

**RCM A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA DEL TERMINAL MARITIMO
POZOS COLORADOS DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE
ECOPETROL S.A**

NESTOR IVAN JIMENEZ PERNA

ANDRES LEONARDO MERCADO SALAS

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

2013

**RCM A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA DEL TERMINAL MARITIMO
POZOS COLORADOS DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE
ECOPETROL S.A.**

NESTOR IVAN JIMENEZ PERNA

ANDRES LEONARDO MERCADO SALAS

**Monografía de Grado presentada como requisito para
Optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento**

**Director: Francisco Ascencio Alba.
Ingeniero Químico
Magister en Ingeniería Industrial**

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

2013

DEDICATORIA

A Dios por ser guía y luz en la edificación de nuestros sueños, a nuestras familias y a nuestros padres que siempre nos brindan apoyo incondicional, también a todas aquellas personas que estuvieron en todo momento apoyándonos para sacar adelante esta gran experiencia en nuestras vidas.

NESTOR IVAN JIMENEZ PERNA

ANDRES LEONARDO MERCADO SALAS

AGRADECIMIENTOS

A Francisco Ascencio Alba, magister en ingeniería industrial y jefe de departamento de integridad en **ECOPETROL S.A.** quien nos brindo su apoyo incondicional y nos apporto gran parte de su conocimiento para el avance en la propuesta de la monografía enfocada en activos de la empresa.

A los docentes y directivos de la especialización por el conocimiento compartido con nosotros y por la formación académica que es clave para nuestro crecimiento en nuestra vida profesional y personal.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	14
1. TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS	15
1.1 UBICACIÓN	16
1.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	17
1.3 DEPARTAMENTO DE CONFIABILIDAD	18
1.4 DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMEINTO	19
1.4.1 Coordinación de Mantenimiento Caribe	19
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	24
2.1 DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES	24
2.2 OBJETIVOS DEL RCM	25
2.3 ALCANCE DEL RCM	25
2.4 HISTORIA DEL RCM	26
2.5 JUSTIFICACION DEL RCM	28
2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RCM	29
3. HERRAMIENTAS TECNICAS DEL RCM	31
3.1 MANTENIMIENTO TEROTECNOLÓGICO	31

3.1.1 GESTION DE ACTIVOS	31
3.1.2 CCV - Costo del Ciclo de Vida	32
3.1.3 TQM – Manufactura de Calidad Total	32
3.2 FMEA – ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS	47
3.3 MONITOREO DE LA CONDICIÓN Y ANÁLISIS PREDICTIVO	51
3.4 5S	56
4. MODELO RCM SEGÚN ISO 14224	60
4.1 MATERIAL DE SOPORTE	60
5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE RCM A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA DEL TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS	82
5.1 PREMISAS DE UN ESTUDIO RCM	82
5.2 EQUIPOS ANALIZADOS	83
5.3 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ÓPTIMA	84
5.4 PLAN DE MANTENIMIENTO	86
6. CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFIA	90
ANEXOS	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Etapas de evolución del mantenimiento	28
Tabla 2. Elementos de sistema de bombeo	50
Tabla 3. Objetivos y Propósitos de las 5S	59
Tabla 4. Datos de pérdida de capacidad de transporte	63
Tabla 5. Datos asociados con el tiempo de reparación de fallas	64
Tabla 6. Datos a personas	65
Tabla 7. Consecuencia Económica	66
Tabla 8. Efectos al Medio Ambiente	67
Tabla 9. Afectación al Cliente	67
Tabla 10. Impacto en la Imagen de la Empresa	68
Tabla 11. Modos de Falla 1	74
Tabla 11. Modos de Falla 2	74
Tabla 13. Modos de Falla 3	75
Tabla 14. Modos de Falla 4	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estación Pozos Colorados de ECOPETROL S.A.	15
Figura 2. Organigrama área de operaciones y mantenimiento marítimo Caribe	16
Figura 3. Etapas del mantenimiento basado en el tero tecnología	32
Figura 4. Estrategias de aplicación terotecnologica	32
Figura 5. Costo del Ciclo de Vida	34
Figura 6. Actuaciones en el RCFA	44
Figura 7. Árbol Lógico en el RCFA	47
Figura 8. Ejemplo sistema de bombeo (unidad)	50
Figura 9. Intervalo de Tiempo Entre Fallas	52
Figura 10. Diferentes procesos de mejora continua en el tiempo, todos basados en las 5S	56
Figura 11. Diagrama de procesos de definición y actualización de planes de mantenimiento	62
Figura 12. Matriz de Análisis de Riesgos	65
Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento de identificación de criticidad por ASP	69
Figura 15. Análisis RCM en software RCM++ de Reliasoft Sistemas Protección Catódica	83
Figura 16. Distribución de equipos por criticidad de protección catódica	84
Figura 17. Opciones de mantenimiento	85
Figura 18. Distribución por número de tareas	86
Figura 19. Distribución de la estrategia de mantenimiento	87

RESUMEN

TITULO: RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA EN EL TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A.*

AUTORES: NESTOR IVAN JIMENEZ PERNA, ANDRES LEONARDO MERCADO SALAS. **

DESCRIPCION O CONTENIDO: Esta monografía refiere el modelo de gestión de mantenimiento enfatizada en la metodología RCM mantenimiento centrado en confiabilidad con una planeación organizada que comprende el desarrollo de un mantenimiento con estándares, procedimientos, normas, instructivos y rutinas que garanticen la mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

La propuesta de aplicación de **RCM** a los sistemas de protección catódica del terminal marítimo pozos colorados, inicia con la creación o implementación de un plan de mantenimiento para 6 equipos de protección catódica ya que estos son de gran importancia en lo que respecta a la conservación y mantenibilidad de los activos de la VIT de Ecopetrol, teniendo en cuenta esto, se estableció realizar el modelo de aplicación de **RCM** y de esta forma tener una base sólida y estricta para la intervención oportuna de los equipos.

Obteniendo los resultados de **RCM** se posibilitará incluir toda esta información arrojada en un **CMMS**, el cual será susceptible a modificaciones cada vez que se presente una falla, por Ejemplo: si se presenta una falla y esta es conocida solo se revisara el **RCM** para el respectivo equipo, si esta no es conocida se debe realizar el análisis de falla, para de esta forma establecer el modo de falla y retroalimentar el **RCM** del(os) equipo(s).

La realización de esta metodología brinda gran ventaja ya que permite relacionar la implementación de **RCM** con el sistema de información, mejorando, enriqueciendo y facilitando las tareas de mantenimiento, garantizando que estas sean ejecutadas con las mejores estrategias para de esta forma reducir tiempo perdido por fallas y disminuir las pérdidas por producción, efectuando finalmente un gran aporte al sostenimiento de la empresa.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento,
Director: Ing. Francisco Ascencio Alba.

SUMMARY

TITLE: RCM MAINTENANCE FOCUSED ON RELIABILITY TO SYSTEMS OF CATHODIC PROTECTION BY IMPRESSED CURRENT AT TERMINAL MARITIMO RED WELLS OF THE VICE PRESIDENT OF TRANSPORTATION OF **ECOPETROL S.A.**

AUTHORS: NESTOR IVAN JIMENEZ PERNA, ANDRES LEONARDO MERCADO SALAS. **

DESCRIPTION OR CONTENT: This monograph refers the management model of maintenance emphasized methodology **RCM** maintenance focused on reliability with an organized planning that includes the development of maintenance standards, procedures, norms, instructions and routines that ensure maintainability, availability, and reliability of the equipment.

The proposal of application of RCM to cathodic protection of the maritime terminal systems Pozos Colorados, begins with the creation or implementation of a maintenance plan for 6 teams of cathodic protection since these are of great importance in regards to conservation and maintainability of the assets of the VIT of Ecopetrol, considering this, was established to carry out the model of application of **RCM** and thus have a sound and strict basis for the timely intervention of the teams.

Obtaining the results of **RCM** is enable to include this information thrown in a **CMMS**, which will be susceptible to modification whenever occurs a failure, for example: If a failure occurs and this is known only review the **RCM** for the respective equipment, if this is not known failure analysis, must be to thus set the mode of failure and feedback the **RCM** of the (s) team (s).

The realization of this methodology provides great advantage since it allows to relate the **RCM** with the information system implementation, improving, enriching and facilitating maintenance, ensuring that these are executed with the best strategies thus reducing time lost for failure to reduce losses by production, finally making a great contribution to the sustainability of the company.

* Monograph

** Faculty of mechanical engineering. Specialization in management of maintenance, director: Ing. Francisco Ascencio Alba

INTRODUCCION

El mantenimiento es una metodología fundamental y de gran importancia para garantizar la sostenibilidad de las industrias y empresas, esto se efectúa por medio de la obtención en la continuidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos que en realidad son el corazón o la base central para cumplir los requerimientos y demandas que puedan generarse dentro del ambiente productivo.

El área de mantenimiento de Líneas y Tanques y el área de integridad del terminal marítimo Pozos Colorados, son responsables de generar o establecer las rutinas para la intervención y seguimiento de los equipos, estos en realidad no cuentan con un plan de mantenimiento enfocado en la metodología RCM, por lo cual esto puede conllevar a tiempo perdido por falla del equipo y por ende la discontinuidad en la protección de las estructuras que se encuentran asociadas a cada uno de los equipos rectificadores de impresión de corriente.

Teniendo en cuenta lo anterior, lo que se pretende con esta monografía es brindar una propuesta con la finalidad de dar una solución orientada a mejorar los indicadores de mantenimiento por medio de la nueva posibilidad de tener un mayor control y susceptibilidad al cambio y valor agregado de la información que es procesada y analizada con la metodología RCM y finalmente registrada o relacionada en el CMMS.

1. TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS

1.1 UBICACION

El Terminal Marítimo de Pozos Colorados de la Gerencia de puertos de la Vicepresidencia de Transporte (VIT) de Ecopetrol S.A, ubicado en el Km 12 vía a Ciénaga, en la Ciudad de Santa Marta (Magdalena) está dedicado al recibo de hidrocarburos refinados importados, y al almacenamiento y transporte del mismo hacia el complejo industrial de la Refinería de Barrancabermeja, proceso realizado por medio de aproximadamente 10 Kmts de tuberías terrestres y submarinas de diámetros entre 10" y 24" y 6 tanques de almacenamiento con capacidad de 230 BLS promedio, los cuales se encuentran instalados en condiciones agresivas debido al ambiente corrosivo.

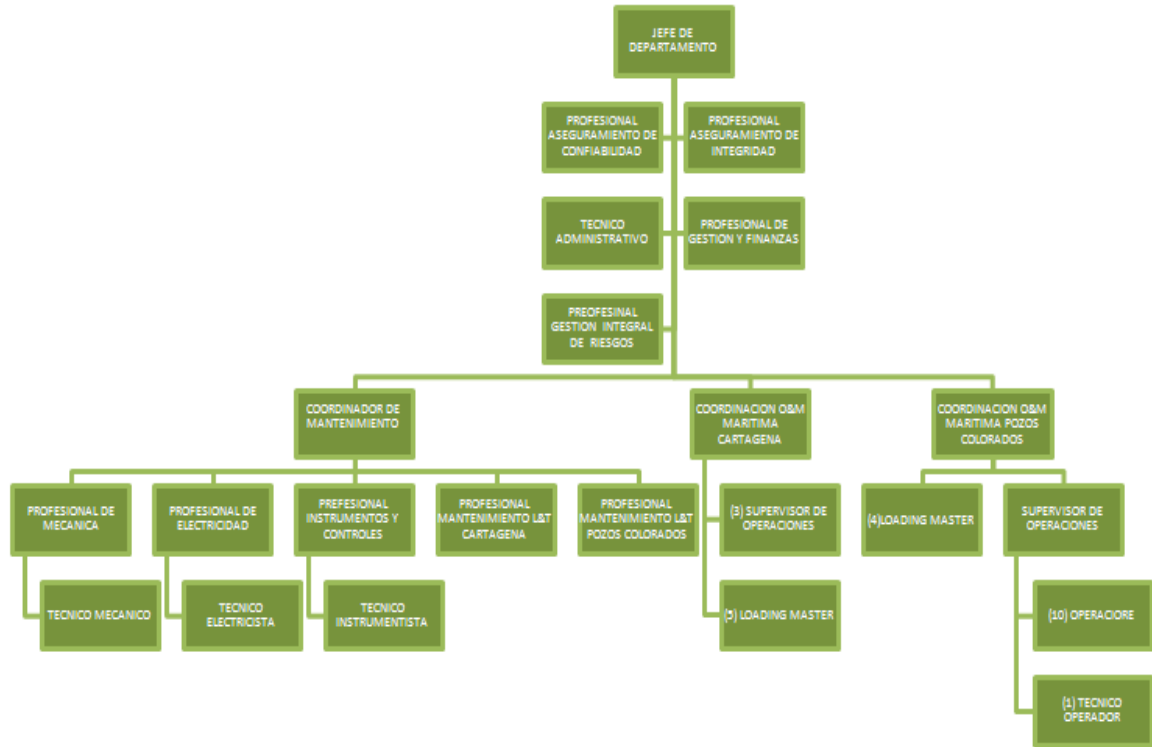
Figura 1. Estación Pozos Colorados de **ECOPETROL S.A.**



Fuente: **ECOPETROL S.A. (Vicepresidencia de Transporte)**

1.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Figura 2. Organigrama área de operaciones y mantenimiento marítimo Caribe



Fuente: **ECOPETROL S.A. (Vicepresidencia de Transporte)**

1.2.1 Departamento de Confiabilidad: El departamento de confiabilidad es una de las dependencias que forma parte del esquema estructural dentro de la Vicepresidencia de Transporte de ECOPETROL S.A, la cual desarrolla múltiples funciones tales como:

Estructurar y asegurar la ejecución de los programas de mantenimiento proactivo y correctivo, realizar seguimiento y asegurar su cumplimiento, con el fin de garantizar que el proceso de mantenimiento se realice bajo los criterios de costos, calidad, oportunidad y eficiencia.

Asegurar que la programación del mantenimiento incorpore los resultados de las técnicas de Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), costo de ciclo de vida

(LCC), Funciones de protección instrumentada (IPF), Mantenimiento basado en condición y demás metodologías empleadas en mantenimiento y confiabilidad (FMEA, FMECA, TFA, EVA, HAZOP, LOPA, SIS, etc.) para garantizar los niveles de confiabilidad y disponibilidad de equipos y sistemas requeridos por el negocio.

Mejorar la productividad y calidad de la fuerza de trabajo anticipando y eliminando demoras potenciales a través de una coordinación oportuna.

Establecer la programación con base en el análisis integral de los activos, incluyendo la programación de todas las especialidades y la concertación de los equipos de mantenimiento, operaciones y materiales con el fin de contribuir a la confiabilidad y disponibilidad de la infraestructura.

Definir los procesos para atender las necesidades de mantenimiento y operaciones (eventos) planeadas fuera de la programación que afecten la disponibilidad de los sistemas, equipos y componentes instalados en las plantas de la vicepresidencia de transporte y logística.

Identificar los esquemas de optimización de la programación con base en la asignación de recursos (humanos, herramientas, materiales, y equipos) para la intervención de activos, bajo parámetros de excelencia operacional, optimización de costos, calidad y seguridad en los procesos.

Ajustar la programación ante eventos como paros de bombeo, con el fin de minimizar el impacto operacional a causa del mantenimiento.

Actualizar las estrategias de mantenimiento atendiendo las definiciones de los especialistas de los procesos de confiabilidad.

Liderar las prácticas del negocio para que los equipos técnicos logren sus metas.

Presentar alternativas de mejoramiento continuo al proceso de programación del mantenimiento que lleven a hacer productivo el mismo.

Ser el administrador del backlog y la carga de trabajo en el CMMS; Hacer el seguimiento y presentar informes periódicos auditables de las horas hombre y herramienta del negocio.

Realizar las proyecciones del nivel de programación de recursos en horas y herramienta para elaboración de presupuestos.

Establecer redes de trabajo y negociar la duración de las estrategias de mantenimiento.

Auditar la ejecución y cumplimiento de los programas de mantenimiento.

Administrar la información y el conocimiento generado en el desarrollo de su gestión, de acuerdo a las normas y políticas corporativas.

1.2.2 Departamento de Operaciones y Mantenimiento (O & M): El departamento O & M es una de las dependencias que forma parte del esquema estructural dentro de la Vicepresidencia de Transporte de ECOPETROL S.A, la cual desarrolla múltiples funciones tales como:

Responder por la operación y el mantenimiento de los sistemas de transporte de su dependencia, bajo parámetros de seguridad de procesos, gestión integral de activos, optimización de costos, calidad y desarrollo sostenible, respetando el compromiso con la vida y el medio ambiente con el fin de asegurar el cumplimiento de la promesa de valor a los grupos de interés.

Desarrollar estrategias y actividades que permitan incorporar y asegurar el conocimiento requerido para el cumplimiento de los objetivos de su área de acuerdo con los métodos, mecanismos y herramientas corporativas; Administrar los riesgos generados por los procesos y proyectos a su cargo, mediante la implementación del ciclo de gestión de riesgos.

Dirigir la operación, mantenimiento, logística y sostenibilidad de la infraestructura de su dependencia, con el fin de garantizar de forma oportuna el transporte de

hidrocarburos, y así apalancar el crecimiento de la producción del petróleo de la organización y de los demás productores y el abastecimiento de combustibles; Hacer seguimiento sobre la capacidad de transporte, almacenamiento y logística actual y futura en su departamento, de acuerdo con las mejores prácticas HSEQ (cero incidentes a las personas, al ambiente y a la infraestructura), con el fin de maximizar la rentabilidad de los sistemas y asegurar el cumplimiento de estándares clase mundo; Dirigir el seguimiento sobre los activos de su dependencia (implementación de prácticas, estándares y normas técnicas), con el fin de optimizar el ciclo de vida de la misma; Hacer seguimiento y evaluar todas las fases del Modelo de Maduración y Gestión de Proyectos, con la finalidad de identificar y apalancar los proyectos de mejoramiento y crecimiento de la infraestructura de transporte de su dependencia y asegurar el cumplimiento de la promesa de valor; Controlar la ejecución de las acciones preventivas y correctivas necesarias para controlar las pérdidas de productos, de acuerdo con los lineamientos corporativos, para minimizar los volúmenes de pérdida y garantizar la rentabilidad del negocio; Implementar estrategias direccionadas corporativamente y/o iniciativas propias que generen y promuevan la cultura HSE en términos de Operaciones Limpias y Seguras y evaluar la gestión, con el propósito de identificar e implementar acciones de mejora; Implementar los planes de acción resultantes de auditorías requeridas por el Sistema de Gestión Integral en su departamento, con el fin de mantener la certificación de los sistemas, asegurar el mejoramiento continuo y apalancar el cumplimiento de la estrategia corporativa; Dirigir la actualización de los planes de contingencia de la infraestructura a su cargo y evaluar su operatividad, con el fin de salvaguardar las personas, el ambiente, los bienes de la empresa y de terceros.

