerar para desarrollar una estrategia particular de mantenimiento.

3.2 ANTECEDENTES PARA REALIZAR CRITICIDAD

La necesidad cada día más acentuada por mejorar los estándares en materia de seguridad, ambiente y productividad de las instalaciones y sus procesos, obliga a incorporar nuevas tecnologías que permitan alcanzar las metas propuestas.

En el ámbito internacional las empresas exitosas han basado su estrategia en la búsqueda de la excelencia a través de la *filosofía de Clase Mundial*, la cual tiene asociada la aplicación de diez prácticas. Estas prácticas son:

1. *Trabajo en equipo*
2. *Contratistas orientadas a la productividad*
3. *Integración con proveedores de materiales y servicios*
4. *Apoyo y visión de la gerencia*
5. *Planificación y programación proactiva*
6. *Mejoramiento continuo*
7. *Gestión disciplinada de procura de materiales*
8. *Integración de sistemas*
9. *Gerencia de paradas de planta*
10. *Producción basada en confiabilidad*

Todas estas prácticas están orientadas al mejoramiento de la confiabilidad operacional de las instalaciones y sus procesos, sistemas y equipos asociados, con la finalidad de hacer a las empresas más *competitivas y rentables*, disponer de una excelente *imagen* con el entorno, así como la satisfacción de sus trabajadores, clientes y suplidores.

3.3 EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

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

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

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 14. El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Figura 14. Modelo básico de criticidad.



Fuente: Publicación Mantenimiento Mundial.
<www.mantenimientomundial.com>.

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

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

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en

función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

1.1.14 Análisis de Criticidad en el Área de Mantenimiento: Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y *planes de mantenimiento* de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; a su vez permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de las órdenes de trabajo.

1.1.15 Análisis de Criticidad para Inspecciones: El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los *intervalos*, tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

1.1.16 Análisis de Criticidad en Materiales: La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos

de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos cancelar el *stock* de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un *costo optimo de inventario*.

1.1.17 Análisis de Criticidad para Disponibilidad de Planta: Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de *inversión de capital* y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

1.1.18 Análisis de Criticidad a Nivel del Personal: Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de *habilidades en el personal*, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, teniendo en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.⁸

3.4 MATRIZ DE DEFINICION DE EQUIPOS CRÍTICOS

Siguiendo con el plan estratégico de mantenimiento es necesario la calificación de criticidad, utilizando la matriz de Ranking de criticidad de equipos, metodología definida por la norma ISO 14224. La metodología está definida por 3 criterios que evalúan la importancia, la confiabilidad y el impacto del equipo dentro del sistema. Estos criterios son:

⁸ Mantenimiento Mundial. www.mantenimientomundial.com

A. Importancia del equipo dentro del sistema

1. Puede causar riesgo en seguridad, violación ambiental.
2. Puede causar impacto económico negativo significativo. Pérdida de producción
3. Puede reducir las tasas de producción, recuperación o calidad de producción.
4. Puede causar demandas incrementadas sobre el personal operativo pero ningún impacto en seguridad, medio ambiente o producción.
5. No tiene importancia con respecto a la seguridad, medio ambiente o producción y no incrementa las demandas sobre el personal operativo.

B. Confiabilidad inherente del equipo

1. Extremadamente confiable. Normalmente no tiene partes en movimiento, servicio limpio.
2. Muy confiable. Pocas partes en movimiento, servicio ligeramente sucio.
3. Normalmente confiable. Más partes en movimiento / desgaste, servicio más severo.
4. De algún modo no confiable. Sistema complejo, servicio muy sucio, cargado fuertemente.
5. No confiable

C. Impacto del equipo en el sistema

1. Causa shutdown del sistema.

2. Causa reducción a largo plazo en el desempeño de un sistema. No tiene instalado equipo de respaldo. Tiempo de reparaciones o reemplazo significativo.
3. Causa reducción a corto plazo en el desempeño del sistema. Tiene instalado equipo de respaldo. Puede ser reparado rápidamente.
4. Puede operar bypassado o en manual, sin pérdida de desempeño del sistema. Se encuentra en servicio intermitente.
5. No tiene efecto de desempeño del sistema.

3.5 METODOLOGIA USADA PARA ESTABLECER LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA SMA

Para realizar la criticidad de equipos en el campo de la SMA se hizo un taller de la importancia de la criticidad, donde asistió el personal responsable tanto en operaciones, mantenimiento e instrumentos de cada una de las plantas a calificar.

3.5.1 Recolección de información para establecer la criticidad de equipos.

Según la norma ISO 14224, se realizo una tabla (ver Tabla 3) para evaluar el rating de criticidad de los equipos, esta se entregó totalmente diligenciada lo que se refiere al equipo, pero se dejo el espacio para que el operador o encargado del proceso evaluara el rating de criticidad. (La importancia A, confiabilidad B, impacto C fueron explicadas con anterioridad)

Tabla 3. Evaluación del Rating de Criticidad

			EVALUACIÓN RATING		
			IMPORTANCIA	CONFIABILIDAD	IMPACTO
SECCIÓN	TAG EQUIPO	DESCRIPCIÓN	A	B	C

Después de recolectar las tablas por secciones se evaluó el rating con la siguiente formula:

$$CE = (0.275) * (11.2 - A^{1.5}) * \sqrt{(B^{1.1} + (6 - C)^{1.2})}$$

Donde: CE es la Categoría del Equipo

A es la Importancia del Equipo en el Sistema

B es la Confiabilidad Inherente

C Impacto del Equipo en el Sistema

3.5.2 Resultados obtenidos. Se determinó la priorización de los equipos los Campos de la SMA en el Centro (Santander), el cual no incluye los pozos (Ver tabla 4).

Tabla 4. Criticidad del campo El Centro

CRITICIDAD DE EQUIPOS	TOTAL DE EQUIPOS
PROPÓSITO GENERAL	330
ESENCIAL	1049
CRITICO	1617
TOTAL GENERAL	2996

Los tipos de equipos que se presenta en el campo de la SMA son:

- **Equipos de propósito general.** Son aquellos que en el momento de falla no repercuten en la producción de la empresa, tiene un CE mayor a cero y menor a 4, $0 < CE < 4$.
- **Equipos esenciales.** Es aquel que en el momento de la falla tiene poca afectación en el sistema, permitiendo un periodo prolongado de tipo para su reparación, tiene un CE mayor o igual a 4 y menor a 6, $4 \leq CE < 6$.

- **Equipos Críticos.** Es aquel que en el momento de la falla, tiene un gran impacto en la producción y debe ser intervenido inmediatamente, tiene un CE mayor o igual a 6, $6 \leq CE$.

Los sistemas críticos más relevantes se encuentran en orden de mayor a menor importancia:

- Planta deshidratadora de el Centro
- Planta de Proceso de Gas de el Centro
- Planta de Inyección de Agua #5
- Estación Compresora de Gas del Llanito
- Estación Compresora de Gas del Centro
- Estación Compresora de Gas de Lizama
- Estación de Recolección de Crudo #1 de La Cira
- Estación de Recolección de Crudo #2 de La Cira
- Estación de Recolección de Crudo #3 de La Cira
- Estación de Recolección de Crudo #4 La Cira
- Estación de Recolección de Crudo Infantas #5
- Estación de Recolección de Crudo Infantas #6
- Estación de Recolección de Crudo Infantas #7
- Estación de Recolección de Crudo #3 de El Llanito
- Estación de Recolección de Crudo de Gala
- Planta deshidratadora de el Galán
- Estación Central de Lizama
- Estación Satélite de Lizama
- Automotor Pesado y las Herramientas de Work Over
- Planta de Captación de Agua de Campo #50
- Planta de Tratamiento de Agua de Campo #23

3.5.3 Estudio de Criticidad a los Equipos Tipo Pozo. Para realizar el estudio correspondiente a los equipos críticos tipo pozo se realizó la consulta en el CMMS MIMS ELLIPSE, “los equipos críticos tipo pozo son aquellos que soporten el 80% de la producción total del campo de la SMA”:

- Se establecieron 349 equipos, el cual corresponde al 37% de los pozos totales. Ver figura 15.
- El 100% de los pozos de los campos de Gala, Cardales y Provincia son críticos. Ver figura 16.
- Los campos de Colorado y La Cira tienen el porcentaje de equipos Críticos bajo (7% Colorado y 28,29% La Cira respecto a los equipos propios del campo).
- Se observa que el número de unidades de bombeo críticas solo representan el 36,85% de las totales, ósea que con sólo mantener 391 unidades se obtienen el 80% de la producción total.

* Definido por el Departamento de Mantenimiento de la Superintendencia de Mares

Figura 15. Equipos Críticos según CMMS ELLIPSE.

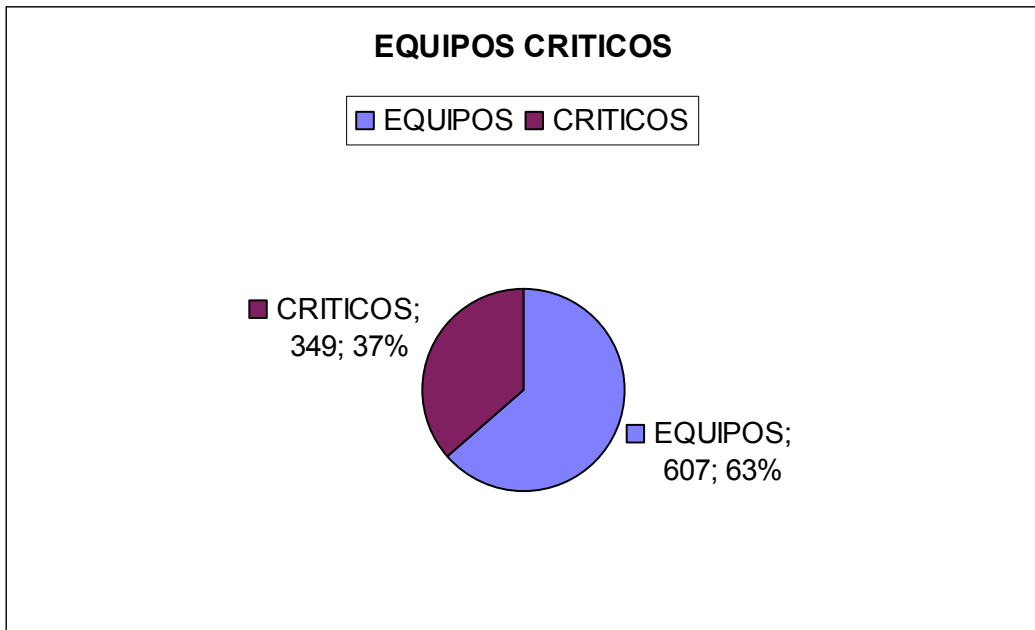
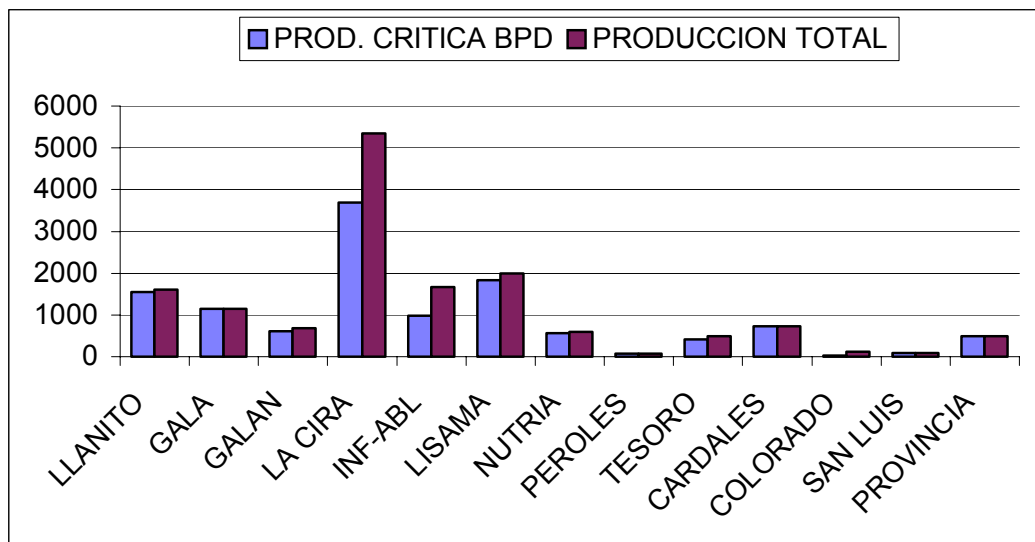


Figura 16. Producción Total por Campos vs. Producción Crítica por Campos



4. PROCESO DE OBTENCION DE LOS DIAGRAMAS DE PARETOS MEDIANTE CMMS MIMS ELLIPSE PARA LOS EQUIPOS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA SMA

El *Diagrama de Pareto* es una forma especial de ranquear o priorizar datos. Puede ser utilizado para determinar que problema ó problemas deben ser trabajados primero, determinar cual es el problema más frecuente y/o las consecuencias que presentan los mayores impactos. Se basa en hechos y no en apreciaciones.

4.1 HISTORIA

El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Juran en honor del economista italiano VILFREDO PARETO (1848-1923) quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza en Italia. El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la *regla 80/20*. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas solo resuelven el 20 % del problema. Basada en este conocido principio de Pareto, se dispone de una herramienta que es posible identificar lo vital dentro de lo mucho que podría ser trivial. *“En cualquier conjunto o colección de objetos, ideas, gente, o eventos, unas pocas significativas dentro del conjunto o colección, son MAS SIGNIFICATIVAS que las restantes”*⁹.

⁹ Reliability & Maintenance Analyst. www.engineeredsoftware.com

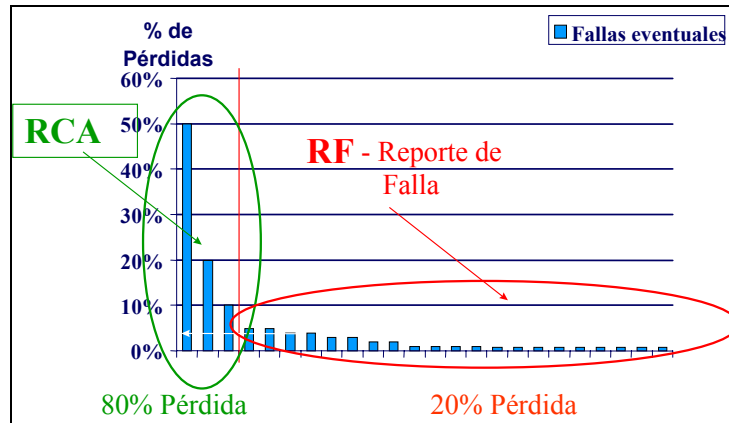
4.2 PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR UN DIAGRAMA DE PARETO

Esta metodología se trabaja dentro del siguiente proceso, ver figura 17.

1. Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
2. Reunir datos (ej. Una hoja de revisión puede utilizarse para reunir los datos requeridos).
3. Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
4. Totalizar los datos para todas las categorías.
5. Computarizar el total que cada categoría presenta.
6. Trazar los ejes horizontales y verticales en papel para graficas.
7. Trazar la escala del eje vertical izquierdo para la frecuencia (de cero al número calculado anteriormente).
8. De izquierda a derecha, trazar una barra para cada categoría en orden descendiente.
9. Trazar la línea del porcentaje acumulativo que muestre la porción total que cada categoría de problemas presente. En el eje vertical derecho, opuesto a los datos brutos en el eje vertical izquierdo, registrar el 100% al frente del número total y el 50% en el punto medio.
10. Trazar la línea de porcentaje acumulativo.
 - a. Iniciando con la categoría más alta, colocar un punto en la esquina superior derecha de la barra.
 - b. Sumar el total de la siguiente categoría al primero y colocar un punto encima de la barra mostrando el porcentaje acumulativo. Conectar los puntos y registrar los totales acumulativos hasta que se llegue al 100%.

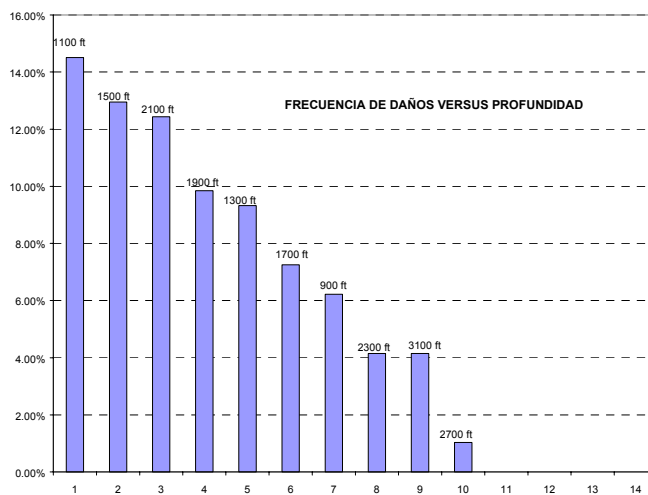
11. Dar un título a la gráfica, agregar las fecha(s) de cuando se reunió la información y la fuente de datos.
12. Analizar la gráfica para determinar los puntos vitales.

Figura 17. Análisis Pareto y clasificación de fallas



Veamos un ejemplo (Ver figura 18) de un diagrama de pareto, se muestra el daño o número de fallas con respecto a la profundidad del pozo.

Figura 18. Diagrama de Pareto



Fuente: Documento del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL DIAGRAMA DE PARETO

4.3.1 Ventajas del Diagrama de Pareto

- Ayuda a concentrarse en las causas que tendrán mayor impacto en caso de ser resueltas.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras.

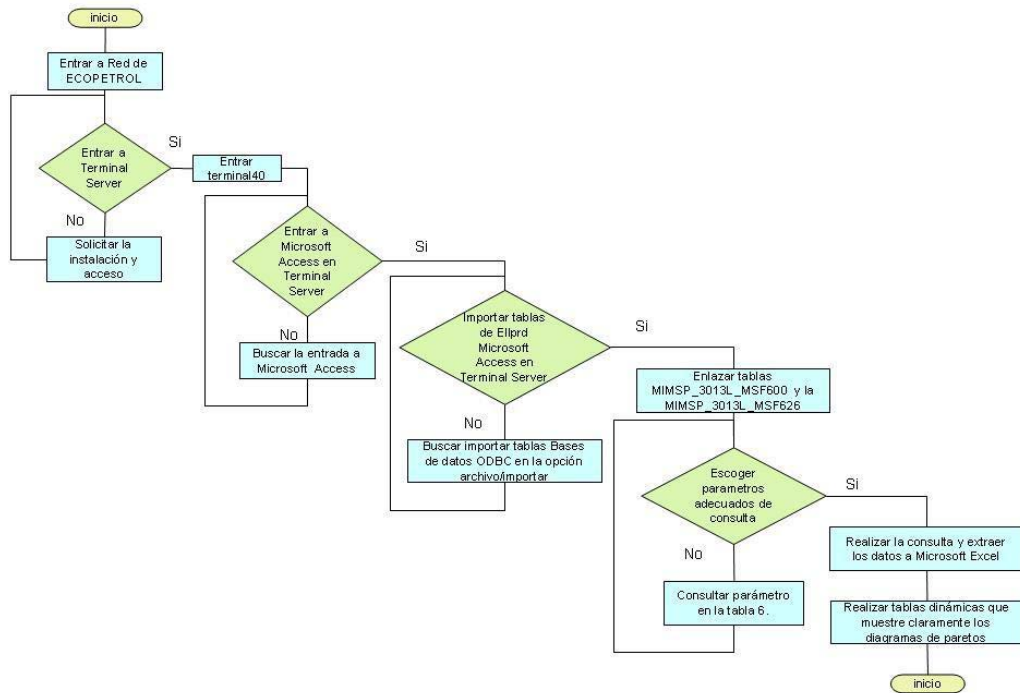
4.3.2 Utilidades del Diagrama de Pareto

- Determinar cual es la causa clave de un problema, separándola de otras presentes pero menos importantes.
- Contrastar la efectividad de las mejoras obtenidas, comparando sucesivos diagramas obtenidos en momentos diferentes.
- Pueden ser asimismo utilizados tanto para investigar efectos como causas.
- Comunicar fácilmente a otros miembros de la organización las conclusiones sobre causas, efectos y costes de los errores.

4.4 METODOLOGIA PARA REALIZAR PARETOS A PARTIR DEL CMMS ELLIPSE

La metodología se presentará por medio de un ejemplo característico hacia a las unidades de bombeo, estructura del primer nivel de la extracción de crudo, el diagrama de flujo de este proceso puede observarse en la figura 19.

Figura 19. Diagrama de flujo obtención de paretos.



1. Paso: Se debe entrar con la contraseña de usuario para la red de ECOPETROL (Registro y Contraseña).
2. Paso: Entrar al programa *Terminal Server*, en caso de no disponer del programa se debe remitir un correo o carta al Jefe de Departamento de Mantenimiento para proceder con su instalación. Ver figura 20.
3. Paso: Después de ejecutar la aplicación de *Terminal Server*, se debe escribir Terminal 40 (Conexión a base de datos de mantenimiento) ver figura 21. Después de realizar esta acción deberá repetir la entrada y la contraseña a la red. Ver figura 22.

Figura 20. Entorno hacia Terminal Server.



Figura 21. Entrada al Terminal40.

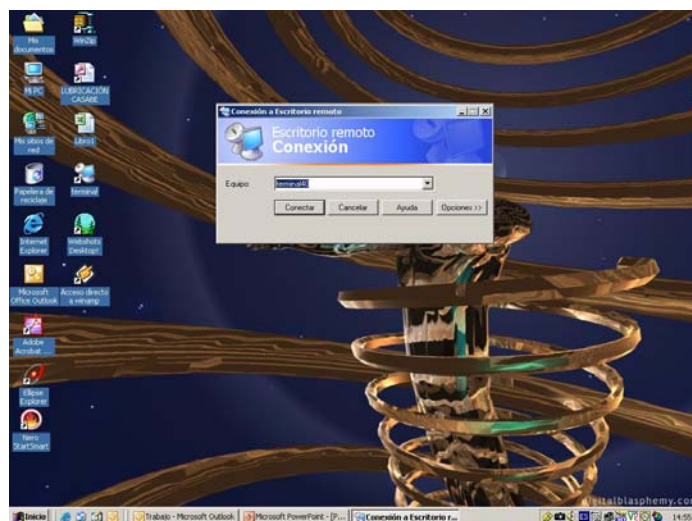
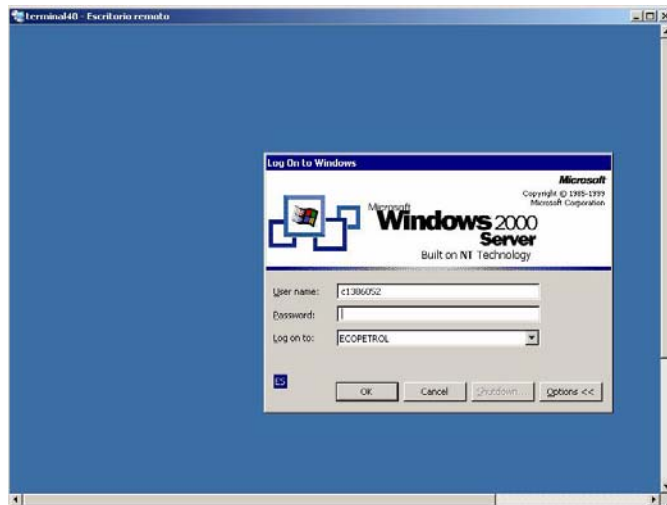
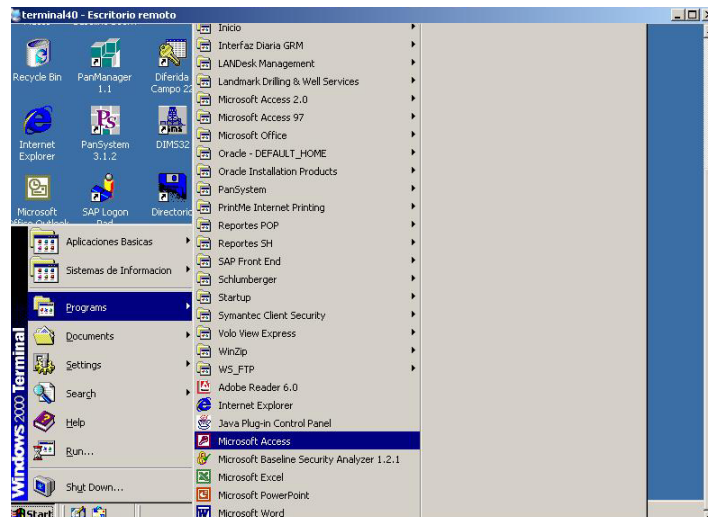


Figura 22. Acceso a Windows Server.



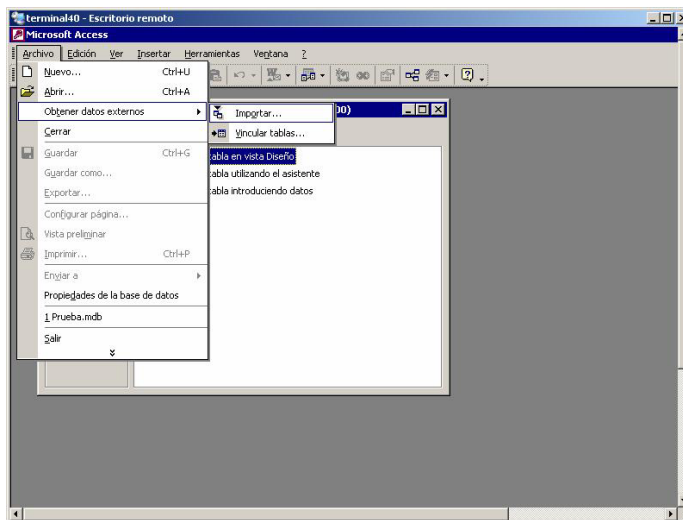
4. Paso: Una vez adentro del entorno del Windows Server, se debe ejecutar Microsoft Access. Ver figura 23.

Figura 23. Microsoft Access en Windows Server.



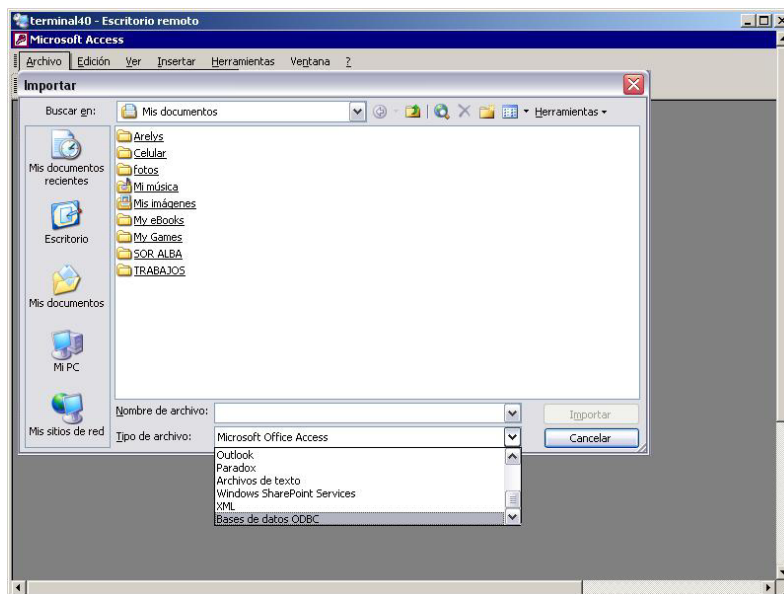
5. Paso: Una vez adentro de Access se debe entrar a la base de datos de almacenamiento del CMMS MIMS ELLIPSE, dentro de la aplicación de Access se da Archivos/Obtener Datos Externos/Importar. (Ver Figura 24).

Figura 24. Obteniendo datos externos en Terminal 40.



6. Paso: Una vez se abra el cuadro de importar, en la opción *Tipo de Archivo* escoger Bases de datos ODBC (ver figura 25) y en el cuadro siguiente escoger Ellprd (Elipse Productivo).

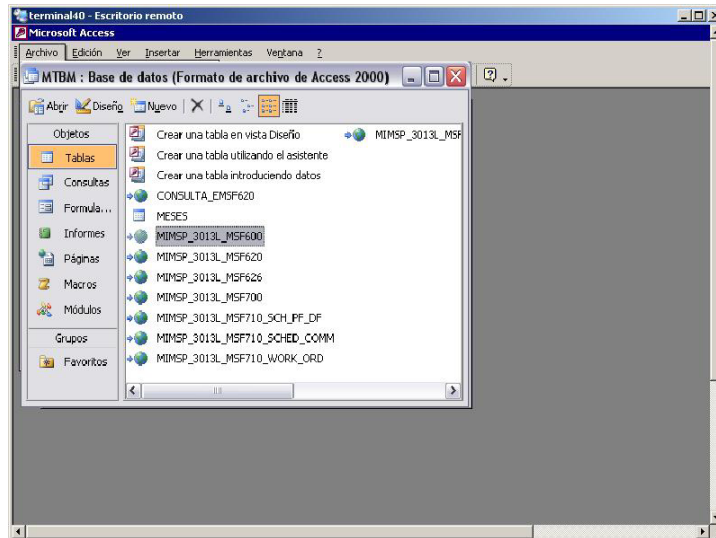
Figura 25. Importando las tablas en Terminal 40.



7. Paso: se escogen 2 tablas, la MIMSP_3013L_MSF600 (Encargada de disponer todos los datos cargado a los equipos de la SMA) y la MIMSP_3013L_MSF626 (Encargada de disponer todos los eventos

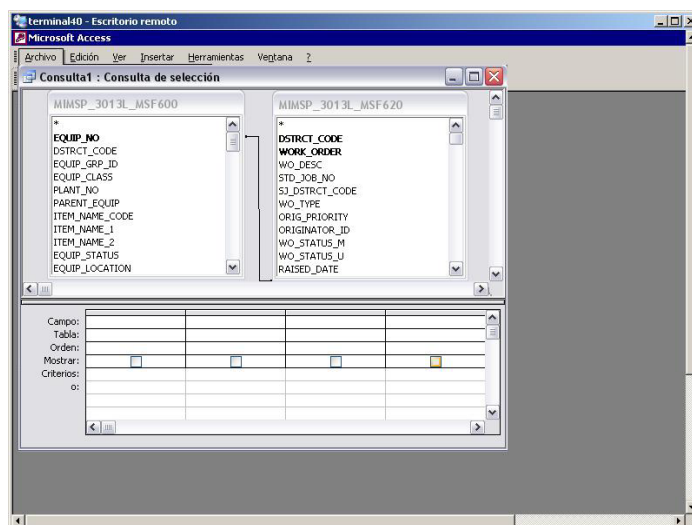
presentados en los equipos de la SMA), una vez realizado este paso la pantalla de Microsoft Access queda como en la figura 26.

Figura 26. Seleccionando las tablas en Terminal 40.



8. Paso: Ahora lo que sigue es realizar la consulta. Entonces se oprime la opción consulta/nuevo, anexando las 2 tablas anteriores (MIMSP_3013L_MSF600 y MIMSP_3013L_MSF626), y creando un enlace entre las 2 tablas el cual será el cuadro EQUIP_NO (Ver Figura 27).

Figura 27. Enlace entre MIMSP_3013L_MSF600 y MIMSP_3013L_MSF626 en Terminal 40.



9. Paso: Para poder iniciar la consulta es necesario explicar los campos a llenar de los mismo lo cual esta reflejado en la Tabla 5 y la figura 28.

Tabla 5. Descripción de la consulta en Microsoft Access

Ítem	Descripción
Campo	Lo que refiere al ítem de la tabla a consultar
Tabla	Tabla de referencia o consulta
Total	La forma en que se van a agrupar los eventos, puede ser por suma, cuenta, otros.
Orden	El orden en que se quiere que se muestre la consulta puede ser en ascendente o en descendente
Mostrar	Se refiere a que si el campo de consulta se muestre o no
Criterios	Son las palabras claves de la consulta

Figura 28. Campos de consulta en Microsoft Access.

The image shows a portion of the Microsoft Access query design grid. The labels on the left are: Campo:, Tabla:, Total:, Orden:, Mostrar:, and Criterios: o:. The grid consists of several empty rows for data entry. A small blue square is visible in the 'Mostrar' row, indicating a checkbox.

10. Paso: ahora lo que se necesita es entrar a construir la siguiente tabla, los campos a consultar serán explicados a continuación:

Tabla 6. Campos a consultar en Microsoft Access*.

Campo	EQUIP_NO	EQUIP_NO	MAINT_TYPE	COMP_CODE	INCIDENT_DESC
Tabla	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626
Total	Cuenta	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por
Orden					
Mostrar	Si	Si	Si	Si	Si
Criterios					
Campo	Izq([RAISED_DATE];4)	Medio([RAISED_DATE];5;2)	RAISED_DATE	Medio([PLANT_NO];11;10)	PLANT_NO
Tabla	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF600	MIMSP_3013L_MSF600
Total	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por
Orden					
Mostrar	Si	Si	Si	Si	Si
Criterios					
Campo	SHIFT	JOR_DUR_CODE	DSTRCT_WG		
Tabla	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626	MIMSP_3013L_MSF626		
Total	Agrupar por	Agrupar por	Agrupar por		
Orden					
Mostrar	NO	NO	NO		
Criterios	"E4"	"EUB"	"GCO IMCEMT"		

* Se puede consultar esta tabla por el Terminal40, ya que se le permitió el acceso a todos.