Planear y evaluar la ejecución de los contratos de operación y mantenimiento, con el fin de garantizar el suministro de productos y la integridad, confiabilidad y disponibilidad de los activos.

Dirigir el cumplimiento de las directrices y lineamientos emitidos por las áreas de gobierno en gestión social del Departamento, para lograr la eficiencia operativa y garantizar que Ecopetrol sea una compañía socialmente responsable; Aplicar las políticas y procedimientos de HSEQ establecidas en la organización; Conocer y emplear la normatividad vigente que le aplica; Administrar la información y el conocimiento generado en el desarrollo de su gestión de acuerdo con las políticas corporativas; Atender las demás funciones que sean asignadas por su jefe inmediato; Gestionar el desempeño y la formación de los colaboradores a cargo, de acuerdo con la normatividad vigente; Estimular y reconocer los aportes individuales y de equipo a los resultados de las áreas; Conocer y analizar la legislación y normatividad en curso que le aplica, con el fin de aportar y orientar en futuras modificaciones a la misma, teniendo en cuenta la metodología establecida; Realizar el seguimiento, evaluación y control de los proyectos, programas y actividades a cargo de la dependencia; Asumir y desarrollar las funciones y responsabilidades específicas establecidas por el sistema de control interno de la dependencia; Responder por la identificación, implementación, evaluación y actualización de las actividades de control; Asegurar la identificación, declaración y remediación de las deficiencias de control de su dependencia.

1.2.3 Coordinación de operación y mantenimiento Caribe: La coordinación O & M Caribe es parte fundamental para el cumplimiento de las acciones y planes que se generen dentro del departamento de operaciones y mantenimiento de la Vicepresidencia de Transporte de ECOPETROL S.A; dentro de las funciones que desempeña se encuentran las siguientes:

Administrar los riesgos generados por los procesos y proyectos a su cargo, mediante la implementación del ciclo de gestión de riesgos; Asumir y desarrollar las funciones y responsabilidades específicas establecidas por el modelo normativo de seguridad informática en el rol de usuario informático y dueño de la información; Aplicar las políticas y procedimientos de HSEQ establecidas en la organización.; Conocer y aplicar la normatividad vigente que le aplica; Administrar

la información y el conocimiento generado en el desarrollo de su gestión de acuerdo con las políticas corporativas.

Atender las demás funciones que sean asignadas por su jefe inmediato; Gestionar el desempeño y la formación de los colaboradores a cargo, de acuerdo con la normatividad vigente; Estimular y reconocer los aportes individuales y de equipo a los resultados de las áreas; Conocer y analizar la legislación y normatividad en curso que le aplica, con el fin de aportar y orientar en futuras modificaciones a la misma, teniendo en cuenta la metodología establecida; Realizar el seguimiento, evaluación y control de los proyectos, programas y actividades a cargo de la dependencia; Asumir y desarrollar las funciones y responsabilidades establecidas por el modelo normativo de seguridad informática en el rol de dueño de la información; Asumir y desarrollar las funciones y responsabilidades específicas establecidas por el sistema de control interno de la dependencia; Responder por la identificación, implementación, evaluación y actualización de las actividades de control. Asegurar la identificación, declaración y remediación de las deficiencias de control de su dependencia.

Desarrollar estrategias y actividades que permitan incorporar y asegurar el conocimiento requerido para el cumplimiento de los objetivos de su área de acuerdo con los métodos, mecanismos y herramientas corporativos.

Coordinar la logística para la prestación del servicio de transporte de hidrocarburos, de acuerdo con las mejores prácticas HSEQ (cero incidentes a las personas, al ambiente y la infraestructura), con el fin de garantizar el cumplimiento de estándares clase mundo y asegurar el cumplimiento de la promesa de valor.

Coordinar la ejecución de los programas de transporte, la evacuación de la producción de crudo y/o el abastecimiento de la demanda de combustibles a nivel nacional, con el propósito de proveer soluciones rentables e integrales de logística y asegurar el máximo beneficio para la organización.

Coordinar la ejecución de planes y programas de la operación y mantenimiento de los activos, con el fin de garantizar la sostenibilidad de la infraestructura y el cumplimiento de los lineamientos de seguridad de procesos, integridad, confiabilidad y gestión integral de riesgos establecidos por la organización.

Coordinar la capacidad de transporte, almacenamiento y logística actual y futura en su dependencia, de acuerdo con las mejores prácticas HSEQ (cero incidentes a las personas, el ambiente y la infraestructura) y el cumplimiento de estándares clase mundo, con el fin de optimizar y maximizar la rentabilidad de los sistemas y apalancar el cumplimiento de la estrategia corporativa.

Coordinar la implementación de prácticas, estándares y normas técnicas sobre los activos de la dependencia a cargo, con el fin de optimizar su ciclo de vida y asegurar el máximo beneficio para la organización.

Monitorear el correcto registro y contabilización de los movimientos de hidrocarburos en los sistemas de transporte bajo la responsabilidad de su dependencia, con el fin de garantizar el cumplimiento de los compromisos adquiridos con clientes y socios, y de los requerimientos de Entes gubernamentales y grupos de interés.

Asegurar el almacenamiento a cargo de la dependencia, con el fin de responder por su calidad y cantidad y dar cumplimiento a la promesa de valor.

Coordinar la elaboración, actualización e implementación de los planes de contingencia de los sistemas y equipos a cargo de la dependencia, con el fin de salvaguardar las personas, el ambiente y los bienes de la empresa y terceros, y minimizar el impacto ante una condición anormal de operación.

Identificar, soportar y apalancar los proyectos de mejoramiento y crecimiento de la infraestructura de transporte de su dependencia, con el fin de contribuir con su desarrollo y con el cumplimiento de la estrategia corporativa.

Ejecutar las acciones preventivas y correctivas necesarias para controlar las pérdidas de productos, de acuerdo con los lineamientos establecidos corporativamente, para minimizar los volúmenes de pérdida y garantizar la rentabilidad del negocio.

Coordinar la implementación de los planes de acción resultantes de auditorías requeridas por el Sistema de Gestión Integral en su dependencia, así como la aplicación del Sistema de Gestión Integral, con el fin de mantener la certificación de los sistemas, apalancar el mejoramiento de los procesos, satisfacer las expectativas de los clientes, mantener altos índices de competitividad y dar cumplimiento a la estrategia corporativa.

Coordinar la planeación y ejecución de los contratos de operación y mantenimiento de su dependencia, con el fin de garantizar el suministro de productos y la integridad, confiabilidad y disponibilidad de activos.

Planear, estructurar y gestionar la ejecución del Plan Anual de Compras y Contratación (PACC) de Gastos e Inversiones de la Coordinación, asegurando el cumplimiento de los mismos.

Planear, estructurar, sustentar y realizar seguimiento al presupuesto anual a cargo de la coordinación, con el fin de asegurar los recursos requeridos para el logro de los objetivos.

Coordinar el cumplimiento del Sistema de Control de Gestión (Ley SOX, COSO, Cobit), garantizando la alineación con la normatividad establecida en la compañía.

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.1 DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo y mejoramiento de un plan eficiente de mantenimiento.

Esta metodología analiza cada sistema y enfatiza como puede fallar funcionalmente. Los efectos de falla independiente de cuál sea son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación y el costo.

El objetivo fundamental es que los esfuerzos de mantenimiento deben enfocarse en la función que realizan los equipos más que los equipos mismos.

Mirándolo desde un punto de vista productivo en realidad lo que interesa es la función que desempeña la máquina. Esto lo que indica es que desde una perspectiva ingeniosa se deben mantener los equipos no tanto como si fueran nuevos si no que cumplan la función por la cual fueron adquiridos o requeridos. También se debe conocer detalladamente que es lo que conduce a falla o causa interrupción en las operaciones mismas de la máquina.

RCM es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. Para encontrar el éxito que depende del gran conocimiento y experiencia de los participantes como también tener registro de datos de tasa de falla y periodo de ocurrencia, información que es compleja de encontrar y elaborar en el común de las plantas.

En este sentido la metodología RCM es abierta y no es difícil caer en la trampa de realizar análisis tan puntuales que los tiempos para la implementación del método se vuelven tan extensos, mientras que la planta está en espera de seguir incrementando la confiabilidad.

La norma ISO 14224, contiene en forma predefinida toda esta información, clasifica los equipos por jerarquía a saber: CLASES/TIPOS/SISTEMAS/SUBSISTEMAS/COMPONENTES.

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación de transporte de petróleo y gas natural.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de calidad de datos que permitan cuantificar la confiabilidad de los equipos y compararlos con la de otros equipos.

Los parámetros sobre confiabilidad pueden ser definidos para su uso en las fases de DISEÑO, MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

2.2 OBJETIVOS DEL RCM

- a) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:
 - Diseño y configuración del sistema.
 - Seguridad, Confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y plantas.
 - Costo del ciclo de vida.
 - Planeamiento, mejoramiento y ejecución del mantenimiento.

- b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:
 - Permitir el intercambio de datos entre plantas.
 - Asegurar que los datos sean de calidad suficiente, para el análisis que se pretende realizar.

- c) Controlar las averías en los equipos.

- d) Minimizar los costos de la mano de obra de reparaciones, en base a un compromiso por parte de los responsables del mantenimiento en la eliminación de fallas de maquinas.
- e) Establecer horarios de trabajo más razonables para el personal de mantenimiento.
- f) Permitir a los departamentos de producción y de mantenimiento una acción conjunta y sincronizada a la hora de programar y mantener la capacidad de producción de la planta¹.