Campo 1. Es la expresión EQUIP_NO representa al equipo, se vincula con la tabla MIMSP_3013L_MSF626 porque esta representa la cantidad fallas que se ha presentado en ese equipo, se da además la orden al campo para que cuente cuantos registros presenta este equipo.

Campo 2. Es la expresión EQUIP_NO se vuelve a presentar para que refleje el nombre del equipo a que se le esta atribuyendo las fallas, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 3. Es la expresión MAINT_TYPE representa al tipo de mantenimiento que se le esta realizando al equipo cuando se detecto la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 4. Es la expresión COMP_CODE representa al componente del equipo que fallo, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 5. Es la expresión INCIDENT_DESC es una breve descripción de cómo se presenta la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 6. Es la expresión RAISE_DATE, en este campo refleja el año en que ocurre la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 7. Es la expresión RAISE_DATE en este campo refleja el mes en que ocurre la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 8. Es la expresión RAISE_DATE en este campo refleja el dia en que ocurre la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 9. Es la expresión PLANT_NO representa la cantidad de producción media cargada al equipo en el instante de la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF600.

Campo 10. Es la expresión PLANT_NO representa la cantidad de producción total que debe tener el equipo en el instante de la falla, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF600.

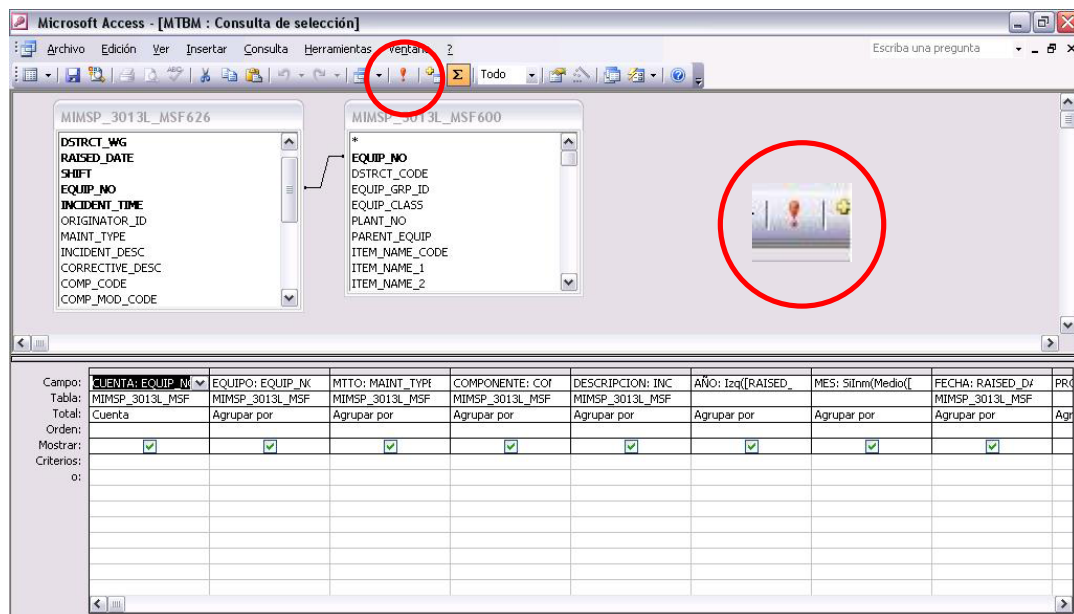
Campo 11. Es la expresión SHIT representa a la división de mantenimiento en la que esta cargado la falla del equipo, en esta no es necesario que se muestre por eso la casilla de mostrar esta desactivada, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626, para el ejemplo se selecciona E4 que significa soporte a planta y estaciones.

Campo 12. Es la expresión JOR_DUR_CODE la cual representa la sección encargada de realizar el trabajo de la falla en el equipo, en nuestro ejemplo será EUB que es la sección Unidades de Bombeo de El Centro, este campo es seleccionado de la tabla MIMSP_3013L_MSF626.

Campo 13. Es la expresión DSTRCT_WG que representa al Distrito de ECOPETROL S.A. que ha sido cargado y/o asignado.

11. Paso: una vez anexado toda la tabla lo siguiente es oprimir el botón ejecutar se puede ver en la figura 29.

Figura 29. Ubicación del botón ejecutar en Microsoft Access.

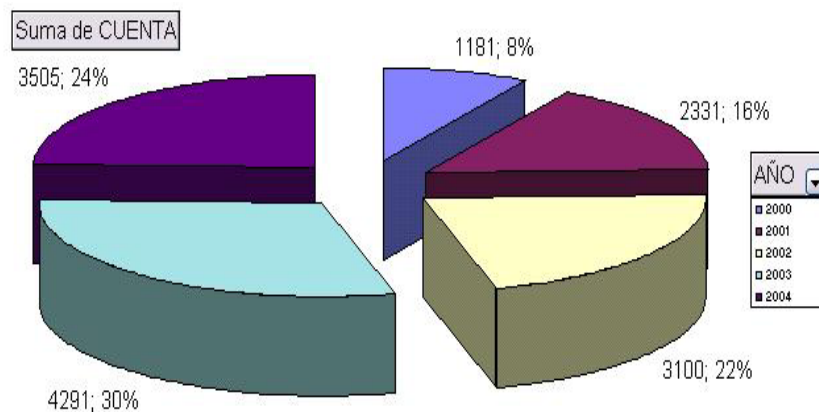


12. Paso: Después de que se hayan recopilado todos los datos se puede analizar con Microsoft Excel, lo cual permite realizar los diagramas de Pareto con más rapidez, esta opción se encuentra en Access en Herramientas/Vínculos con Office/Analizar con Microsoft Excel.

13. Paso: el paso que sigue es realizar los diagramas de Pareto mediante las tablas dinámicas en Microsoft Excel con los datos obtenidos de Microsoft Access. A continuación se ilustra un ejemplo de las gráficas que se pueden interpretar en las tablas dinámicas obtenidas a partir del Microsoft Excel*.

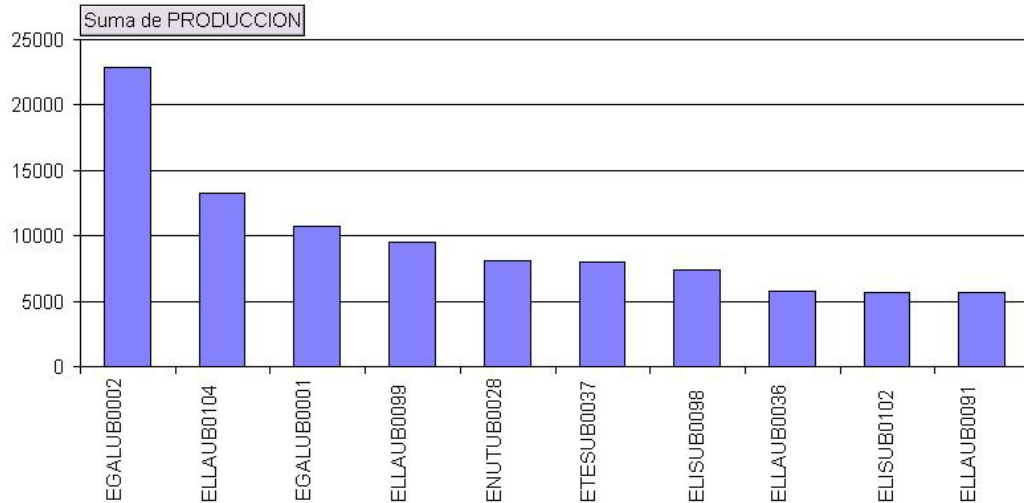
Del MIM's ELLIPSE se extrajeron 14408 registros de eventos de falla del año 2000 al 2004, se observa en la figura 30 que el año más crítico fue el 2003 con un total del 4291 representa un 30 %.

Figura 30. Porcentaje de eventos por años.



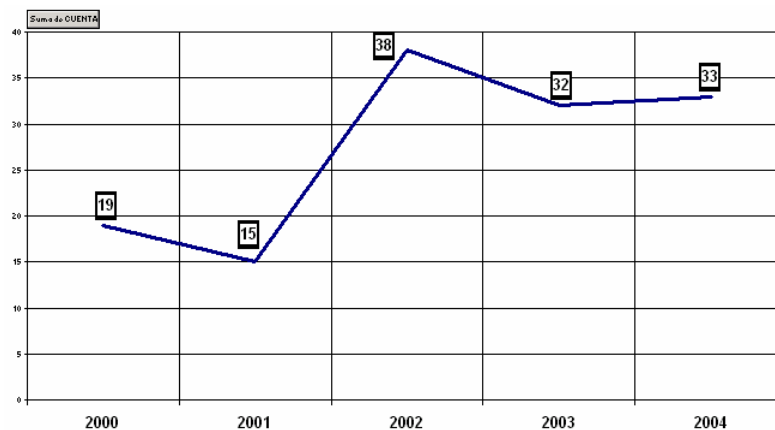
Los 10 pozos cuyos potenciales altos presentaron mayor pérdida en la producción total en el campo de la SMA durante esos 4 años se pueden observar en la figura 31.

Figura 31. Pozos con mayor frecuencia de falla y producción total alta.



De la figura 31 se puede notar que el pozo mas critico ha sido Gala 2, con una producción diaria de 168 barriles, se escogerá este pozo para realizar el ejemplo característico de los paretos y llegar así a los modos de falla, ya que fue el que tuvo mas impacto en la producción, mayor frecuencias de falla, y además es uno de los pozos mas productores del campo de la SMA*.

Figura32. Eventos X Años del pozo Gala2.



* En el anexo O se puede observar el informe completo del análisis de eventos realizados a la sección Unidades de Bombeo de la SMA.

* Según un estudio del Instituto Colombiano del Petróleo cada pozo tiene un comportamiento único y es por eso que este pozo se analizara solo.

En la figura 32 se puede observar la frecuencia con que falla el pozo en los años teniendo como el año que mas fallo el 2002 con 38 eventos de falla.

En la figura 33 se puede observar que el componente que más falla fue el MCRE, ver descripción en la tabla 7.

Figura 33. Componentes vs producción pedida por falla del año 2000-2004 en el pozo Gala 2.

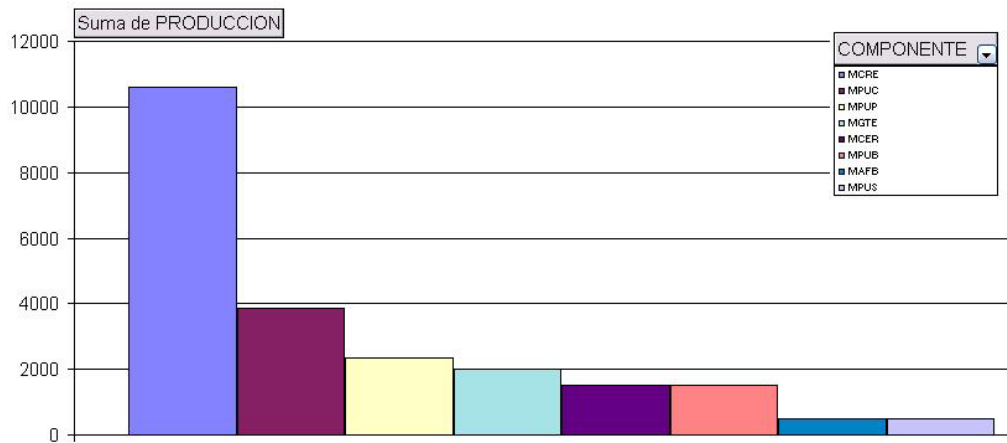
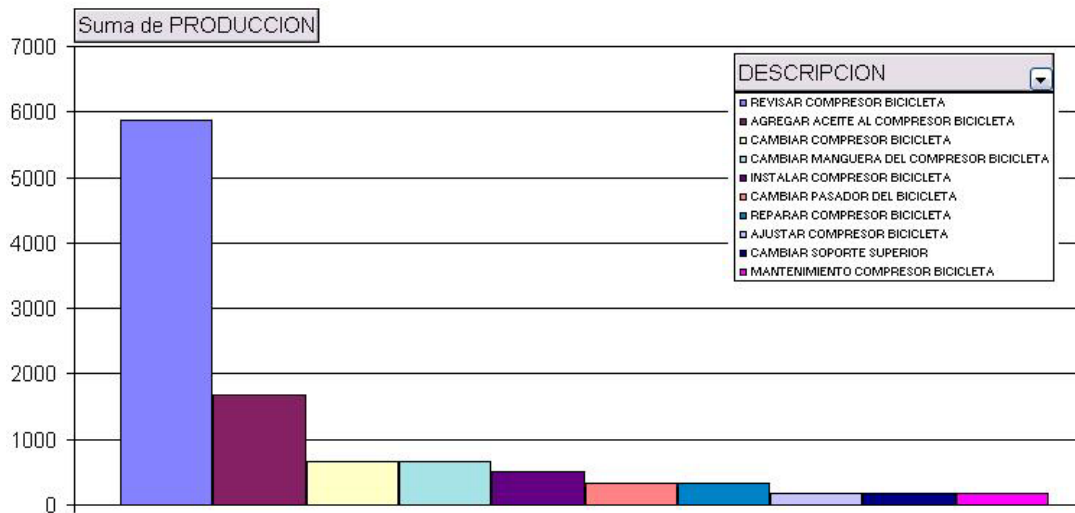


Tabla 7. Descripción de los componentes de las unidades de bombeo.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
MCRE	Compresor bicicleta
MPUC	Cilindro
MPUP	Pines
MGTE	Sistema de transmisión
MCER	Caja reductora
MPUP	Unidad estructural
MAFB	Sistema de freno
MPUS	Conjunto de chumaceras

Figura 34. Modo de falla vs producción pedida por falla del año 2000-2004 en el pozo Gala 2.



Debido al notable problema de este pozo en el compresor bicicleta (ver figura 34) se estableció un programa preventivo por lubricación a las unidades de bombeo, en el cual se basa en la lubricación del compresor bicicleta y revisión de fugas del sistema de flujo de aire dentro de la unidad.

5. ESTRATEGIA PARA LA IMPLANTACION DE LA METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE FALLA DE CAUSA RAIZ EN EL CAMPO DE LA SMA

El Análisis de Causa Raíz (RCA) es un proceso estructurado, consciente, enfocado y analítico que permite identificar las causas responsables de las fallas¹⁰. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada y como realizar su seguimiento. El RCA puede ser utilizado para la evaluación de cualquier problema. Por su estructura, el RCA es un proceso que consume tiempo y recursos por lo tanto se debe establecer desde un principio si el incidente ó problema requiere realizar ó no un estudio de RCA.

El la SMA se desarrollo la metodología del RCA mediante un proceso estructurado basados principalmente en las Normas ISO 14224:2004 que habla sobre la colección y el intercambio de datos de confiabilidad y de mantenimiento para los equipos de las industrias del petróleo y gas natural, y en la norma ISO 9001:2000(E) que habla de los requisitos de los sistemas de gestión de calidad.*

5.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN RCA EN EL CAMPO DE LA SMA.

Con el fin de saber si una falla requiere de un RCA, se debe evaluar basado en sus consecuencias, por ejemplo: fallas que involucren la integridad de las personas, las inversiones o infraestructura, el medio ambiente, la reputación de la empresa ó la combinación de varias o todas las anteriores.

¹⁰ LATINO Robert & LATINO Kenneth. Root Cause Analysis. 2 Edition.

* Estas normas pueden consultarse en el Anexo P. Introducción a las normas

Antes de poder decidir si hay que realizar un análisis de falla o no, se definieron 2 criterios en la empresa ECOPETROL S.A. para la valoración del RCA los cuales son la matriz para la definición de tipo de análisis de causa (Matriz de Severidad) y el análisis de pareto (FMEA).

5.1.1 Matriz de severidad. Se puede apreciar en la figura 35 y 36 la matriz de severidad* definida para la SMA. Al utilizar la matriz de severidad, inicialmente se deben establecer las consecuencias directas del incidente: Personas, Equipos, Producción, Ambiente y Reputación ó la combinación de varias. Luego se establece la probabilidad de que el incidente ocurra de nuevo. Con estos dos parámetros se identifica el cajón a que pertenece el incidente y se toma la acción de acuerdo con las guías relacionadas debajo de la matriz.

Figura 35. Anverso de la matriz de definición de tipo de análisis de causa raíz.