2.3 ALCANCE DEL RCM

El presente proyecto tiene como alcance crear un plan de mantenimiento enfocado en la metodología RCM, el cual garantizará la disponibilidad, continuidad y confiabilidad a los transformadores rectificadores de protección catódica 1,2, 3,4,5,6 y 7, los cuales están asociados a los Tanques de almacenamiento 701, 702, 703, 704, RELEVO y AGUA y Tubería de ESPUMA, TUB. SISTEMA C. INCENDIO y LINEAS SUBMARINAS 106 y 108, todos estos activos localizados y pertenecientes al Terminal Marítimo Pozos Colorados de la VICEPRECIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A.

2.4 HISTORIA DEL RCM

El RCM ha existido por aproximadamente 50 años. Empezó con los estudios de las fallas ocurridas a las aerolíneas en los 1960s para reducir la cantidad de trabajo de mantenimiento requerido para lo que entonces era la nueva generación de grandes y amplias aeronaves. A medida que se fabricaban aeronaves de mayor tamaño y tenían más partes y por lo tanto más cosas iban mal, era evidente que los requerimientos de mantenimiento crecerían en forma similar y se comerían

¹ ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos

el tiempo de vuelo que era necesario para generar utilidades. En el extremo, la seguridad podría haber sido muy costosa para lograrse y podría haber hecho del volar una actividad no económica. El éxito de la industria de la aviación comercial en incrementar las horas de vuelo, la contundente optimización de récord de seguridad y el hecho de mostrarle al resto del mundo que es posible un enfoque de mantenimiento casi enteramente proactivo, todo ello testifica para el éxito del RCM.

Las nuevas aeronaves que tenían su mantenimiento determinado usando EL RCM requerían menos horas – hombres de mantenimiento por hora de vuelo.

Desde los años 60, el desempeño de la confiabilidad de las aeronaves se ha optimizado en una forma contundente.

El RCM también ha sido usado exitosamente por fuera de la industria de la aviación comercial. Los proyectos militares frecuentemente mandan el uso del RCM porque él permite a los usuarios finales experimentar la clase de desempeño de equipos altamente confiable que experimentan las aerolíneas.

La industria de la minería opera típicamente en sitios remotos que están lejos de las fuentes donde se consiguen las partes y los materiales para realizar labores de reemplazo. En consecuencia, los mineros quieren alta confiabilidad y disponibilidad de sus equipos – mínimo tiempo de inactividad y máxima producción del equipo. El RCM ha sido útil en mejorar la disponibilidad de las flotas de camiones transportadores y otros equipos al tiempo que reducen los costos de mantenimiento para partes y la labor y tiempo de inactividad para el mantenimiento planificado.

El RCM también ha sido útil en plantas químicas, refinerías, plantas de gas, bombas y compresores remotos, refinado y fundición de metales, acerías, fábricas

donde se trabaja el aluminio, pulpa de papel, operaciones para la conversión de papel fino, procesado de alimentos, bebidas y cervecerías. Cualquier sitio donde la alta confiabilidad y la disponibilidad son importantes, es un sitio donde hay gran potencial de aplicación para el RCM.

Si RCM se usa correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que se percibe la función del mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y eficaz.

A continuación se presenta esquemáticamente las etapas o generaciones de la evolución del mantenimiento:

Tabla 1. Etapas de evolución del mantenimiento:

Etapa	Sucede aproximadamente	Producción - Manufactura		Mantenimiento e Ingeniería de Fábricas	
		Orientación hacia	Necesidad específica	Orientación hacia	Objetivo que pretende
I	Antes de 1950	El producto	Generar el producto	Hacer acciones correctivas	Reparar fallos imprevistos
II	Entre 1950 y 1959	La producción	Estructurar un sistema productivo	Aplicar acciones planeadas	Prevenir, predecir y reparar fallos
III	Entre 1960 y 1980	La productividad	Optimizar la producción	Establecer tácticas de mantenimiento	Gestar y operar bajo un sistema organizado
IV	Entre 1981 y 1995	La competitividad	Mejorar índices mundiales	Implementar una estrategia	Medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	Entre 1996 y 2003	La innovación tecnológica	Hacer la producción ajustada a la demanda	Desarrollar habilidades y competencias	Aplicar ciencia y tecnología de punta
VI	Desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias - Gestión de activos			

Fuente: Mora Gutiérrez Alberto (Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios – Enfoque Sistémico Kantiano).

2.5 JUSTIFICACION DEL RCM

La disponibilidad y continuidad de los equipos que prestan el servicio de impresión de corriente a las estructuras, es el principal motivo para la generación de este trabajo. Un mantenimiento rutinario bien definido permite garantizar que las pérdidas con el sistema de protección no se incrementarán por intermitencia en la prestación del servicio de impresión de corriente.

En la actualidad la protección catódica es parte fundamental de la política de conservación de la infraestructura en las empresas que cuentan con activos relacionados con aleación de metales, y por tanto es de gran interés como líderes de mantenimiento en la especialidad de Protección catódica y Eléctrica, generar valor a nuestro proceso.

La intención que se tiene con el presente documento es la de promover al interior de Ecopetrol S.A el desarrollo y aplicación de la metodología RCM como herramienta a aplicar en la búsqueda de soluciones a los problemas de tiempo perdido por fallas, aumento en el costo de mantenimiento y desprotección de las estructuras de Tanques de almacenamiento y Tuberías de transporte de hidrocarburos, también se da un gran avance en el gerenciamiento del mantenimiento día a día en las diferentes disciplinas que lo integran.

2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RCM

El **RCM** representa numerosas ventajas en cuanto al aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria; a continuación se presentan las más importantes:

- Crea un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones o mantenimiento) frente a condiciones de falla y averías.
- Logra importantes reducciones del costo de mantenimiento.
- Optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- Integra las tareas de mantenimiento en el contexto operacional.
- Fomenta el trabajo en grupo (convirtiéndolo en algo rutinario).
- Incrementa la seguridad operacional y la protección ambiental.
- Optimiza la aplicación de las actividades de mantenimiento tomando en cuenta la criticidad e importancia de los activos dentro del contexto operacional.
- Establece un sistema eficiente del mantenimiento preventivo.

- Aumenta el conocimiento del personal tanto de operaciones como de mantenimiento con respecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.
- Involucra a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento en la organización (desde la alta gerencia hasta los operadores de planta).
- Facilita el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y de registro.

El **RCM** presenta las siguientes desventajas o limitaciones:

- Dificultad en la definición de sistemas y funciones.
- Dificultades en la creación de un plan jerarquizado de implementación.
- Mala relación costo-beneficio en más de un 40% de los sistemas evaluados.
- No trata los problemas de operación diaria, muy proactivo, pero sin embargo, el día a día mata muchas empresas. Eliminando entre otras cosas el tiempo para las reuniones de RCM.
- Los esquemas de reuniones cortas semanales y grupos de trabajo completos son muy complejos de implementar.
- Complejo justificar económicamente en muchos casos.
- Problemas con la comunicación de los resultados.
- Mantener equipos de trabajo durante largo tiempo es complejo².

² PEREZ J, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento – Sistemas de Información. Soporte y Cia Ltda – Colombia

3. HERRAMIENTAS TECNICAS DEL RCM

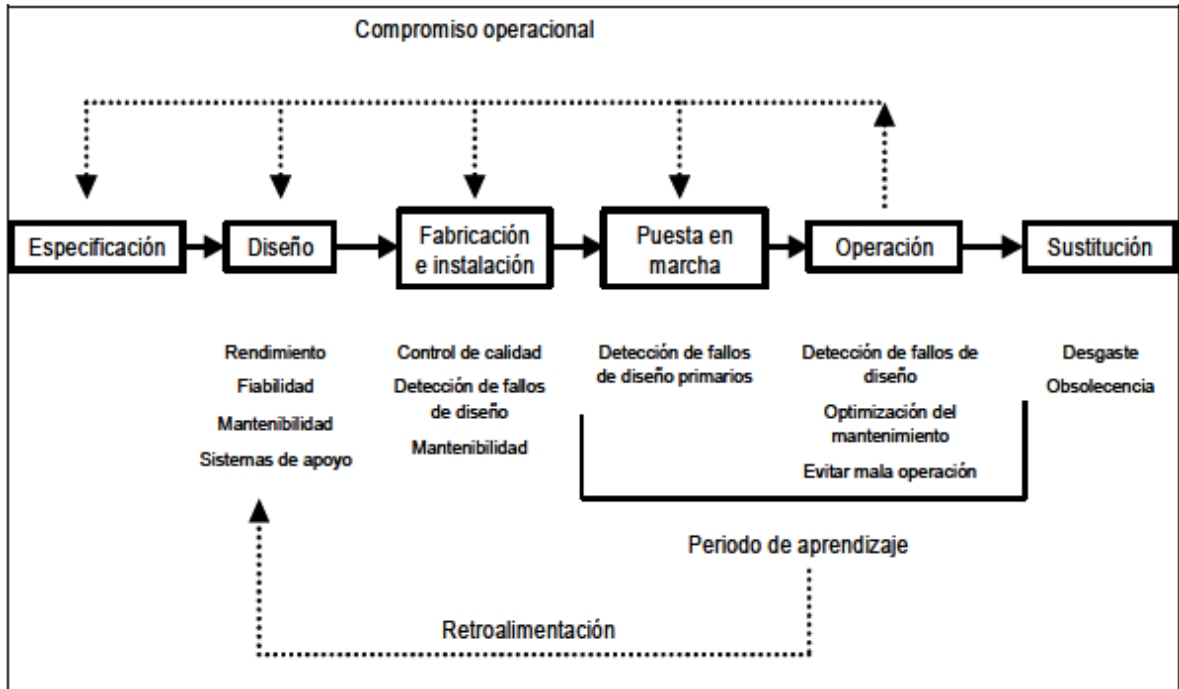
3.1 MANTENIMIENTO TEROTECNOLOGICO O GESTION DE ACTIVOS

Este presenta gran relación e integra todos los aspectos del enfoque kantiano de mantenimiento, por medio de lo anterior se logra integrar todos los niveles de mantenimiento junto con sus elementos estructurales y sus relaciones gobernadas por las leyes del *CMD*. Es la base donde se apoya el concepto de costo económico integral del ciclo de vida *LCC* y a partir de allí donde se establecen los indicadores magnos de mantenimiento: efectividad, *LCC* y *CMD*.

El mantenimiento basado en terotecnología consiste en:

- Obtener información acerca de los activos físicos y su desempeño, esto debe incluir hechos y tendencias sobre la productividad, costos, disponibilidad, causas de fallas, funcionamiento, frecuencia y severidad de los tipos de falla, piezas de repuesto usadas, frecuencia de trabajo de los niveles de mantenimiento , entre otros.
- Analizar la información para determinar la causa de los problemas; estos pueden ser por diferentes causas de falla, debido a malos estándares de mantenimiento, diseños de mala calidad, operaciones inadecuadas, falta de lubricación, repuestos de mala calidad, sobrecarga de los equipos, materiales incorrectos durante el proceso, entre otros.
- Adoptar acciones apropiadas para eliminar o reducir las causas de los problemas en los procesos.

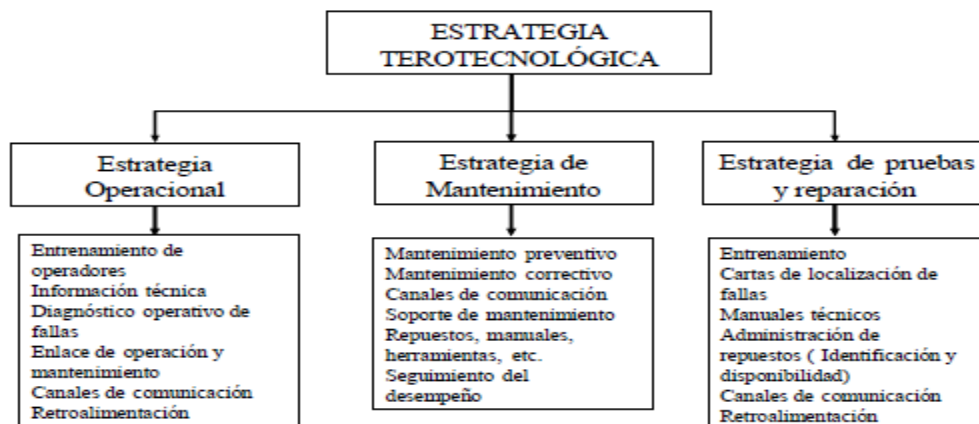
Figura 3. Etapas del mantenimiento basado en la tero tecnología



Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios – Enfoque Sistémico Kantiano).

Su estrategia de aplicación se descifra en tres campos:

Figura 4. Estrategias de aplicación terotecnologica.



Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios – Enfoque Sistémico Kantiano).

3.1.1 Gestion de activos: Las empresas día a día se enfrentan a la difícil situación de tener que incorporar, administrar y mantener una mayor cantidad de activos fijos para poder los mismos mercados con los mismos servicios y productos, esto genera entonces la necesidad de desarrollar una metodología de gestión de activos basada en costos e indicadores *CMD* que garanticen que estos generen cada vez más ingresos y menos gastos.

Es el *LCC* y la metodología de gestión de activos la única forma de enfrentar estos hechos que conducen cada vez más a la necesidad de desarrollar metodologías científicas, prácticas y útiles que permitan controlar los costos durante su ciclo integral de vida, con apoyo de los indicadores estratégicos de *LCC*, *CMD* y costos integrales.

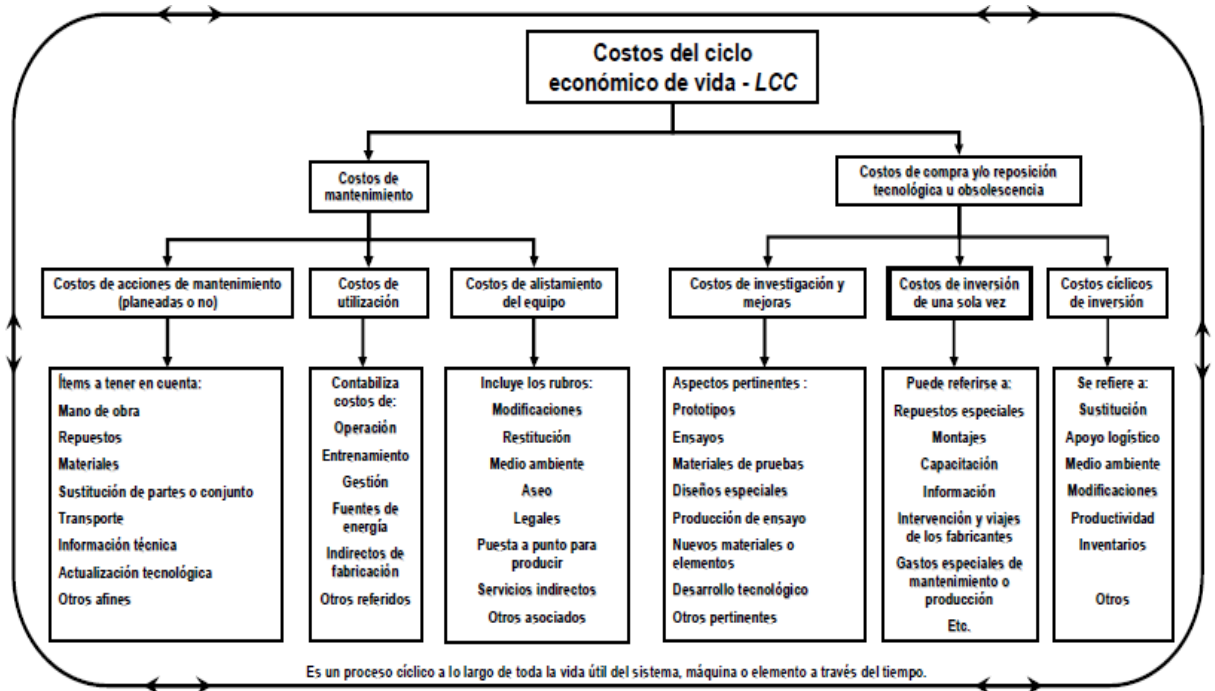
El resultado o impacto de la implantación de la tecnología de gestión de activos en las empresas, se refleja en sus cuatro objetivos principales: reducción de costos en la gestión y operación del mantenimiento, aumento de la disponibilidad de los equipos y líneas de producción, incremento de la vida útil de los activos y disminución de los niveles de inventarios de repuestos e insumos.

Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Industrial Efectivo)

3.1.2 Costo del Ciclo de Vida (LCC): Este concepto es enfocado como terotecnología por el gobierno británico donde se define la norma británica *BS: 3811* como una combinación de dirección, finanzas, construcción y otras prácticas aplicadas a perseguir de vida económico de los activos físicos.

A continuación se aprecia esquemáticamente el enfoque conceptual de costo del ciclo de vida:

Figura 5. Costo del Ciclo de Vida



Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Industrial Efectivo)

3.1.3 TQM Manufactura de Calidad Total: El concepto de manufactura de calidad total también denominado manejo de calidad total, comparte o iguala características a las del *TPM* entre ellas:

- Compromiso total de las altas directivas de la organización donde se aplica.
- El personal que se involucra en los cambios posee plena autorización para ello, delegada de los niveles jerárquicos superiores.
- La planeación del proceso *TQM* es a largo plazo.
- El *TQM* requiere un cambio estructural, filosófico y organizacional de la empresa y de las personas involucradas.

El *TQM* es el resultado de la integración que logra desarrollar W. Edwards Deming's en Japón después de la segunda guerra mundial, con los conceptos de: análisis estadísticos para controlar la calidad de los productos de los productos

fabricados y/o servicios entregados, estudios de proceso y la ética personal del pueblo Japonés; con lo cual obtiene concebir e implementar una nueva forma de vida industrial y una nueva cultura de manejo eficaz y efectivo de las empresas, dando lugar al *TQM*³.

En la actualidad existe una perfecta simbiosis entre mantenimiento y TQM, ya que muchas de las técnicas que este último involucra, conducen a mejoras en los diferentes niveles de mantenimiento, con lo cual se eleva la productividad y la calidad de procesos como de los productos fabricados y/o de servicios elaborados.

Las herramientas como son: *TQM*, *TQC* y las *5S* son aplicables a cualquiera de las operaciones, tácticas y estrategias de mantenimiento, netamente válidas de implementar en cualquiera de los niveles dos, tres y cuatro de mantenimiento. Aunque las anteriores se asocian normalmente a la táctica TPM no son exclusivas de esta, pues su aplicación es independiente de la táctica en que se encuentre involucrada la empresa⁴.

SISTEMA DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO

El objetivo de los sistemas de información **ERP/CMMS** es gestionar de forma eficiente el mantenimiento de las instalaciones y maquinaria optimizando la utilización de los recursos disponibles (equipos y herramientas, recursos humanos, materiales) con el menor coste posible. Los procesos integrados del sistema proporcionan a los responsables de mantenimiento un control exhaustivo sobre todas las instalaciones y equipamiento, desde su adquisición hasta el fin de su vida útil.