CONSECUENCIAS				FRECUENCIA			
Seguridad en Personas	Económica (M\$)	Impacto Ambiental (Bls)	Impacto en la Producción (Crudo / Gas)	Ha ocurrido 1 vez en 3 años	Ha ocurrido 1 vez en 2 años	Ha ocurrido 1 o más veces en 1 año	
				A	B	C	
Incapacidad Permanente, parcial o total - Fatalidad	> 50	> 30	> 200 bls > 2,3 MPC	5	H	H	H
Incapacidad temporal > 1 día	> 40 < 50	> 20 < 30	> 100 < 200 bls > 1,0 < 2,3 MPC	4	M	H	H
Lesión menor no incapacitante	> 20 < 40	> 5 < 20	> 50 < 100 bls > 0,5 < 1,0 MPC	3	M	M	H
Lesión leve Primeros Auxilios	< 20	< 5	< 50 bls < 0,5 MPC	2	L	M	M
Ninguna Lesión	Ningún Valor	Ningún Efecto	Ningún Impacto	1	L	L	L

* Se puede observar la matriz de severidad en el Anexo K.

La estimación de la consecuencia se basa en escenarios de “qué pudo ocurrir” y la estimación de la probabilidad se basa en información histórica de que tal escenario ocurrió en similares condiciones, sabiendo que las circunstancias nunca son exactamente las mismas.

Figura 36. Reverso de la matriz de definición de tipo de análisis de causa raíz.

ANÁLISIS DE LA FALLA					
COLOR	REPERCUSION DE LA FALLA	TOMA DE DECISIONES	PRIORIZACION DE LA ORDEN DE TRABAJO	EQUIPO INVESTIGADOR DE LA FALLA	PROCEDIMIENTO A SEGUIR
H	Alta	Gerente - Superintendente define equipo investigador.	Iniciar inmediatamente trabajo de Planeación y Programación en Ellipse.	Representante IMC responsable del Area afectada, Supervisor de Mantenimiento y Producción de esa Area e invitados (si se requiere).	RCFA. Analizar toda la información estadística del equipo, todas las versiones de la personas involucradas, establecer la metodología para llegar a la verdadera causa de la FALLA y lograr la solución definitiva. Asignar tareas y responsabilidades. Originar las recomendaciones y presentar reporte final a la Superintendencia para su implementación.
M	Media	Jefe de Departamento - Coordinador define equipo investigador.			Reporte de FALLA. Hacer el Análisis de la falla y presentar reporte escrito en formato preestablecido a Jefe de Departamento, Coordinadores e IMC .
L	Baja	Responsable del Área afectada o Supervisor, realizan la solución del problema.	Si se requiere, Planear y Programar de acuerdo a disponibilidad de recursos.	Supervisor y Operador del área afectada.	Solución del Problema sin estudio ni reporte adicional: Informar al Coordinador de su área. Documentar en Ellipse .

5.1.2 Análisis de Modos y Efecto de Falla (FMEA). El FMEA se desarrollo por primera en la industria aeroespacial y fue modificado para su uso industrial a medida del tiempo, se utiliza para analizar el costo y clasificar los problemas en orden de importancia económica mediante la regla 80-20 denominada Análisis de Pareto, en donde se establece que el 80% de los costos de las fallas son causados por el 20% de las fallas totales.

Para poder realizar un FMEA existe 6 pasos que son:

1. Trabajo preliminar: Definición de la falla, diagramas de flujo del proceso y análisis de brechas.
2. Recolección de datos: Costos de ordenes de trabajo, MTBF (tiempo promedio entre fallas), tiempo improductivo de la unidad, incidentes ambientales o de seguridad industrial, costos de mantenimiento, etc. Puede implicar entrevistas al personal
3. Resumen de Resultados: hoja de cálculo electrónica.
4. Calculo de perdidas.
5. Determinación de las “Pocas fallas Criticas” (Análisis de Pareto) y verificar los resultados.
6. Emitir un informe: Comunicar los resultados

No olvidar que en el análisis de Pareto las “pocas fallas Críticas”: son el 20% de las fallas y representan el 80% del costo total de las fallas, estas requieren:

- **Nivel Técnico de Ingeniería. En ocasiones de Tiempo Completo.**
- **Análisis de Causa Raíz de las Fallas RCFA.**
- **Extremadamente disciplinado.**
- **Alto nivel de atención a los detalles.**

Y las “muchas fallas no críticas”: son el 80% de las fallas y representan el 20% de los costos de las fallas, estas requieren:

- **Hora de Nivel de Supervisión. Siempre de tiempo parcial.**
- **Habilidades para resolver problemas de análisis de fallas.**
- **Menos atención a los detalles.**

A continuación se presentan las tablas de los Modos de Falla (Tabla 8) y de la Causa de Falla (Tabla 9) de los equipos críticos de la SMA. Estas tablas se realizaron teniendo en cuenta la norma ISO 14224.

Tabla 8. Modos de falla de los equipos críticos de la SMA

ITEM	CODIGO W4	DESCRIPCION	TIPO	Bomba Centrífuga	Bomba Reciprocante	Bomba Motor a Gas	Motogenerador	Compresor de tornillo	Compresor de Gas	Bomba reflujo	Turbina	TRADUCCIÓN
1	EXL	External leakage fluido proceso	NP	X	X	X		X	X	X		Fuga externa fluido de proceso
2	FTS	Failed to start	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Falla de arranque
3	FWR	Fail while running	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Falla mientras opera
4	HGF	High gas flow	NP									Alto flujo de gas
5	LGF	Low gas flow	NP									Bajo flujo de gas
6	NGF	No gas flow	NP									No hay flujo de gas
7	OHE	Overheating	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Sobrecalentamiento
8	OVH	Overhaul	P	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul - Mnto mayor
9	VIB	Vibration	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Vibración excesiva
10	ALK	Leakage on auxiliary systems	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Fuga en sistemas auxiliares
11	EXN	Excessive noise	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Ruido excesivo
12	FOF	Faulty output frequency	NP				X				X	Frecuencia de salida defectuosa
13	FOV	Faulty output voltage	NP				X				X	Voltaje de salida defectuoso
14	RPD	Reduced power delivery	NP				X				X	Potencia de salida reducida
15	SYN	Fail to synchronize	NP				X				X	Falla de sincronización
16	BBP	Break, breach of puncture	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Grieta, ruptura
17	FWE	Faulty weld	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Soldadura defectuosa
18	PLU	Plugged or clogged	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Taponamiento / bloqueado
19	INL	Internal leakage	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Pase interno
20	SCH	Inspección / Mnto programado	P	X	X	X	X	X	X	X	X	Inspección / Mnto programado
21	EMF	Falla externa de mantenimiento	EE	X	X	X	X	X	X	X	X	Falla externa de mantenimiento
22	FTF	Mal funcionamiento	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Mal funcionamiento
23	PDE	Parameter deviation	NP	X	X	X		X	X	X		Desviación de parametros (P,T,F,Q)
24	STD	Structural deficiency	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Deficiencia estructural
25	FOU	Fouling	NP	X	X	X	X		X	X	X	Ensuciamiento
26	IHT	Insufficient heat transfer	NP									
27	EOP	Erratic operation (fluctuation)	NP	X	X	X	X	X	X	X	X	Operación errática (fluctuación)
28	WKV	Workover	EB									Trabajos de producción

Tabla 9. Causa de falla de los equipos críticos de la SMA

ÍTEM	CODIGO W6	DESCRIPCION	DESCRIPCION INGLES	COMENTARIO
1	BKG	Rotura	Breakage	Fracture, breach, crack
2	BRS	Explosión	Burst	Item burst, blown, exploded, imploded, etc.
3	CAV	Cavitación	Cavitation	Relevant for equipment such as pumps and valves
4	CFM	Modo de falla común	Common failure mode	Several instrument items failed simultaneously, e.g. redundant fire and gas detectors
5	CON	Contaminación	Contamination	Contaminated fluid/gas/surface e.g. lubrication oil contaminated, gas detector head contaminated
6	COR	Corrosión	Corrosion	All types of corrosion, both wet (electrochemical) and dry (chemical)
7	CTL	Falla de control	Control failure	
8	DEF	Deformación	Deformation	Distortion, bending, buckling, denting, yielding, shrinking, etc.
9	EAR	Tierra / Falla de aislamiento	Earth/isolation fault	Earth fault, low electrical resistance
10	EFG	Falla eléctrica	Electrical failure- general	Failures related to the supply and transmission of electrical power, but where no further details are known
11	ERO	Erosión	Erosion	Erosive wear
12	EXT	Falla por influencia externa	External influence - general	The failure where caused by some external events or substances outside boundary, but no further details are known
13	FAC	Falla de alineamiento / tolerancia	Clearance/ alignment failure	Failure caused by faulty clearance or alignment
14	FAP	Sobretensión		
15	FAS	Señal / indicación / alarma defectuosa	Faulty signal/indication/alarm	Signal/indication/alarm is wrong in relation to actual process. Could be spurious, intermittent, oscillating, arbitrary
16	FPW	Potencia / voltaje defectuoso	Faulty power/voltage	Faulty electrical power supply, e.g. over voltage
17	FTG	Fatiga	Fatigue	If the cause of breakage can be traced to fatigue, this code should be used
18	INF	Falla de instrumentos	Instrument failure – general	Failure related to instrumentation, but no details known
19	LOO	Afijamiento / Piezas sueltas	Looseness	Disconnection, loose items
20	MAT	Falla de material	Material failure- general	A failure related to a material defect, but no further details known
21	MEC	Falla mecánica	Mechanical failure- general	A failure related to some mechanical defect, but where no further details are known
22	NOS	Sin señal / indicación / alarma	No signal/indication/alarm	No signal/indication/alarm when expected
23	NPW	Sin potencia / voltaje	No power/ voltage	Missing or insufficient electrical power supply
24	OOA	Fuera de ajuste	Out of adjustment	Calibration error, parameter drift
25	OPC	Circuito abierto	Open circuit	Disconnection, interruption, broken wire/cable

26	OVH	Sobrecalentamiento	Overheating	Material damage due to overheating/burning
27	PLU	Bloqueado / Taponado	Blockage/plugged	Flow restricted/blocked due to fouling, contamination, icing, etc.
28	SFT	Falla de software	Software failure	Faulty or no control/monitoring/operation due to software failure
29	SHC	Corto circuito	Short circuiting	Short circuit
30	STK	Adherencia	Sticking	Sticking, seizure, jamming due to reasons other than deformation or clearance/alignment failures

Tabla 9. Causa de falla de los equipos críticos de la SMA. Continuación

31	WER	Desgaste	Wear	Abrasive and adhesive wear, e.g. scoring, galling, scuffing, fretting, etc.
32	EXC	Pérdida de excitación		
33	OVS	Sobre velocidad	Overspeed	
34	PRO	Falla de protecciones	Protection failure	

En las tablas siguientes se pueden observar los FMEA's* desarrollado para:

- Las Unidades de Bombeo Mecánico (figura 37). FMEA ver tabla 10 y 11.
- Los Compresores de Gas (Ver figura 38). FMEA ver tabla 12 al 15.
- Unidades de Work Over (Reacondicionamiento, Varilleo y Limpieza de pozos). FMEA ver Anexo L de FMEA's.

Figura 37. Unidad de Bombeo Mecánico.

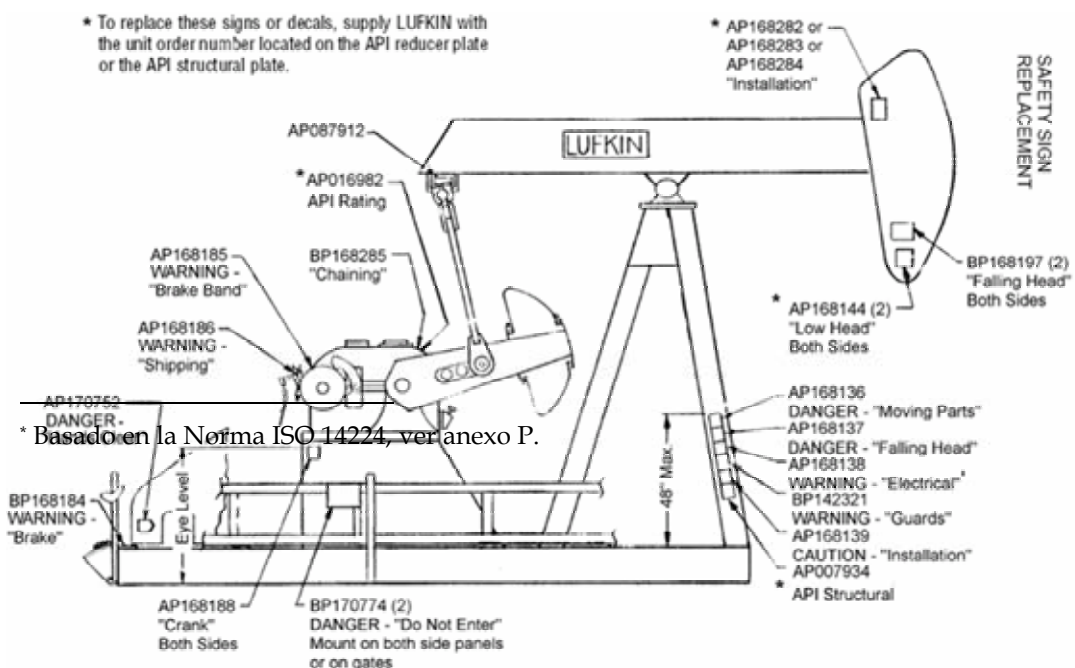
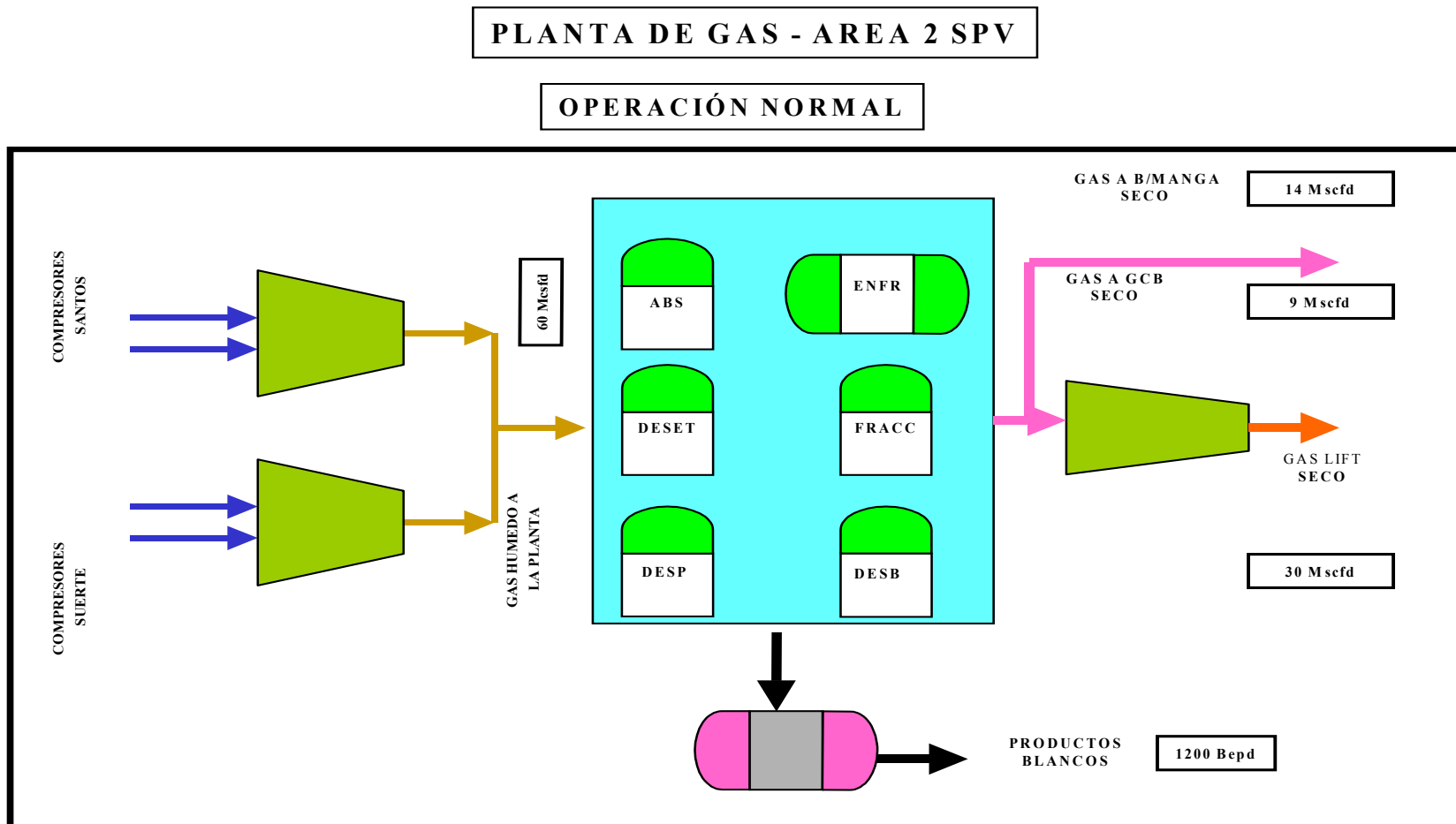


Figura 38. Planta de compresión de gas.