Los sistemas **ERP/CMMS** están adaptados para gestionar todo tipo de instalaciones, independientemente de su complejidad, desde un edificio único

³ Nakajima y otros, 1991

⁴ Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Industrial Efectivo)

hasta una gran planta de producción. También permite la gestión del programa de mantenimiento de grupos de elementos, como por ejemplo las flotas de vehículos. Estos sistemas también están diseñados para ser usados tanto por los departamentos internos de mantenimiento como por los servicios de asistencia técnica (SAT) que realizan el mantenimiento de terceros.

Los sistemas de información de mantenimiento ERP/CMMS están conformados por los siguientes módulos:

A. MODULO DE GESTION DE ACTIVO

El Módulo de Gestión de Activos contempla todo tipo de equipos y componentes, así como sus agrupaciones en sistemas y ubicaciones. Gestiona el ciclo de vida completo de los activos, desde su compra e instalación hasta su eventual sustitución, pasando por los ciclos de reparación. Toda la actividad realizada sobre un activo se registra en un “libro de máquina” que guarda el historial completo.

Estructura Jerárquica: Los activos se pueden organizar de forma jerárquica en diversos niveles, desde pequeños componentes hasta líneas de producción complejas. El sistema facilita la gestión a lo largo del tiempo de los recambios reparables, de los componentes y subconjuntos asociados a los activos.

Ubicaciones Operativas: Con este módulo, los usuarios pueden definir y gestionar las ubicaciones en las cuales opera un determinado equipo. Estas ubicaciones se pueden organizar formando grupos lógicos con estructura jerárquica. El módulo de Planificación puede generar las Órdenes de Trabajo tanto para la ubicación operativa como para un equipo específico de dicha ubicación.

B. MODULO DE GESTION DE RECURSOS

Personal: El sistema admite todas las posibilidades: personal propio de la empresa, personal de empresas de mantenimiento y especialistas individuales externos.

El modulo gestiona la información completa de los empleados, incluyendo su formación, costes por hora, requerimientos individuales de seguridad, etc. Al estar integrado con las aplicaciones corporativas, el sistema también conoce el horario laboral de cada empleado y su calendario de vacaciones.

Herramientas: Con la información que proporciona este módulo, los responsables de mantenimiento pueden gestionar la disponibilidad de las herramientas y asegurar que se encuentren en situación totalmente operativa cuando se necesiten. Las herramientas se pueden reservar para las tareas planificadas y a través de las solicitudes de reparación.

Este módulo mantiene un historial de asignaciones de las herramientas y para los equipos de medida también mantiene el historial de calibraciones.

C. MODULO DE SUBCONTRATISTAS

Los costes derivados del personal externo son cada vez más importantes en todos los entornos de mantenimiento. El módulo de subcontratistas se encarga de gestionar la mano de obra externa (subcontratistas, servicios de asistencia técnica y especialistas externos).

Este módulo se encarga de gestionar la facturación de los contratos según dos modalidades: por intervención o bien por periodos en el tiempo (semanal, mensual, trimestral, anual, etc.)

D. MODULO DE PLANIFICACION

Los sistemas ERP/CMMS disponen de un método de planificación dinámica para crear y administrar las órdenes de trabajo en base al mantenimiento preventivo, a la inspección y al mantenimiento correctivo.

Mantenimiento Preventivo: Las ordenes de trabajo se crean y se planifican automáticamente de acuerdo con la información de los programas de mantenimiento preventivo. Se dispone de numerosas opciones para planificar dichas órdenes:

- Planificación en base al calendario, ya sea por fechas fijas o por tiempo transcurrido (según Gamas o guías de mantenimiento preventivo).
- Planificación según los medidores de los equipos, como por ejemplo: horas de funcionamiento, piezas producidas, kilometraje, etc.
- Generación de órdenes según averías o alarmas.
- Ajustes de planificación según el Plan de producción.
- Planificación oportunista, basada en la disponibilidad de la maquinaria o aprovechar las paradas de máquina para realizar tareas de mantenimiento preventivo.

La gestión de las gamas o guías de mantenimiento preventivo contempla diversas funcionalidades:

- Se pueden asignar diversas gamas a cada equipo o máquina individual.
- Cada Gama se puede planificar de forma independiente.

Los sistemas de información ERP/CMMS admiten la especificación de gamas de gran complejidad. Los usuarios pueden incluir en ellas:

- Descripción de procedimientos, protocolos y tareas.
- Listas de comprobación (check-lists).

- Control de parámetros físicos (temperatura, presión, etc.), indicando el margen aceptable para los valores.
- Adjuntar documentos, imágenes o videos.
- Para cada tarea, los perfiles técnicos requeridos para los operarios.

Este amplio conjunto de información ayuda a los responsables de mantenimiento a garantizar que se sigan acorde y rigurosamente los procedimientos o instructivos y protocolos por parte de los operarios durante las revisiones o reparaciones de los equipos, incluso por parte del personal recién contratado.

Ordenes de Trabajo: Para obtener el máximo rendimiento de los recursos e incrementar la productividad, es imprescindible que los responsables de mantenimiento puedan gestionar eficientemente las solicitudes de reparación, las asignaciones de personal y de recursos así como su planificación. Los sistemas de información **ERP/CMMS** usan las Órdenes de Trabajo para hacer seguimiento y control de todos los aspectos relacionados con los trabajos realizados sobre un activo, desde la instalación de un nuevo equipo hasta la gestión de paradas críticas de una instalación o planta.

Una vez creada la orden de trabajo, el módulo de planificación la divide en tareas individuales y las asigna al operario más indicado haciendo concordar los tipos de tarea con los perfiles técnicos y verificando la disponibilidad. Cuando se necesitan servicios externos, se utiliza el módulo de Subcontratistas para asignar el servicio de asistencia (SAT) más apropiado para la orden de trabajo. Siempre que sea posible, el sistema agrupa las órdenes de trabajo y las planifica de forma conjunta para reducir el tiempo de no disponibilidad de las máquinas.

Los planificadores pueden definir y secuenciar las tareas para diversas máquinas en base a su ubicación operativa. El sistema les muestra los calendarios con las fechas de inicio/fin, ilustrando los turnos, los festivos y las vacaciones. Estos calendarios se pueden visualizar por mes o por día, mostrando el total de horas

laborables disponibles. Asimismo, las tareas de las órdenes de trabajo, reservan las herramientas asociadas. Las asignaciones propuestas por el sistema se pueden revisar y modificar por los planificadores y gestores, utilizando un módulo de workflow.

Una vez generadas, las órdenes de trabajo se pueden imprimir, adjuntando, si se desea, toda la documentación técnica asociada a las Gamas o a la propia máquina. Utilizando el sistema **Mobile CMMS** toda información y documentación se puede consultar directamente sobre el terreno a través de dispositivos móviles. Cuando las órdenes se asignan a servicios externos, el sistema puede notificarlas automáticamente vía **SMS**, correo electrónico, mecanismos **B2B** (WebService, Portal) o fax.

E. SOLICITUDES DE REPARACION

El sistema permite que los operarios de planta designados envíen solicitudes a los planificadores de mantenimiento. También pueden hacer el seguimiento de sus solicitudes desde el momento de su recepción/aprobación hasta su cierre. Las solicitudes de reparación se pueden introducir directamente como una transacción del sistema, también mediante un correo electrónico o a través de un navegador Web o de dispositivos móviles.

Una vez se acepta la solicitud, se asigna el técnico disponible o a través de módulo de subcontratistas se propone el SAT más adecuado al tipo de solicitud. Los planificadores integran las solicitudes en la planificación de mantenimiento con el objetivo de mejorar el tiempo de respuesta y reducir el tiempo de no disponibilidad de los equipos.

F. SEGUIMIENTO DE LOS TRABAJOS

Los sistemas de información **ERP/CMMS** mejoran enormemente la capacidad de una empresa para gestionar y realizar el seguimiento de las solicitudes de reparación, los operarios designados y los materiales o repuestos empleados. Todos los aspectos relativos a los trabajos realizados sobre un activo se registran a través de los Partes de Trabajo:

- Registro de Tiempos: Tiempo de respuesta, horas de cada operario, tiempo de maquina parada así como otros datos definibles por los usuarios.
- Registro de Costes: De las horas-hombre, de los repuestos y de los materiales.
- Distribución de Costes: Los operarios que registran los datos en el parte, pueden asignar fácilmente las horas-hombre y los costes de repuestos y materiales a un cliente, a una planta, a un departamento, a un centro de costes o a cualquier agrupación definida por el usuario.
- Registro de Causas: El sistema admite que el usuario defina sus propios códigos de causas, de fallos y de acciones correctivas, específicas para cada tipo de activo.

Los planificadores disponen de información muy completa: Plan de trabajo, distribución por periodos de los costes, horas-hombre, materiales, análisis de fallos frecuentes, etc. Pueden consultar rápidamente las Órdenes abiertas utilizando cualquier campo como filtro de búsqueda. También les facilita organizar la visualización de la información: por ejemplo, ver todas las órdenes o solo las órdenes asignadas a un determinado operario.

G. MODULO DE COMPRAS Y GESTION DE INVENTARIOS

Conseguir que las empresas mantengan un nivel óptimo del inventario de repuestos y materiales es uno de los objetivos de los sistemas de información

ERP/CMMS. El módulo de Compras inicia el proceso de solicitud de materiales contra una Orden de Trabajo y realiza el seguimiento de su entrega y de los costes de cada componente. Su base de datos de repuestos centraliza toda la información, incluyendo datos no estructurados como esquemas, imágenes, etc.