SPV: Santos Provincia.

Tabla 10. FMEA para el sistema eléctrico de las Unidades de Bombeo Mecánico de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMEA				DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MTTO.	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración por Unidad	WC
Caja de Control	Mal funcionamiento	FTS	Falla de Arranque	Impacta a la Producción	Por operaciones	7	5	5	175	Mantenimiento de la caja de control.	3 Meses	FLT	1 Hora	ELÉCTRICO
		FOV	Voltaje de Salida Defectuoso							Toma de Salida de Voltajes en la Caja de Control	Quincenal	EFG	1/2 Hora	
Motor Eléctrico	Vibración	FAC	Fuera de tolerancia/Desalineamiento	Impacta a la Producción	Por operaciones	7	4	6	168	Seguimiento a la tendencia de temperaturas en rodamientos.	Diariamente	FAC	1 Hora	MECÁNICO / ELÉCTRICO
		FTS	Falla de Arranque							Toma de vibraciones en rodamientos y carcasa	Mensual	BKG	1 Hora	

RPN: Numeric product request.

WC: work classification

Tabla 11. FMEA para el sistema de transmisión de potencia de las Unidades de Bombeo Mecánico de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MANTTO.	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración de la tarea	WC
Correas	Vibración ruido anormal	WER	1. Desgaste de las correas 2. Desalineamiento 3. Daños por terceros	Impacta producción,	Inspección por rutina del operador-Vibración y ruido	9	3	4	108	Rutina operaciones de inspección de las Unidades de Bombeo	Diaría	WER	1/4 Hora	MECÁNICO
										Rutina de mantenimiento de lubricación e inspección de las Unidades de Bombeo.	3 Meses		1 Horas	
Caja Reductora	Ruido anormal	WER	Desgaste (1. Correa destensionada. 2. Balineras dañadas. 3. Falla de sellos. 4. Aflojamiento de tuerca de ajuste del sello. 5. Bajo nivel de lubricante. 6. Ajuste excesivo. 7. Fugas de aceite. 8. Ruedas dentadas con dientes partidos.)	Impacta producción,	Inspección por rutina del operador-Vibración y ruido	9	3	5	135	Rutina operativa diaria inspección por fugas.	Diaría	WER	1 Hora	MECÁNICO
										Tendencia de los registros de tomas de aceite.	3 meses		2 Horas	

Tabla 11. FMEA para el sistema de transmisión de potencia de las Unidades de Bombeo Mecánico de la SMA.

Continuación.

COMPONENTE		CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
FUNCION	MODO DE FALLA	CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MANTTO.	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración de la tarea	WC
Caja Reductora	Mal funcionamiento	FTG	1. Rotura de eje 2. Fatiga de material. 3. Escapes de aceite. 4 Daños de sellos. 5. Daño de rodamientos.	Impacta producción,	Inspección por rutina del operador- Vibración y ruido	9	3	3	81	Rutina operativa diaria inspección por fugas. Registro de temperatura en carcasa y en rodamientos	Diaria	FTG	1 Hora	MECÁNICO
										Registro del nivel de vibración con equipo especial.	Mensual		2 Horas	
Todo el sistema	Mal funcionamiento	FTG	1. Rotura de Pines/ Desbalanceo/ Chumaceras Rotas.	Impacta producción,	Inspección por rutina del operador- Vibración y ruido	9	7	6	378	Mantenimiento rutinario preventivo según horas recomendadas por el fabricante	Por el Fabricante	WER		MECÁNICO
		BKG								RCFA Para problemas recurrentes y causas principales.	Cuando sea necesario			

Tabla 12. FMEA para el sistema de refrigeración de los compresores de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MTTO	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración por Unidad	WC
Intercambiador de Calor	Mal funcionamiento	PLU	Obstrucción tuberías	Falla Total	Por operaciones	5	5	5	125	Seguimiento a la tendencia de temperaturas de entrada y salida	Diariamente	PLU	1 Hora	MECANICO
		BKG	Rotura de tubos							Toma de perfil termografico	4 Meses	BKG	1 Hora	
Ventilador	Vibración	FAC	Fuera de tolerancia/Desa lineamiento	Falla Total	Por operaciones	7	5	5	175	Seguimiento a la tendencia de temperaturas en rodamientos.	Diariamente	FAC	1 Hora	MECANICO
		BKG	Rotura de Correas							Toma de vibraciones en rodamientos y carcasa	Mensual	BKG	1 Hora	
Acople	Vibración	FAC	Fuera de tolerancia/Desa lineamiento	Falla Total	Por operaciones	7	3	5	105	Toma de vibraciones en rodamientos y carcasa	Mensual	FAC BKG	1 Hora	MECANICO

Tabla 13. FMEA para el sistema de compresión de los compresores de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad	WC
Compresor	Falla mientras funciona	MEC	Daño mecánico bomba lubricación	Falla Total	Por operaciones	6	4	6	144	Seguimiento parámetros operacionales (presión de lubricación)	Diaria	MEC	1 Hora	MECANICO
			Cheque de bomba pegado							Toma de vibraciones a la bomba de lubricación	2 Meses		1 Hora	
		Mantenimientos basado en RCM, según horas recomendada por el fabricante y CBM	TBD											
	Vibración	FAC	Fuera de tolerancia válvulas de succión	Falla Parcial	Por operaciones	7	5	5	175	Seguimiento a la tendencia de datos operacionales del compresor (temperaturas en válvulas de succión).	Diaria	FAC	1 Hora	MECANICO
		LOO	Tornillos de anclajes sueltos o flojos							Toma de vibraciones en rodamientos y carcasa	Mensual	LOO	8 Horas	
										Toma de datos de desempeño con equipo especial de monitoreo Beta Analyzer.				

Tabla 14. FMEA para el sistema motriz de los compresores de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MTTO	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración por Unidad	WC
Motor Principal	Falla mientras funciona	MEC	Daño mecánico culatas	Falla Parcial	Por operaciones	6	7	5	210	Seguimiento parámetros operacionales(temperaturas de cilindros; presión del carter; relación aire combustible)	Diaría	MEC	1 Hora	MECANICO
			Daño en el sistema de ignición							Toma de datos de desempeño con equipo especial de monitoreo Beta Analyzer	2 Meses		8 Horas	
		Mantenimientos basado en RCM, según horas recomendada por el fabricante y CBM	TBD											
	Vibración	FAC	Fuera de tolerancia desalineamiento	Falla Parcial	Por operaciones	7	5	5	175	Toma de vibraciones en carcasa y anclajes	Mensual	FAC	1 Hora	MECANICO
		LOO	Tornillos de anclajes sueltos o flojos									LOO	2 Horas	


Tabla 15. FMEA para el sistema auxiliares de los compresores de la SMA.

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	VALORACION FMECA				DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO				
		CODIGO	DESCRIPCION			SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Causa de Falla que se controla	Tiempo duración por Unidad	WC
Gobernador	Falla mientras funciona	OOA	Fuera de ajuste	Falla Parcial	Por operaciones	4	5	5	100	Ajuste según mantenimiento preventivo basados en RCM y horas de mantenimiento recomendadas por el fabricante	TBD	OOA	5 Horas	MECANICO
		WER	Desgaste en los piñones							Seguimiento parámetros operacionales (velocidad) rpm	Diariamente	WER	1 Hora	


5.2 PROCEDIMIENTOS PARA EL RCA EN LA SMA

Para realizar un procedimiento se baso en la norma ISO 9001:2000(E), el cual dio origen a un formato estándar para la creación de procedimientos en la SMA* (Ver figura 39).

Figura 39. Formato estándar para la creación de procedimientos en la SMA.



[NOMBRE DEL DEPARTAMENTO]
[NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO]
[NUMERO ASIGNADO AL PROCEDIMIENTO]



Reemplazar la información en [] por la información del procedimiento a desarrollar.

1. **OBJETIVO:**
[Se describen los objetivos del procedimiento a elaborar.]
2. **ALCANCE:**
[Hace referencia al grado de aplicabilidad que tiene el procedimiento dentro de la compañía.]
3. **DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**
[Consiste en una lista de definiciones de los términos o abreviaturas que se consideren importantes para brindar claridad al documento.]
4. **RESPONSABILIDADES**
[Se describe explícitamente las responsabilidades que asumen los distintos cargos involucrados en la manipulación y ejecución del presente procedimiento.]
5. **HERRAMIENTAS Y EQUIPO**
[Se especifican detalladamente las herramientas y equipo necesario para la ejecución del trabajo. En los equipos de medición se debe hacer referencia al sistema de metrología]
6. **PRECAUCIONES DE SALUD Y SEGURIDAD**
[Se hace referencia al programa de peligros y riesgos afectado; cómo se impacta y cómo se controla]
7. **DESCRIPCIÓN Y ACTIVIDADES**
[Es la descripción detallada de los pasos y actividades requeridas para la ejecución del trabajo, incluyendo los criterios de aceptación.]
8. **CRITERIOS DE ACEPTACION**
(Se debe colocar los parámetros que permiten aceptar el trabajo realizado con las respectivas unidades o normas)
9. **ASPECTOS AMBIENTALES**
[Se hace referencia al programa ambiental afectado; cómo se impacta y cómo se controla.]
10. **DOCUMENTOS DE REFERENCIA**
[Se mencionan los documentos que tienen referencia o complementan el procedimiento en desarrollo.]
11. **ANEXOS**
[Lista de los anexos que soportan o ayudan a interpretar el procedimiento en desarrollo.]
12. **REGISTRO DE REVISION**
[Se completa la información de la siguiente tabla, teniendo presente que su utilización es solo para el control del documento.]

Revisión No.	Fecha de Revisión	Autoridad	Autor	Detalles de la Revisión	Custodio	Vigencia

Nota:
El número de este formato "RM-QA1-GE-11" indicado en el encabezado debe ser borrado una vez se diligencie este documento. De igual manera una vez se diligencie el pie de pagina del procedimiento, eliminar el nombre, fecha y paginación definida en el pie de pagina para el formato.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Formato: Clasificación de Procedimientos Rev. 1

[FECHA]

17/1/2016

[PAGINACIÓN]

1 de 1

El formato consta de las siguientes partes:

- La primera parte es un encabezado y pie de página como se muestra en la figura 40, estos son actualizables ya que solo requiere cambiar la información de los corchetes ([]). El número asignado debe ser referenciado con la continuidad que se lleve en el departamento, de igual manera una vez se diligencie el pie de pagina del procedimiento, se debe eliminar el nombre, la fecha y paginación definida en el pie de pagina para este formato estándar.

Figura 40. Encabezado y pie de pagina para los procedimientos en la SMA.

Encabezado		
	[NOMBRE DEL DEPARTAMENTO] [NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO] [NUMERO ASIGNADO AL PROCEDIMIENTO]	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER 
Pie de página		
[Colocar NUMERO DEL PROCEDIMIENTO y Rev. #]	[FECHA]	[PAG “x” de “y”]
Formato Creación de Procedimientos Rev. 2	3/21/2006	1 de 2

- La segunda parte es el cuerpo del formato que consta de la descripción total del porque se requiere este formato, describiendo a su vez los objetivos, alcances, responsabilidades entre otras. Al igual que la primera parte aquí también se requiere remplazar la información en los corchetes ([]) por la información del procedimiento a desarrollar. Se puede observar un formato totalmente diligenciado en la figura 41.

1. OBJETIVO:



[Se describen los objetivos del procedimiento a elaborar.]

2. ALCANCE:

[Hace referencia al grado de aplicabilidad que tiene el procedimiento dentro de la compañía.]

* También puede consultarse en el Anexo Q creación de procedimientos.

Figura 41. Ejemplo para el formato de procedimiento totalmente diligenciado.

	Departamento de Mantenimiento de Mares Procedimiento Implementación de Acciones RCA	
---	--	---

1. **OBJETIVO**
 Implementar todas las acciones recomendadas en el Reporte Final de un RCA o un Reporte de Falla, con el fin de eliminar las causas raíz de un evento de falla o minimizar sus consecuencias.
2. **ALCANCE**
 Comprende todos los trabajos y acciones remediabiles recomendadas por un análisis RCA o un Reporte de Falla. Se realiza cada vez que se aprueben y validen los resultados y recomendaciones de un RCA o un Reporte de Falla.
3. **DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**
 Ver Vocabulario de Definiciones y Abreviaturas de Confiabilidad.
4. **RESPONSABILIDADES**
 Ingeniería / Proyectos / Personal O&M:
 Implementar en el tiempo requerido las acciones recomendadas por un Análisis de Causa Raíz.
5. **HERRAMIENTAS Y EQUIPO**
 Ordenes de Trabajo, Proyectos de Ingeniería y Mantenimiento, Procedimientos, etc.
6. **PRECAUCIONES DE SALUD Y SEGURIDAD**
 N.A.
7. **DESCRIPCIÓN Y ACTIVIDADES**
 - 7.1. A partir de las recomendaciones del Análisis de Causa Raíz y la asignación de sus responsables, se crearán las correspondientes Ordenes de Trabajo, se desarrollarán proyectos, se prepararán procedimientos y en general se desarrollarán actividades tendientes a implementar las recomendaciones según corresponda.
 - 7.2. Cada una de las personas responsables de las diferentes acciones pendientes deben reportar quincenalmente su porcentaje de avance y comentarios. Al completar la implementación de una acción determinada se debe reportar el costo de esta.
 - 7.3. Las recomendaciones se deben implementar de manera que resulte efectivo el mejoramiento continuo. Esto implica proactividad en lugar de reacción ante la próxima falla.

 El Jefe de Departamento respectivo será el encargado de asegurar que se retiren los obstáculos del camino con miras al éxito del Proceso de Análisis de Causa Raíz.
8. **ASPECTOS AMBIENTALES**
 N.A.
9. **DOCUMENTOS DE REFERENCIA**
 N.A.
10. **ANEXOS**
 N.A.
11. **REGISTRO DE REVISIÓN**

Revisión No.	Fecha de Revisión	Autoridad	Autor	Detalles de la Revisión	Custodio	Vigencia
0			EPI-IMC	Creación	Confiabilidad	1 año

Proced. Implementación de Acciones RCA Re 0.0
3/2 1/2005
1 de 1

3. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

[Consiste en una lista de definiciones de los términos o abreviaturas que se consideren importantes para brindar claridad al documento.]

4. RESPONSABILIDADES

[Se describe explícitamente las responsabilidades que asumen los distintos cargos involucrados en la manipulación y ejecución del presente procedimiento.]

5. HERRAMIENTAS Y EQUIPO

[Se especifican detalladamente las herramientas y equipo necesario para la ejecución del trabajo. En los equipos de medición se debe hacer referencia al sistema de metrología]

6. PRECAUCIONES DE SALUD Y SEGURIDAD

[Se hace referencia al programa de peligros y riesgos afectado; cómo se impacta y cómo se controla]

7. DESCRIPCIÓN Y ACTIVIDADES

[Es la descripción detallada de los pasos y actividades requeridas para la ejecución del trabajo, incluyendo los criterios de aceptación.]

8. CRITERIOS DE ACEPTACION

[Se debe colocar los parámetros que permiten aceptar el trabajo realizado con las respectivas unidades o normas.] Para estos formatos se basaron en la Norma ISO 9001:2000(E).

9. ASPECTOS AMBIENTALES

[Se hace referencia al programa ambiental afectado; cómo se impacta y cómo se controla.]

10. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

[Se mencionan los documentos que tienen referencia o complementan el procedimiento en desarrollo.]

11. ANEXOS

[Lista de los anexos que soportan o ayudan a interpretar el procedimiento en desarrollo.]

12. REGISTRO DE REVISION

[Se completa la información de la siguiente tabla, teniendo presente que su utilización es solo para el control del documento]

Revisión No.	Fecha de Revisión	Autoridad	Autor	Detalles de la Revisión	Custodio	Vigencia

5.2.1 Procedimiento Selección de Técnica de Análisis de Causa. Este procedimiento aplica para el análisis de los eventos de falla presentados en los equipos críticos del Departamento de Mantenimiento de Mares. Se realiza trimestralmente y/o cada vez que se produzca una falla esporádica de impacto significativo. Además tiene como objetivo determinar los eventos de falla que serán analizados mediante la técnica RCA (Análisis de Causas Raíz), teniendo en cuenta su impacto en seguridad, daños a equipos o instalaciones, costos de reparación, medio ambiente y/o producción. Ver anexo A.

5.2.2 Procedimiento Definición Términos de Referencia (TOR) y Equipo RCA. Este procedimiento aplica para el análisis de los eventos de falla presentados en los equipos críticos del Departamento de Mantenimiento de Mares. Comprende desde la definición de los Términos de Referencia hasta la determinación de los integrantes del Equipo RCA. Se realiza cada vez que se determine que existe un evento de falla que deba ser analizado utilizando la metodología RCA. Tiene como objetivo definir los Términos de Referencia para especificar los objetivos y el alcance de un RCA, y seleccionar los integrantes del Equipo RCA, teniendo en cuenta las implicaciones particulares del evento de falla que va a ser analizado usando la técnica RCA. Ver Anexo B.