Algunas de las funcionalidades de este módulo son:

- Control de la fecha de caducidad de los suministros.
- Numerosas opciones para calcular la valoración del inventario: último precio, precio medio o precio estándar.
- Utilización del inventario rotativo.
- Procedimientos simplificados para gestionar los casos especiales: devoluciones, cancelaciones totales o parciales, dividir cantidades de una de las líneas de pedido, aplicar descuentos individuales, etc.
- Uso de los códigos de barras para gestionar los repuestos
- Impresión de etiquetas.

H. INFORMES Y ESTADISTICAS

El sistema proporciona todo tipo de informes para facilitar la gestión de los recursos de la empresa, incluyendo indicadores clave (KPI) de las instalaciones y otras métricas para evaluar la efectividad de las operaciones y optimizar la toma de decisiones organizativas.

Los informes se pueden visualizar en una pantalla, en un dispositivo móvil o exportarlos (PDF, Excel,...).

Algunos de los informes predefinidos son:

- Comparación en tiempo real de los presupuestos frente a los datos actuales o históricos de las órdenes de trabajo.

- Informe detallado por operario individual, incluyendo absentismo, vacaciones y horas no asignadas.
- Datos de las inspecciones para ayudar en el mantenimiento predictivo.

El módulo almacena el historial de mantenimiento de las instalaciones y activos. Incluye resúmenes de mantenimiento preventivo, reparaciones, rehabilitaciones, modificaciones, adiciones, construcciones y de cualquier otra intervención que afecte a la configuración o estado de los activos⁵.

RCFA ANALISIS DE CAUSA RAIZ DE FALLAS

El análisis de causa raíz es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla, es fundamentado en un proceso lógico y en la utilización de arboles de causas de fallas, consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual por razonamiento deductivo y mediante confrontación de los hechos que se presenten se puede llegar de una forma fácil y fluida a las causas originales de la fallas.

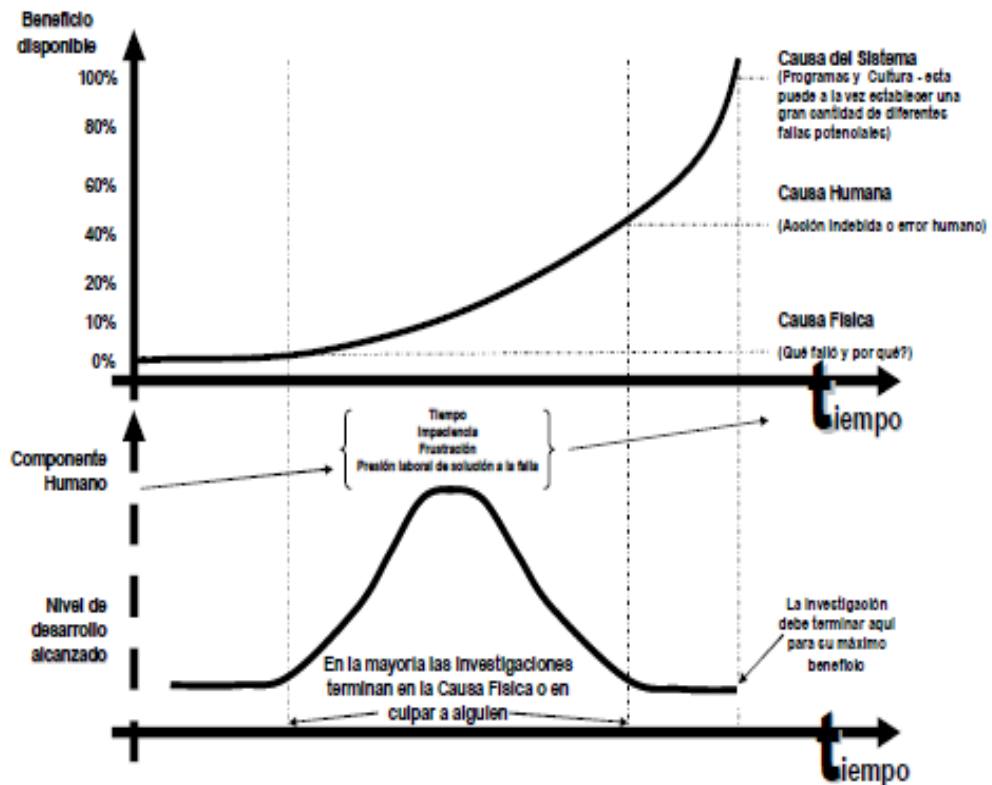
Con el **RCFA** se puede llegar a deducir hasta tres niveles de causa raíz. Permite aprender de las fallas mediante la eliminación de las causas, en vez de corregir los síntomas. En este método se encuentra ayuda complementaria al método de análisis de falla que perfecciona las etapas requeridas en el, para encontrar las diferentes causas inmediatas, básicas y raíz.

El **RCFA** presenta entre sus principales ventajas: Permite establecer un patrón de fallas en elementos o máquinas, aumenta la motivación del recurso humano del grupo caza-fallas debido el éxito que presenta la mayoría de veces en la búsqueda de causas raíces, mejora las condiciones ambientales de trabajo, como también

⁵ Tomado de la pagina [www. es.deister.net/es/solutions/business/ax-erp/cmms/](http://www.es.deister.net/es/solutions/business/ax-erp/cmms/)

las de seguridad industrial y reduce sustancialmente los tiempos de no funcionalidad y de no disponibilidad en los equipos.

Figura 6. Actuaciones en el **RCFA**



Fuente: Mora Gutiérrez Alberto (Mantenimiento Industrial Efectivo)

El nivel de avance o desarrollo en la búsqueda de la causa raíz se incrementa paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo en el grupo de caza-fallas, aproximadamente en la mitad total del periodo a desarrollar el **RCFA**, este nivel inicia a generar saturación en los miembros del equipo, incrementando gradualmente niveles de impaciencia y frustración, a la vez que empiezan a sentir la presión en la búsqueda de resultados concretos, de allí se deduce la conveniencia de mejorar tiempos prudenciales en las diferentes etapas del proceso.

El beneficio se incrementa a medida que transcurre el tiempo, sin convertirse en norma, se puede plantear que los tiempos que toma el **RCFA** para casos particulares de falla puede tomar entre uno y cuatro meses en promedio, el resultado a obtener influye en las habilidades del grupo caza-fallas, del número de reuniones que se realicen y del conocimiento técnico que se maneje, aunque esto es posible que difiera de una empresa a otra.

Para el éxito de los sistemas empresariales ya que estos no cambian por si solos, se les debe intervenir con factores externos mediante la adquisición de servicios de grupos caza-fallas, análisis de causa raíz, **RCFA** y las condiciones que sean fundamentales o necesarias para encontrar la raíz de los problemas, ya que es muy complejo o casi imposible encontrar una causa raíz con los métodos utilizados habitualmente por una empresa; habitualmente las empresas se conforman con encontrar las causas inmediatas y esporádicamente algunas básicas, pero sin un proceso de análisis de fallas y de **RCFA**, sin utilizar los fundamentos de la ingeniería o de otras ciencias son pocas las probabilidades de alcanzar la causa raíz de las fallas.

Es de gran importancia recalcar que los métodos de análisis de fallas y **RCFA** deben ser más usados en fallas crónicas o recurrentes.

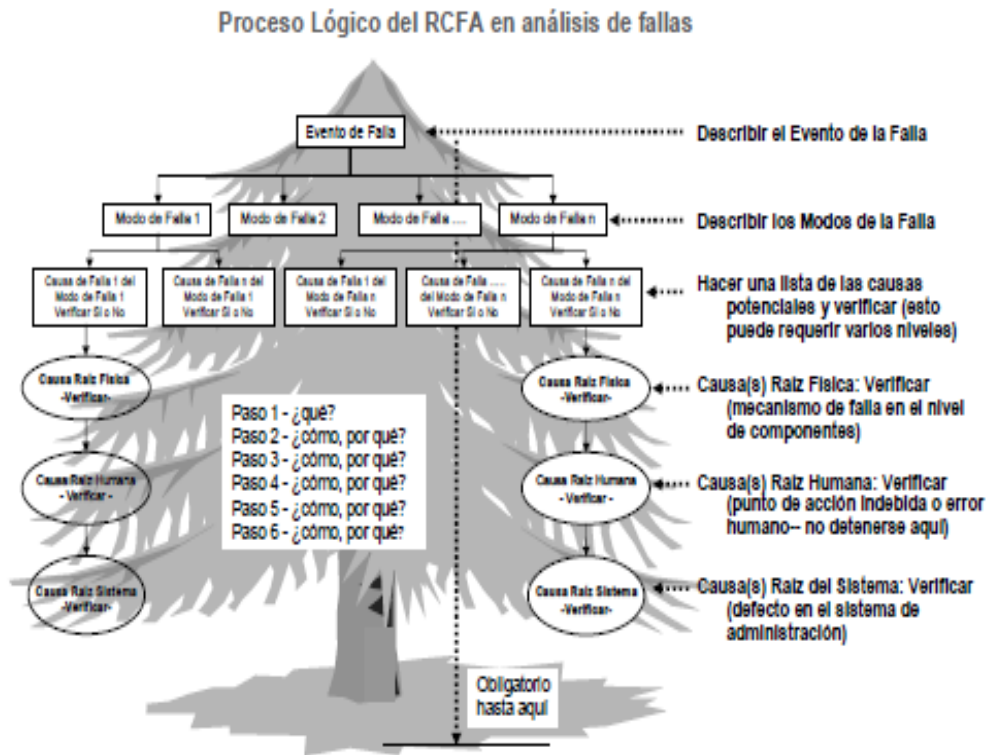
Los pasos que se desarrollan en la metodología RCFA para encontrar la causa raíz de las fallas son:

- Responder a una condición fuera de estándar y conservar la mayor cantidad de evidencias válidas posibles.
- Organizar el grupo caza-fallas que opere bajo un sistema de análisis de fallas y RCFA.
- Analizar la falla y verificar las causas raíces.
- Comunicar los resultados.