5.2.3 Procedimiento Ejecución Análisis de Causa Raíz. Este procedimiento comprende desde la definición precisa del evento de falla, el Compromiso y los Factores Críticos de Éxito (CSF) del análisis, la identificación de sus causas raíz (física, humana y latente), hasta la determinación de las recomendaciones tendientes a eliminar la falla. Esto se realiza cada vez que se determine que existe un evento de falla que debe ser analizado utilizando la metodología RCA. Tiene como objetivo identificar la(s) causa(s) raíz de una falla esporádica clasificada en la región roja de la Matriz de Definición de RCA o de una falla crónica considerada dentro de las “pocas significativas”, mediante el empleo de la técnica RCA, y determinar recomendaciones tendientes a eliminar la ocurrencia de una falla y/o minimizar los efectos de la misma. Ver anexo C.

5.2.4 Procedimiento Preparación Reporte Escrito RCA. Este procedimiento comprende la documentación de todos los aspectos involucrados en el RCA, desde la definición de los compromisos y estrategias de recopilación de

información, hasta la determinación de las recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia del evento. Esto se ejecuta una vez el equipo RCA finalice el análisis. Tiene como objetivo emitir un documento formal para obtener el compromiso de la gerencia en la implementación de las recomendaciones del análisis RCA. Ver Anexo D.

5.2.5 Procedimiento Validación Reporte Escrito RCA. Este procedimiento comprende desde la entrega del reporte preliminar del RCA por parte del líder del Equipo RCA hasta su validación por parte del Coordinador de Mantenimiento. Se realiza cada vez que un Equipo RCA finalice un análisis. Tiene como objetivo garantizar la veracidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos por el Equipo RCA durante el análisis de cada evento de falla. Ver Anexo E.

5.2.6 Procedimiento Presentación Reporte Escrito RCA a la Gerencia. Este procedimiento comprende la presentación del Reporte Final del RCA a la Gerencia, cada vez que un equipo finalice un análisis RCA. Tiene como objetivo dar a conocer las conclusiones y recomendaciones del RCA a la Gerencia y obtener su compromiso para la implementación de las acciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla. Ver Anexo F.

5.2.7 Procedimiento Asignación de Acciones RCA. Este procedimiento comprende la asignación de responsables de la implementación de acciones del RCA y la validación de la fecha de entrega de cada acción. Se realiza cada vez que se valide un análisis RCA con la Gerencia. Tiene como objetivo asignar los responsables de la implementación de recomendaciones de RCA y acordar con ellos la fecha objetivo de culminación de cada acción. Ver anexo G.

5.2.8 Procedimiento Implementación de Acciones RCA. Este procedimiento comprende todos los trabajos y acciones remediabiles recomendadas por un análisis RCA o un Reporte de Falla. Se realiza cada vez que se aprueben y validen los resultados y recomendaciones de un RCA o un Reporte de Falla. Tiene como objetivo implementar todas las acciones recomendadas en el Reporte Final de un RCA o un Reporte de Falla, con el fin de eliminar las causas raíz de un evento de falla o minimizar sus consecuencias. Ver anexo H.

5.2.9 Procedimiento Seguimiento Implementación de Acciones RCA. Este procedimiento comprende el cargue, en el Failure Tracking System (FTS), de las acciones definidas en los diferentes Análisis de Causa Raíz realizados y el seguimiento del desarrollo, ejecución e implementación de las mismas. También incluye el reporte de cumplimiento y cierre de las acciones de cada uno de los análisis. Quincenalmente se debe dar un informe del avance de las tareas pendientes registradas en el FTS. Tiene como objetivo realizar el seguimiento de las acciones y recomendaciones establecidas en los diferentes Análisis de Causa Raíz, mediante la utilización del FTS, para asegurar su implementación efectiva. Ver Anexo I.

5.2.10 Procedimiento Ejecución y Revisión del Reporte de Falla. Este procedimiento comprende desde la definición precisa del evento de falla hasta la determinación de sus causas raíz y recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla. Se realiza cada vez que se determine que un evento requiere la ejecución de un Reporte de Falla, de acuerdo a la Matriz de Definición del Tipo de RCA. Tiene como objetivo identificar las causas raíz y determinar recomendaciones y acciones correctivas de fallas clasificadas en

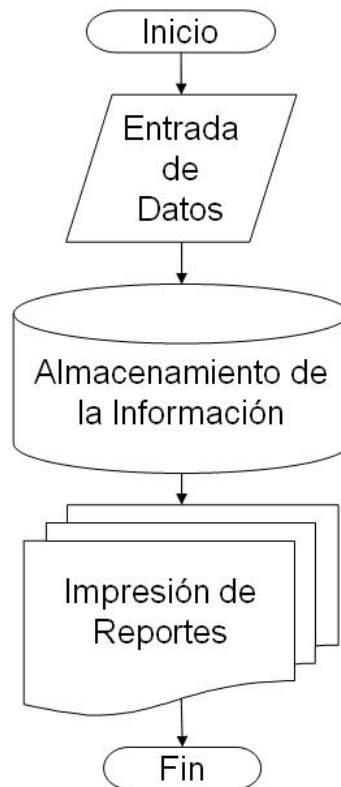
la región amarilla, de acuerdo a la Matriz de Definición del Tipo de RCA, utilizando el Reporte de Falla. Ver anexo J.

5.3 PROPUESTA DEL FAILURE TRACKING SYSTEM (FTS) PARA LA SMA*.

El FTS es software que realiza el seguimiento de acciones de un análisis de causa raíz (RCA), y que además imprimir reportes de las acciones y/o seguimientos. El FTS debe permitir la entrada de datos, como el almacenamiento del mismo, además al final debe imprimir reportes, el diagrama de flujo que debe tener la estructura del FTS se muestra en la figura 42. Un software de este tipo es aplicado en los campos de provincia y se utiliza actualmente, el funcionamiento del FTS propuesto (el del campo de provincia) será explicado a continuación:

Figura 42. Flujo de los datos en el FTS.

* En la carpeta de programas se deja un demo de la empresa RMS Ltda. del FTS.



Se debe tener un registro y password para poder entrar al programa, al entrar se pueden realizar reportes o administrar datos, (ver figura 43). En la parte de los reportes* se puede acceder a (ver figura 44):

- Ver análisis de falla con acciones.
- Porcentaje % de avance análisis.
- Acciones pendientes por campo y disciplinas.
- Acciones por Ing. RT. (Realibility Team)
- Gráficas estadistas. (Por disciplina y/o planta)
- Resumen.

Figura 43. Entrando al FTS.

* Se puede ver las hojas tipo del reporte, según el FTS en el Anexo N

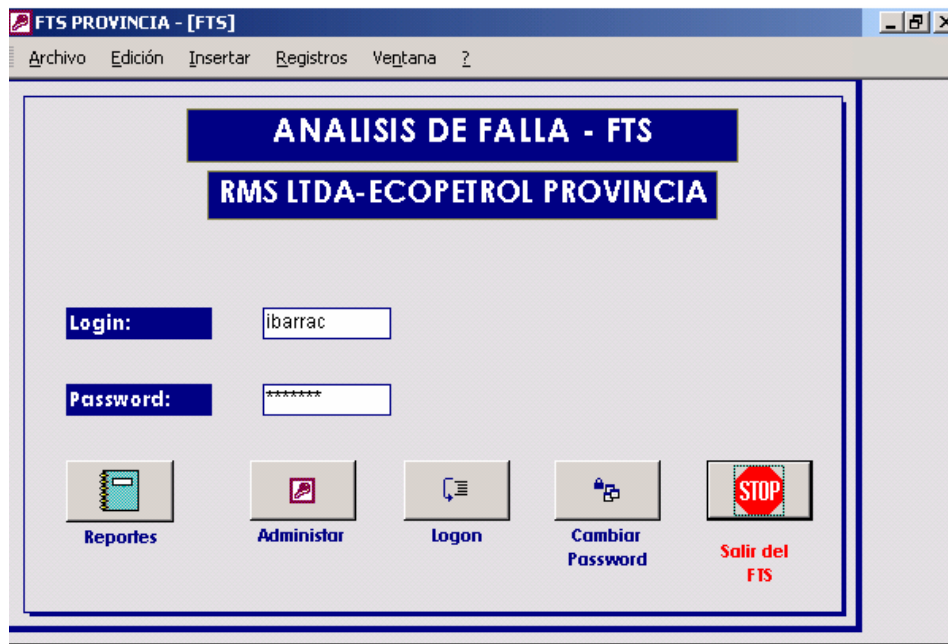


Figura 44. Reportes posibles en el FTS.



Si entra en la parte de administración de la figura 43, veremos el siguiente pantallazo. (Ver figura 45).

Figura 45. Administración de datos en el FTS.



En la administración de datos se puede acceder a los siguientes campos:

- Creación y/o modificar usuarios: hace referencia al usuario que se le permite el acceso con sus parámetros de acceso al programa.
- Creación y/o modificar de los equipos: hace referencia al tag del equipo con su descripción, localización y tipo de objeto.
- Creación y/o modificar de los parámetros: permite crear los niveles que los usuarios se les permitirá. (Administradores y/o consultares).
- Creación y/o modificar las disciplinas: hace referencia al tipo de disciplina encargada del equipo ejemplo: eléctricos-ELE, aires acondicionados-AAV, etc.
- Creación y/o modificar RCA: hacen referencia al RCA que se va a realizar o modificar, aquí es donde se cargan las acciones y los responsables de estas acciones, además en la parte superior consta de un encabezado con

todos los datos referente al equipo, localización, tipo de análisis, la clase de falla, frente ejecutor, estimativo del costo, entre otras. (Ver figura 46).

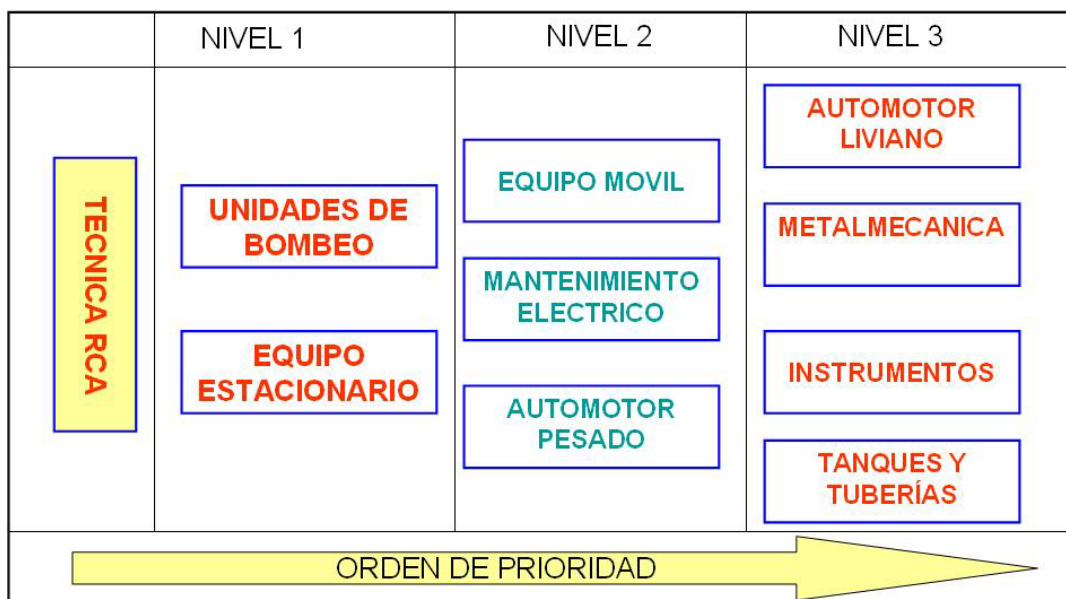
- Creación y/o modificar clase de falla: hace referencia a la ubicación en la matriz de severidad.
- Creación y/o modificar tipos de objetos: hace referencia a la planta en donde esta referenciado el equipo.
- Creación y/o modificar tipos de falla: hace referencia al tipo de análisis se debe hacer (reporte de falla, RCA, Otros seguimientos).
- Creación y/o modificar cargos: hace referencia al cargo que tiene la persona encargada de las acciones del RCA, usuarios, etc.
- Creación y/o modificar localizaciones: hace referencia hacia el tag de las plantas.

Figura 46. Creación y/o modificación del RCA en el FTS.

5.4 FLUJO DEL RCA EN LA SMA.

En la SMA se define que para el proceso de implantación debe existir un flujo que lleve la técnica del RCA a todas las secciones del Departamento de Mantenimiento de la SMA. Este flujo se estableció teniendo en cuenta los equipos críticos a cargo de cada una de las secciones, arrojando como resultado el siguiente diagrama (Ver figura 47).

Figura 47. Flujo de implantación de la técnica RCA para el Departamento de Mantenimiento de la SMA.



Se tiene que para el Departamento de Mantenimiento de la SMA 3 niveles para todas las secciones del mismo.

- Primer Nivel: Se tienen 2 secciones que son Unidades de Bombeo (UB) y Equipo Estacionario (EE). La sección UB porque es la encargada de mantener

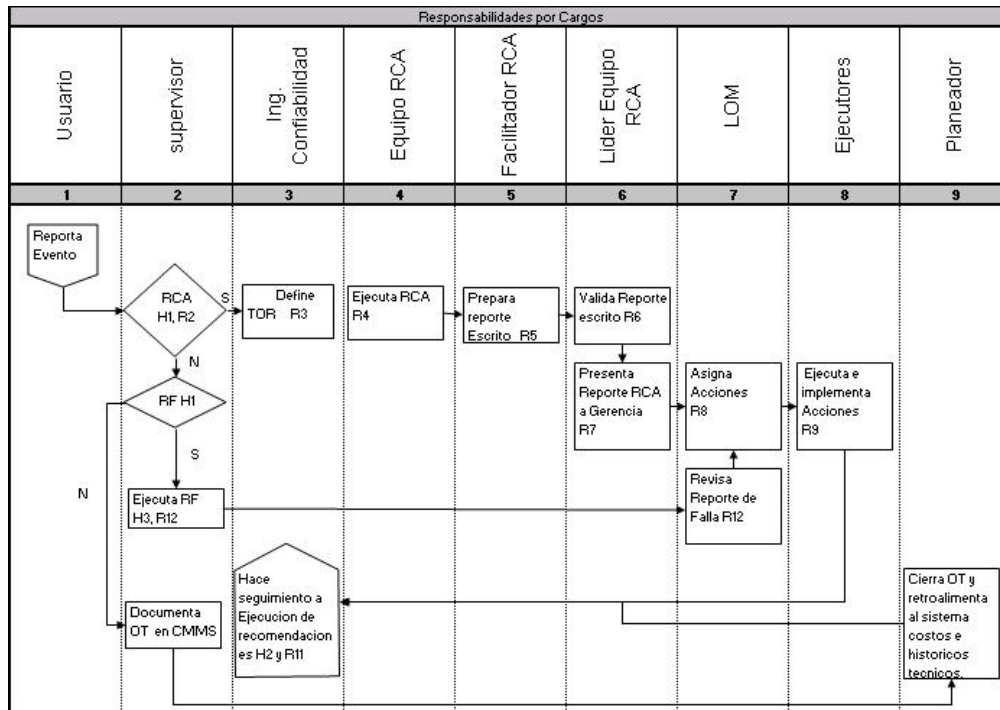
la confiabilidad de los machines (Unidades de bombeo mecánico) al 100%, que a su vez están dentro del primer escalafón de la producción y ha presentado en los últimos 4 años un registro de aproximadamente de 13000 eventos de falla*; la sección EE por que es la encargada de mantener la confiabilidad de las estaciones de recolección y tratamiento de crudo y gas, plantas compresoras de gas, de proceso, captación, tratamiento e inyección de agua y las demás instalaciones de la Superintendencia de Operaciones De Mares.

- Segundo Nivel: Se encuentran 3 secciones que son Equipo Móvil (EM), Mantenimiento Eléctrico (ME), y Automotor Pesado (AP). La sección ME va ligada de la mano con la de UB y EE, solo que el índice de registro de eventos de fallas no llega a 10000 en los últimos 4 años, la sección EM está a cargo de los equipos de reacondicionamiento de pozos, que a su vez le dan soporte necesario de limpieza y varilleo de los pozos, y de ultimo tenemos a Automotor Pesado que es la encargada de los vehículos de carga.
- Tercer Nivel: Se encuentran las secciones que su gran personal son terceros (Contratistas), ya que a ellos entregan un informe de daños mensual.

Figura 48. Diagrama de Flujo de caracterización del proceso RCA para la SMA*.

* Es consultado al CMMS MIMS ELLIPSE de ECOPETROL-SMA.

* Este diagrama de puede consultar en el Anexo M.



Para caracterizar el proceso RCA en la SMA se realizó un diagrama de flujo (Ver figura 48) en el se involucra las personas dentro del proceso RCA, las herramientas necesarias para su aplicación, gestión y seguimiento, y además tiene las referencias que hace base a los procedimientos descrito en secciones anteriores que también esta enlazada en la tabla 16.

Tabla 16. Caracterización del Proceso RCA.

Herramientas Requeridas::	Indicadores del Proceso		
H1-Matriz de decisión	Nombre	Formula	Meta
H2-FTS (Failure Tracking System)	Cumplimiento	$(\# \text{ RF Ejecutados} / \text{ RF Requeridos}) \times 100\%$	>80%
H3: Formato de Reporte de Falla			
H4: Formato de Seguimiento de Ejecución de Análisis de falla.			
Referencias:	Cumplimiento	$(\# \text{ RCA Formales Ejec.} / \# \text{ RCA Formales Requ.}) \times 100\%$	>90%
R2-Selección técnica RCA; R3-P. TOR; R4- P. Ejecución RCA			
R5-P. Preparación Reporte Escrito RCA; R6-P. Validación Reporte Escrito RCA			
R7-P. Presentación Rep. Escrito RCA a Gerencia; R8-Asignación Acciones RCA			

R9-P. Implementación de Acciones de RCA; R11: Seguimiento e implementación de acciones RCA; R12-P. Ejecución y Revisión De Reporte de falla.			
---	--	--	--

Notas de la tabla 15:

- 1) Las herramientas son relacionadas en cada una de las actividades utilizando la letra "H" seguida del número consecutivo correspondiente dentro de la caracterización. Ej.: H1, H2. La descripción de la herramienta se realiza en el campo "Herramientas Requeridas". Ej: H1: Matriz de decisión.
- 2) Las Referencias son relacionadas en cada una de las actividades utilizando la letra "R" seguida del número consecutivo correspondiente dentro de la caracterización. Ej: R1, R2. La descripción de las referencias se realiza en el campo "Referencias". Ej: R1: Procedimiento Control Documentos.
- 3) El campo "Meta" se define en términos porcentuales, siendo 100% el máximo valor permitido.

5.5 FORMATOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL RCA EN LA SMA

Para poder comenzar la implantación del RCA en el campo de la SMA se deben tener formatos y/o formularios que nos permitan tener los registros de los diferentes problemas y/o acciones que se deben tomar para el proceso RCA.

5.5.1 Formato de Captura de Paradas de Equipos Críticos. Este formato es aplicado a todos los eventos de paradas presentados en los equipos críticos de las plantas y estaciones de la SMA, se debe realizar con una frecuencia diaria.

Tiene como objetivo recolectar la información relacionada con todos los eventos de paradas de los equipos críticos. El responsable de la acción es el operador de la planta y el ingeniero de confiabilidad.

Cada vez que un equipo crítico presente una parada por cualquier razón, el operador de planta deberá recopilar la información relacionada con este evento que al finalizar el turno lo deberá entregar al ingeniero de confiabilidad, utilizando este formato el cual incluye (ver tabla 17):

- **Registro del operador:** identificación interna del operador
- **No. Equipo:** tag o identificación del equipo donde se presenta el evento de parada.
- **Fecha parada DD/MM/AAAA:** Fecha en que para el equipo (formato día/mes/año).
- **Hora parada HH:MM:SS:** Hora exacta en que para el equipo (formato hora: minuto: segundo).
- **Fecha arranque DD/MM/AAAA:** Fecha en que arranca el equipo una vez solucionada la falla (formato día/mes/año).

- **Hora arranca HH:MM:SS:** Hora exacta en que para el equipo (formato hora: minuto: segundo).
- **Modo de falla:** la manera observada como falla el equipo, de acuerdo a la norma ISO 14224. El operador deberá consignar la sigla del modo de falla, de acuerdo al listado de códigos de modos de falla que fueron expuesto anteriormente.
- **Causa de Falla:** es la forma en que se presento la falla en el equipo, de acuerdo a la norma ISO 14224. El operador deberá consignar la sigla de la causa de falla, de acuerdo al listado de códigos de causa de falla que fue expuesto anteriormente.
- **Comentario relacionado con la falla:** el operador deberá consignar de manera precisa la información relacionada con el evento de parada, posible causa inmediata o razón por la que paro el equipo, componente que falló (si aplica), acción de mantenimiento ejecutada, etc.

5.5.2 Formato de seguimiento de acciones del RCA en la SMA*. Este formato es aplicado a todas las acciones definidas en los diferentes Análisis de Causa Raíz realizados y el seguimiento del desarrollo, ejecución e implementación de las mismas necesarias para culminar un RCA en la SMA. También incluye el reporte de cumplimiento y cierre de las acciones de cada uno de los análisis, se debe realizar con una frecuencia de cada reunión del grupo de RCA. Tiene como objetivo realizar el seguimiento de las acciones y recomendaciones establecidas en los diferentes Análisis de Causa Raíz. El responsable de la acción es el ingeniero de confiabilidad. El formato tiene las siguientes casillas de datos de entrada ya que es un formato automático (Microsoft Excel) en hoja electrónica (ver tabla 18):

* También se puede consultar como hoja electrónica en la carpeta de programas del CD.

- **Fuente:** es la Sección de donde vino la información.
- **No.** El consecutivo de la fuente.
- **Acción:** lo que se debe realizar.
- **Área estratégica:** es el área donde se va a realizar el seguimiento de las acciones.
- **Responsable del área:** el encargado del área estratégica.
- **Responsable de la acción:** a quien se le atribuye la acción.
- **Fecha de inicio:** es la fecha de la reunión.
- **Fecha de compromiso:** es la fecha en la cual se comprometió el responsable de la acción.
- **Comentario / estado:** es la parte específica donde se va a realizar la acción.
- **Fecha de completamiento:** es cuando el compromiso o acción se ejecuto al 100 %.
- **Importancia:** se debe decir si es alto, medio o de baja importancia la acción.

5.5.3 Formato de reporte de falla de la SMA. Este formato es aplicado a la definición precisa del evento de falla hasta la determinación de sus causas raíz y recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla (Se puede ver su presentación como formato en el anexo M), se debe realizar con una frecuencia de cuando se determine que se debe realizar un reporte de falla a la Gerencia. Tiene como objetivo permitir presentar un reporte de falla donde se pueda identificar las causas raíz y determinar recomendaciones y acciones correctivas de fallas. El responsable de llenar el reporte es el Supervisor de la disciplina donde se presentó la falla que después debe ser validado por el ingeniero de confiabilidad. El formato tiene los siguientes aspectos*:

1. INFORMACIÓN GENERAL						
Reporte	Preliminar		Final		Actualizado (dd/mm/aa)	
Tipo de Reporte de Falla	Reactivo		Proactivo		Fecha:	
Nombre del Evento					OT CMMS:	
Preparado por				Disciplina		
Equipo (TAG)		Componente o Ítem que Fallo				
Fecha de Evento		Hora Parada		Horómetro Equipo		
Fecha de Arranque		Horra Arranque		Horómetro Componente		
Pérdidas de Producción (BlS)		Pérdidas US\$		Ambiente (BlS)		
Quema de Gas (KPC)		Seguridad		Calificación Matriz		
Ingeniero de Confiabilidad que Revisa el Reporte						

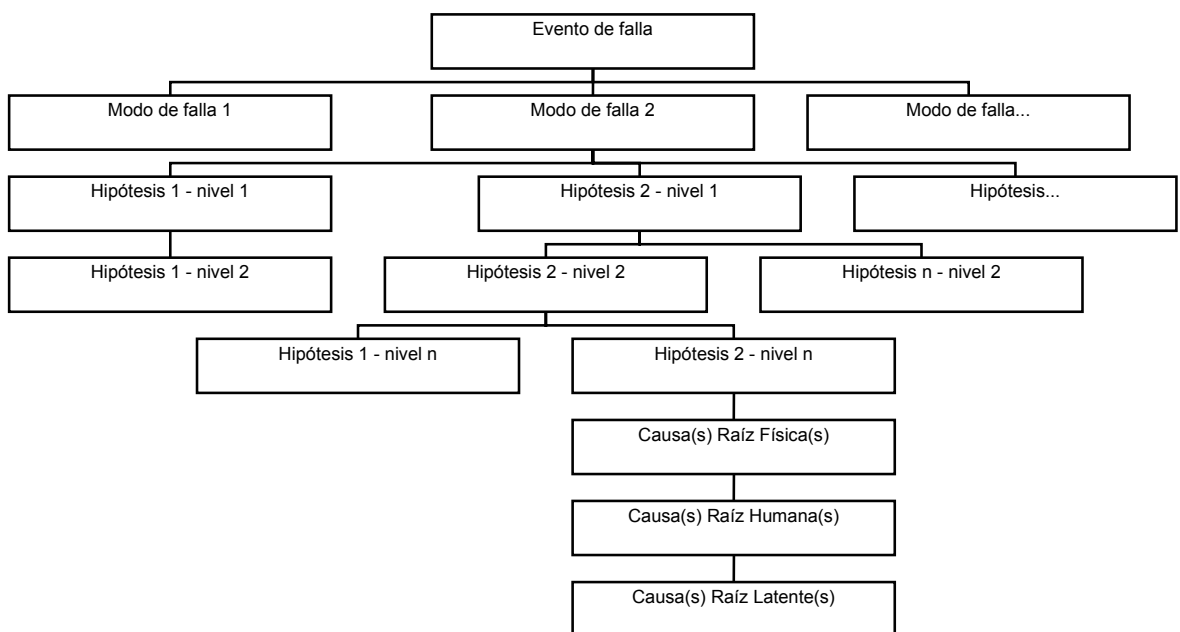
* Para llenarlo correctamente ver procedimiento Ejecución y Revisión del Reporte de Falla. Anexo J.

2. HECHOS (Antecedentes): Se deben enumerar los antecedentes antes de la falla, mostrando en ellos la información en los últimos reportes de mantenimientos realizados en el equipo.

3. SECUENCIA DE EVENTOS DE LA FALLA: Se debe listar la secuencia cronológica desde la identificación de falla hasta la normalización, permitiendo así clarificar la falla.

4. LISTA DE ALARMAS: Se debe anexar si tiene información de alarmas registradas relevantes.

5. ANÁLISIS DE LA CAUSA RAIZ DE LA FALLA: Se debe realizar el árbol lógico de falla, que muestre claramente y secuencialmente los modos de falla, hasta las hipótesis, sin descartar cualquier idea aunque suene absurda.



6. ACCIONES DE VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS: Se debe documentar las acciones realizadas para verificar las hipótesis de falla. Estas acciones deben ser registradas en el formato de seguimientos de acciones (LSA) de RCA.

	Modo de Falla	Hipótesis de Falla	Acción de Verificación	Responsable	Fecha de Cumplimiento	Comentario
1						
2						
3						
4						

7. RECOMENDACIONES: Se debe documentar las recomendaciones para eliminar la recurrencia del evento de falla.

	Causa Raíz	Recomendaciones	Prioridad	Responsable	Fecha de Cumplimiento	OT
1						
2						
3						
4						

5.6 MATRICES PARA LA IMPLANTACIÓN DEL RCA EN LA SMA

Para culminar la etapa de la estrategia de implantación del RCA en el campo de la SMA, se realizaron matrices para poder determinar cuando se debe realizar un RCA, para priorizaciones de trabajos, y para el entrenamiento y el uso de las herramientas del proceso (Todas las matrices pueden observarse en su formato original en el anexo K).

5.6.1 Matriz de severidad. La matriz de la severidad se determino con base en reuniones efectuadas con el grupo de trabajo de confiabilidad del Departamento de Mantenimiento de la SMA; ella esta dividida en 2 partes que son consecuencias y frecuencias, para las consecuencias se determino que la:

- Seguridad de las personas: estas casillas esta definida por la OHSAS 18001 cuyo enfoque es el bienestar de los trabajadores, permitiendo a su vez prevenir, reducir y controlar los riesgos que afectan la seguridad y la salud de los trabajadores. Para el 5 Nivel Incapacidad Permanente, parcial o total – Fatalidad, 4 Nivel Incapacidad temporal > 1 día, 3 Nivel Lesión menor no incapacitante, 2 Nivel Lesión leve Primeros Auxilios, 1 Nivel Ninguna Lesión.
- Económica: en ella se afecto el impacto que se le da a la ubicación y compra del repuesto, costo de espera del repuesto y su clasificación fue la siguiente: para 5 nivel mayor de \$50 millones, 4 Nivel entre 40 y 50 millones, 3 Nivel entre 20 y 40, 2 Nivel menor a \$ 20 millones, 1 Nivel Ninguna perdida económica.
- Impacto ambiental: basado en la norma ISO 14001 cuyo enfoque es el medio ambiente, proponiendo a su vez buenas practicas para prevenir, reducir y controlar los aspectos ambientales causados por las operaciones petroleras y el cumplimiento de la normativa ambiental. Para ella se

estableció que para 5 Nivel las perdidas de crudo deben ser mayor de 30 barriles, 4 Nivel entre 20 y 30 barriles, 3 Nivel entre 5 y 20 Barriles, 2 Nivel menor a 5 barriles, 1 Nivel Ninguna perdida de crudo al ambiente.

- Impacto en la producción: para ella se tuvo en cuenta la producción de crudo y de gas en el campo de la SMA en las cuales para el 5 Nivel se tomo aproximadamente el 10% de la producción, teniendo entonces que para el 5 nivel mayor a 200 barriles o 2,3 millones de pies cúbicos de gas (Mpc), 4 nivel entre 100 y 200 barriles o entre 1 y 2,3 Mpc, 3 Nivel entre 50 y 100 barriles de crudo o entre 0,5 a 1 Mpc de gas, 2 nivel menos de 50 barriles de crudo o menos de 0,5 Mpc de gas, 1 nivel ningún impacto.

Para la parte de las frecuencias ya está predeterminada y son:

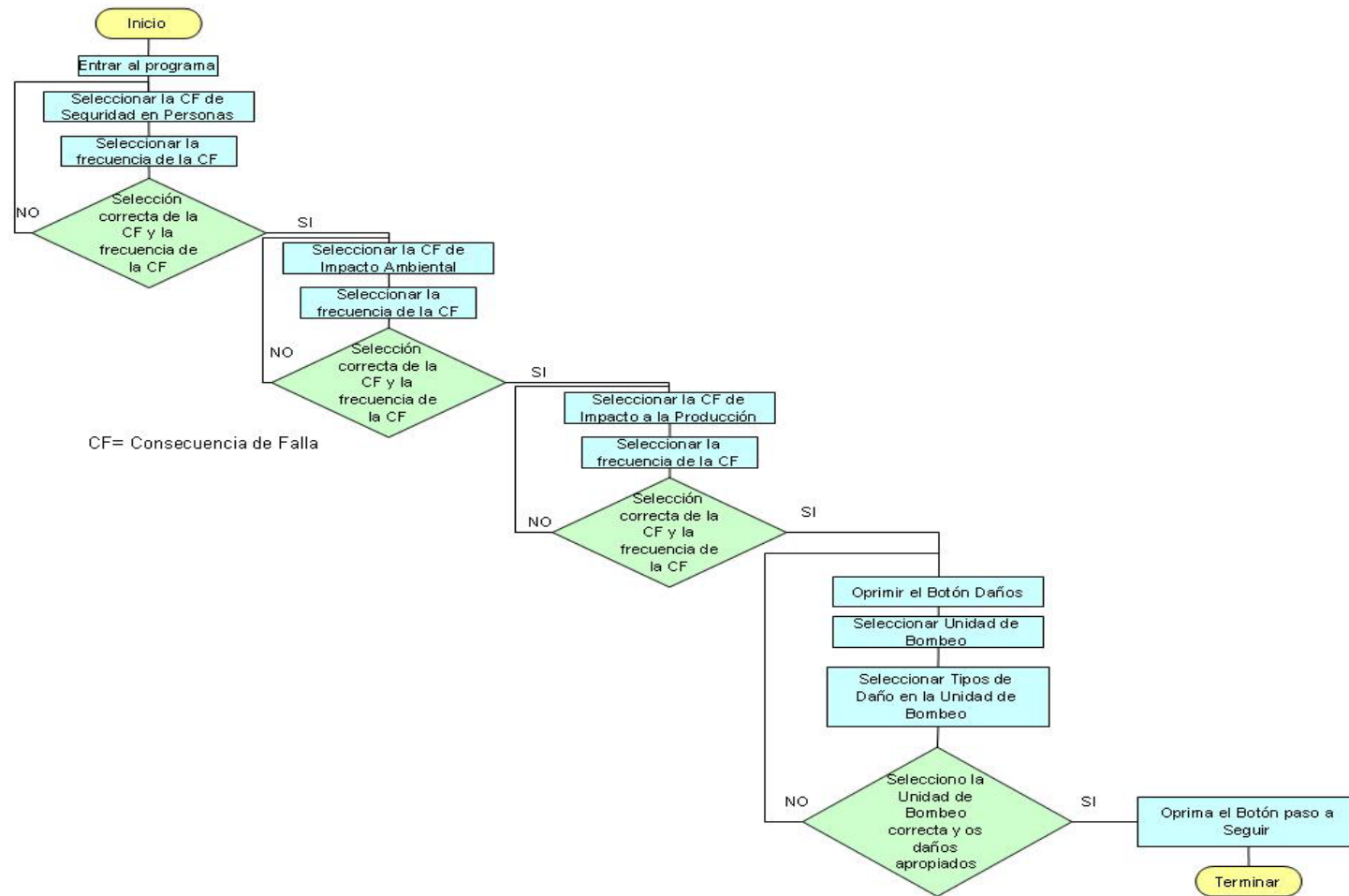
A: ha ocurrido 1(una) vez en 3 (tres) años.

B: ha ocurrido 1(uno) vez en 2 (dos) años.

C: ha ocurrido 1(una) o mas veces en 1 (un) año.

La matriz de severidad se puede ver en la figura 35 citada con anterioridad o si no remitirse al anexo K. En el Departamento de Mantenimiento se desarrollo un programa tipo aplicado para las unidades de bombeo mecánico para determinar cuando se debe realizar un RCFA, un Reporte de Falla o solo documentar en el CMMS MIM's ELLIPSE, este programa tiene una tablas de valores de los repuestos utilizados en las fallas características de las unidades de bombeo (Sacadas directamente del CMMS MIM's ELLIPSE), enlazadas con las del modo de falla de la unidad y el componente de falla. La ruta del programa es E:/Programas/Pro UB.xls. El diagrama de flujo del para trabajar el programa se puede ver en la figura 49:

Figura 49. Diagrama de flujo del programa tipo.



5.6.2 Matriz de causas raíces latentes. La causa raíz latente es “la deficiencia en los sistemas gerenciales de información¹¹” entre ellos se encuentra:

- Los aspectos culturales de las instalaciones.
- Programas de capacitación.
- Procedimientos operativos y de mantenimiento.
- Reglas y políticas de seguridad.
- Estándares nacionales e internacionales.

Para definirla se realizó un grupo de trabajo con el grupo de IMC en el cual no se tolero la cultura en la que se ignoraban los procedimientos, aunque haya una política establecida, esto también es error del sistema. Al detectar y modificar los problemas en el sistema de manejo no solamente evitaran que vuelva a ocurrir una sola falla, sino que posiblemente evitara una serie de otras fallas. Esta matriz por su extensión se dividió en 2 tablas las cuales son la tabla 19 y 20.

¹¹ Documento de confiabilidad, www.ingeman.net

Tabla 19. Matriz de causas latentes Parte A.

1	Transferencia de y/o conocimiento	2	Gerencia, supervisión, y/o liderazgo del empleado.	3	Selección y vigilancia de los contratistas	4	Ingeniería y diseño
1.1	Transferencia inadecuada del conocimiento:	2.1	Responsabilidades conflictivas	3.1	No se realiza previamente una evaluación de la capacidad del contratista	4.1	Inadecuado diseño técnico.
	. Sin habilidad para comprender		. No se definen claramente las relaciones entre supervisor y empleado	3.2	Inadecuada evaluación de la capacidad del contratista.		. ¿El diseño de referencia es incorrecto?
	. El instructor no posee la capacidad adecuada		. No se asigna la responsabilidad claramente, la asignación de la responsabilidad es conflictiva	3.3	Inadecuada selección del contratista.		. No se dispone del diseño de referencia
	. Equipo de capacitación inadecuado		. No se delega la autoridad suficiente o es inadecuada	3.4	Se emplean contratistas no aprobados.		. El diseño del rendimiento es inadecuado
	. Se interpretan incorrectamente las instrucciones		2.2	Liderazgo inadecuado	3.5		Falta de vigilancia del trabajo
1.2	No se recuerda correctamente lo aprendido en la capacitación		. No se establecen normas para el desempeño o no se ponen en práctica	3.6	Inadecuada vigilancia del trabajo	. Falta de claridad del diseño	

	. No se refuerza la capacitación en el trabajo		. No se definen en forma adecuada las responsabilidades	3.7	Otros		. El diseño es incorrecto
	. No se refrescan los conocimientos con la debida frecuencia		. Se provee información incorrecta o inadecuada acerca del desempeño del empleado		No aplica		. El diseño es inconsistente
1.3	No se hace el esfuerzo necesario para capacitar el personal		. Se conducen auditorias en forma inadecuada de los centros de trabajo				. No se revisa independientemente el diseño

Tabla 19. Matriz de causas latentes Parte A. Continuación.

1	Transferencia de entrenamiento y/o conocimiento	2	Gerencia, supervisión, y/o liderazgo del empleado.	3	Selección y vigilancia de los contratistas	4	Ingeniería y diseño
	. Diseño inadecuado del programa de capacitación		. Se promueven inadecuadamente aspectos relacionados con la seguridad			4.2	Las normas, especificaciones y/o criterios para el diseño son inadecuados
	. Objetivos y/o metas inadecuadas de la capacitación	2.3	Medidas correctivas inadecuadas para incidentes y riesgos ya identificados.			4.3	No se evalúan adecuadamente las posibles fallas
	. Orientación inadecuada del nuevo empleado	2.4	Identificación inadecuada de los riesgos en el área de trabajo.			4.4	Inadecuado diseño ergonómico.
	. Capacitación inicial inadecuada	2.5	No se manejan adecuadamente la gestión de cambio			4.5	Inadecuada supervisor de la construcción,
	. Métodos inadecuados para evaluar las capacidades del empleado	2.6	Sistema inadecuado para reportar e investigar incidentes.			4.6	Inadecuada evaluación del estado de preparación para iniciar operaciones.

1.4	No se ofrecen programas de capacitación	2.7	Inadecuada o ningún tipo de reuniones de seguridad.					4.7	Inadecuada supervisión de las operaciones iniciales.	
	. No se identifica la necesidad de capacitar al empleado		2.8					La evaluación o el método para medir el desempeño son inadecuados.	4.8	La evaluación y/o documentación sobre cambios realizados es inadecuada
	. Los archivos sobre los cursos de capacitación son incorrectos o caducos		2.9					Otros	4.9	Otros
	. Se introducen nuevos métodos sin capacitar al empleado							No aplica		No aplica
1.5	Otros									
	No aplica									

Tabla 20. Matriz de causas latentes Parte B.

5	Planeación del trabajo	6	Compra, administración y control de materiales	7	Herramientas y equipo	8	Reglamentos de trabajo, políticas, normas y procedimientos (RPNP)	9	Comunicación
5.1	Inadecuado planeamiento del trabajo.	6.1	Se recibe mercancía equivocada	7.1	No se realiza una evaluación adecuada de riesgos y necesidades.	8.1	Falta de RPNP para las labores:	9.1	Falta de comunicación entre compañeros
5.2.	Inadecuado mantenimiento preventivo		. Se dan especificaciones incorrectas al vendedor	7.2	Inadecuada consideración de los factores humanos y ergonómicos.		. No se asigna la responsabilidad de quien hace cumplir los RPNP	9.2	Inadecuada comunicación vertical entre supervisor y empleado.
	. No se evalúa adecuadamente la necesidad de prestar servicio de mantenimiento.		. Se dan especificaciones incorrectas en la solicitud de compra	7.3	Normas especificaciones inadecuadas		Falta de análisis del factor de seguridad en el desarrollo de las labores	9.3	Inadecuada comunicación entre diferentes organizaciones.
	. Servicio y lubricación	. No se mantiene un control adecuado de los cambios en los pedidos.	7.4.	Inadecuada disponibilidad.	. El análisis del factor de seguridad en el desarrollo de las labores es inadecuado.	9.4	Inadecuada comunicación entre grupos de trabajo.		

	. Ajuste y ensamblaje		. No se autoriza la sustitución	7.5.	Inadecuado programa de reparación y mantenimiento.	8.2.	Inadecuado desarrollo de las RPNP.	9.5	Inadecuada comunicación entre dos turnos.
	. Limpieza y recubrimiento		. Se aceptan productos que no llenan los requisitos adecuados	7.6.	Inadecuada manera de eliminar y hacer overhaul.		. Falta de coordinación con el proceso o diseño del equipo	9.6	Inadecuados métodos de comunicación.
5.3.	Inadecuado mantenimiento por reparación		. No se verifica la aceptación del producto	7.7.	Inadecuada manera de eliminar o reemplazar materiales no apropiados.		. No se consulta a los empleados en el desarrollo de los RPNP	9.7	No existe un método de comunicación
	. La necesidad de una reparación	6.2	Inadecuada investigación sobre los materiales y equipos.	7.8	No se mantiene registro del equipamiento.		. No se definen las acciones correctivas en forma apropiada.	9.8	Las instrucciones son incorrectas
	. El establecimiento de los horarios de mantenimiento.	6.3	Inadecuado medio de transporte.	7.9	El registro del equipo es inadecuado		. Los formularios no son fáciles de usar	9.9	Falta de comunicación debido a cambios de personal

Tabla 20. Matriz de causas latentes Parte B. continuación.

5	Planeación del trabajo	6	Compra, administración y control de materiales	7	Herramientas y equipo	8	Reglamentos de trabajo, políticas, normas y procedimientos (RPNP)	9	Comunicación
	. La revisión de partes	6.4	Inadecuada manipulación de los materiales	7.10	Otros	8.3	Los RPNP no se ponen en práctica debido a deficiencias.	9.10	Inadecuada comunicación de las regulaciones de seguridad, medio ambiente y salud.
	. La sustitución de partes	6.5	Inadecuado almacenaje de los materiales		No aplica		. Requisitos contradictorios	9.11	No se usa terminología estandarizada
5.4	Deterioro y desgaste excesivo.	6.6	Inadecuado empaque de los materiales				. Formato confuso	9.12	No se usan técnicas de verificación y repetición.
	. No se planea adecuadamente su uso.	6.7	Se vence la duración del material o producto				. Más de una acción por paso	9.13	Instrucciones muy largas.
	. Se prolonga el servicio del equipo	6.8	Inadecuada identificación de los materiales peligrosos.				. No se provee espacio para colocar el visto bueno	9.14	Hay interferencia en la comunicación

	. No se carga adecuadamente	6.9	Manera inadecuada de guardar o desechar los materiales.				. La secuencia de los pasos a seguir no es exacta	9.15	Otros
	. Es manejado por personal que no está capacitado para usarlo	6.10	Inadecuado uso de los datos de seguridad, salud y medio ambiente.				. Las instrucciones a seguir son confusas		No aplica
	. Se utiliza en labores para las cuales no ha sido diseñado.	6.11	Otros				- Se cometen errores técnicos o no incluyen todos los pasos		
5.5	Se usan manuales y referencias inadecuadas.		No aplica				. Se utilizan demasiadas referencias		
5.6	Inadecuado control, inspección y auditoria.						. No se incluyen situaciones que podrían presentarse		
	. Falta de documentación.					8.4.	No se hace cumplir con los RPNP en forma adecuada.		
	. Falta de asignación de personal que corrija las anomalías encontradas.						. No se controla el trabajo en forma adecuada.		

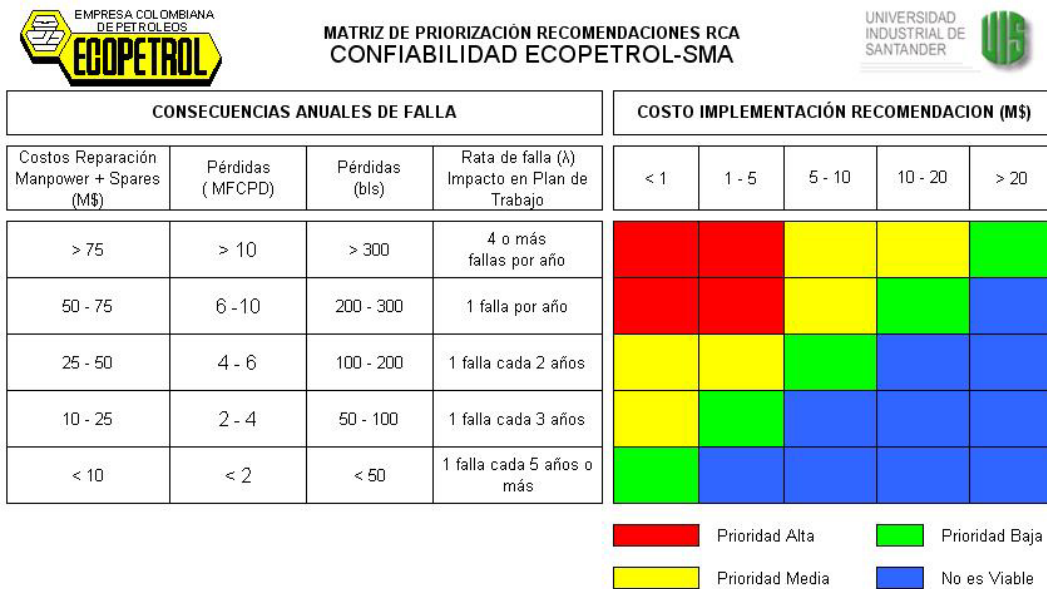
Tabla 20. Matriz de causas latentes Parte B. continuación.

5	Planeación del trabajo	6	Compra, administración y control de materiales	7	Herramientas y equipo	8	Reglamentos de trabajo, políticas, normas y procedimientos (RPNP)	9	Comunicación
	. No se responsabiliza al encargado de hacer las correcciones.						. Falta de experiencia o conocimiento por parte del supervisor.		
5.7.	Inadecuada asignación de funciones.						- No se hace énfasis acerca del cumplimiento de los RPNP		
	. No se identifica al personal apropiado						. No se hace un llamado de atención por incumplimiento de los RPNP		
	. No se dispone del personal apropiado					8.5.	Inadecuada comunicación acerca de los RPNP.		
	. No se provee personal apropiado						- La distribución a los equipos de trabajo es incompleta		

5.8.	Otros						- La traducción a los idiomas pertinentes es incompleta		
	No aplica						-No se integran al programa de capacitación.		
							. Se usan revisiones caducas de los RPNP		
8.6.	Otros								
	No aplica								

5.6.3 Matriz de priorización de recomendaciones. Esta matriz fue creada con el grupo Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad (IMC) para contar con una herramienta que genera unicidad de criterios para valorar las necesidades de las intervenciones a los equipos del Departamento de Mantenimiento de Mares (Ver figura 50) y definir el plazo en que se debe ejecutar las recomendaciones de las acciones del RCA, permitiendo a su vez hacer un ranking de las tareas a ejecutar; y de esta manera facilitar la planeación y programación periódica de mantenimientos.

Figura 50. Matriz de priorización de recomendación del RCA en la SMA.



CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto como metodología para la implantación del análisis de fallas para el campo de producción de Mares presentó las siguientes características:

- 📖 Es un proceso estructurado que consta principalmente de:
 - Procedimientos que son los que permiten tener el flujo de cómo, cuándo, dónde se debe realizar un análisis de causa raíz (RCA).
 - Formatos que son los que permiten recopilar la información de las paradas de los equipos y la presentación del RCA.
 - Matrices las que dentro del proceso permite identificar cuando se debe realizar un RCA y si es apropiado o no.
 - Software de seguimiento de acciones encargado de realizar el seguimiento de acciones y recomendaciones del RCA.

- 📖 Permite fortalecer las bases en la matriz de la excelencia y en la escalera de la confiabilidad para las empresas petroleras de explotación de crudo, alcanzar los estándares necesarios del mantenimiento clase mundo que es un paso más hacia la certificación.

- 📖 Permite obtener toda la puntuación en el Benchmarking de mantenimiento aplicado al campo de producción de la SMA para la parte que concierne a análisis de causa raíz (RCA), que es aproximadamente 18 puntos.

- 📖 Ayuda a estructurar los análisis de modos y efectos de fallas en los equipos críticos del campo de producción de Mares como son los que corresponden a las estaciones de bombeo de crudo, de compresión de gas, las unidades de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

CRISCIMAGNA, Ned. Benchmarking Commercial Reliability Practices. Rome, 1997.

ISO/DIS 14224:2004. Petroleum and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

ISO/FDIS 9001:2000(E). Sistemas de Gestión de Calidad.

LATINO, Robert. Failure Analysis/Problem Solving Methods. Hopewell, USA: reliability center, 1994.

MOUBRAY, Jhon. Reliability Centered Maintenance [RCM]. Caroline North: Mc. Aladon llc, 2004.

OREDA (Offshore Reliability Data). Disponible en < <http://www.oreda.com> >