- Implementación, monitoreo y nuevo análisis RCFA después de un tiempo prudencial.

Árbol lógico en el RCFA

Figura 7. Árbol Lógico en el RCFA.



Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Industrial Efectivo)

Etapas de implementación del **RCFA**

- a. Describir el evento de la falla en forma clara y concisa.
- b. Reunir las evidencias circunstanciales y propias del evento.
- c. Realizar la tormenta de ideas sobre las causas de la falla o aplicar el método vaticano.
- d. Encontrar la causa raíz y verificarla, que explique todos los hechos que suceden.
- e. Determinar la posible causa raíz humana y verificarla.
- f. Determinar la factible causa raíz latente y verificarla.
- g. Comunicar los resultados y las recomendaciones de control diseñadas.
- h. Monitorear, vigilar, hacer el costeo final y establecer un seguimiento hasta la erradicación o control total de la falla.

3.2 FMEA – ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS

Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada componente (ítem mantenible para la norma ISO 14224) de un equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Sus objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los Modos de Fallas Potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, Operación y Mantenimiento de un equipo, a partir de los Componentes (ítem mantenibles para la norma ISO 14224).
- Determinar los Efectos de las Fallas Potenciales en el desempeño del Sistema, identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la Falla Potencial.
- **Analizar** la Confiabilidad del Sistema.

- **Cuantificar** Riesgos y Confiabilidad.
- **DOCUMENTAR EL PROCESO.**

CONSIDERACIÓN SOBRE *FMEA*

FMEA llega a los Modos de Falla partiendo de la Supuesta Falla de un componente. Considerando que los componentes son perfectamente identificables, la supuesta falla total o parcial de cada uno nos lleva directamente a todos los Modos de Falla Potenciales (pérdida de la función.)

Una tormenta de ideas en RCM no asegura que se identifiquen todos los Modos de falla. Los responsables de las pérdidas de funciones de los Equipos (Sistemas), son los componentes (Ítem Mantenibles, para la ISO 14224)

Si se identifican desde un principio los Modos de Falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan Sistemas y sub Sistemas, Componentes (Ítems Mantenibles), Causa de Fallas y Descriptores de falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar por fuera ninguna Falla supuesta que afecte a las Funciones del Equipo. Los operadores y mantenedores están muy identificados con las Fallas Funcionales y los Componentes que las provocan.

Las listas de Causas de Falla (que incluyen todas las Causas preestablecidas) limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al Nivel de Conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga Confiabilidad al Dato.

ESTRUCTURACIÓN DE JERARQUÍAS ISO 14224.

La norma ISO 14224 toma la máquina dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle:

- Clases de equipos
- Sistema
- Sub sistema

- Ítem mantenible
- Componente de detalle (en un grado ultimo de división, opcional)

Clases de equipos

A partir de la estructura presentada por la norma, acorde a un orden de JERARQUÍA, se establecen cuales son las Clases de Equipos (siendo este el nivel más alto) Se las puede asociar a Funciones; cada una en su contexto operacional; entendiendo por Función, de acuerdo con la definición de RCM, a las razones por las cuales un equipo existe dentro del proceso.

Sistema

Bajo los conceptos de RCM / FMEA, y así lo toma la Norma ISO 14224, se considera **Sistema** a un conjunto que realiza una Función específica, en un Servicio determinado dentro del Proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida. Incluyen todos los equipamientos disponibles para la Operación de los mismos y, en general, comparten muy pocas partes con otros Sistemas. Como norma genérica para la fijación de sus límites, se pueden tomar todas las válvulas que lo aíslan.

Para el caso de la norma quedan clasificados por:

- Tipos de equipos
- Aplicación

Ejemplos de sistemas:

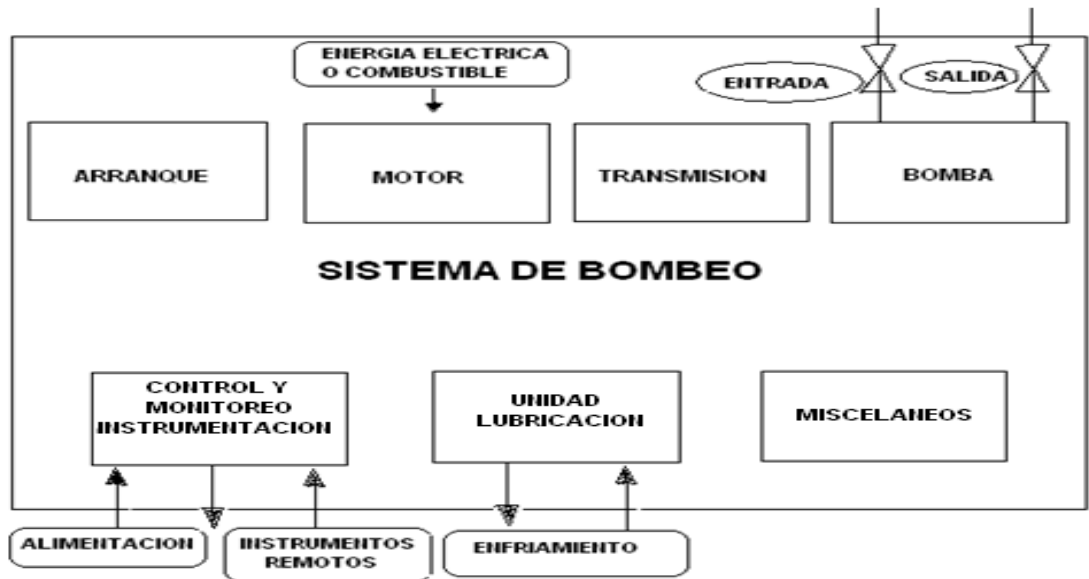
- Sistema de bomba centrifuga agua de inyección
- Sistema de bomba alternativa trasvase de petróleo

Subsistema

Son aquellos Equipos que posibilitan que el Sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo Equipo calificado como **Sub Sistema** que falle, afecta directamente al Sistema.

Ejemplo: Control, monitoreo e instrumentación pueden considerarse como unidad. A modo de ejemplo se toma la bomba, vista desde la norma ISO 14224.

Figura 8. Ejemplo sistema de bombeo (unidad)



Fuente: SAE J1739/JA1011 FMEA (ANÁLISIS ISO 14224 /OREDA. RELACIÓN CON RCM-FMEA. Ing ...)

Tabla 2. Elementos de sistema de bombeo

CLASE	PU - BOMBAS				
SUB UNIT	TRANSMISSION	UNIDAD DE BOMBEO	CONTROL Y MONITOREO	SISTEMA LUBRICACIÓN	MISCELÁNEOS
ITEM MANTENIBLES					
1	CAJA REDUCTORA	FUNDACIÓN	CONTROL	RESERVORIO	PURGA AIRE
2	MOTOR	VOLUTA	DISPOSITIVOS ACTUACIÓN	BOMBA LUBE	OTROS
3	RODAMIENTOS	IMPULSOR	MONITOREO	FILTRO	BRIDAS
4	ACOPLAMIENTO CAJA	PISTÓN		ENFRIADOR	ENFRIADOR
5	LUBRICANTE	DIAFRAGMA	FUENTE ALIMENTACIÓN	VÁLVULAS	CALENTADOR
6	SELLO	CILINDRO LINEAL		CAÑERÍAS	FILTRO
7	ACOPLAMIENTO MOTOR			ACEITE	FILTRO CICLÓNICO
8		EJE		CONTROL TEMPERATURA	AMORTIGUADOR
9		COJINETE RADIAL			BRIDAS
10		COJINETE AXIAL			
11		SELLO			
12		CAÑERÍAS			
13		VÁLVULAS			

Fuente: SAE J1739/JA1011 FMEA (ANÁLISIS ISO 14224 /OREDA. RELACIÓN CON RCM-FMEA. Ing ...)

Ítem mantenible – Componente de detalle

La unidad final de la división es el Ítem Mantenible (COMPONENTE), entendiendo como tal a las partes de los Equipos sobre las cuales es necesario realizar Acciones de Mantenimiento, con el objeto de alcanzar la Confiabilidad deseada. Analizado desde otro punto de vista, Ítem Mantenible es aquella parte en que su Falla (Crítica, Incipiente o por Degradación), provoca una pérdida de la capacidad del Sistema (calificadas en los Modos de Falla ISO), para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un Proceso.

Los datos de Confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

3.3 MONITOREO DE LA CONDICIÓN Y ANÁLISIS PREDICTIVO

Mantenimiento predictivo o basado en la condición de la maquina (**MPD**). Consiste en determinar en todo instante la condición mecánica real de la máquina mientras

esta se encuentra operando, a través de un programa sistemático de mediciones de algunos parámetros o síntomas.

El mantenimiento, entonces, se programa de acuerdo a la evolución de su condición mecánica. Nombres sinónimos que se usan para este tipo de mantenimiento son: Mantenimiento según condición o mantenimiento sintomático.

Existen otras clasificaciones que se pueden hacer de los tipos de mantenimiento. Una, es dividirlo en planificado (**MP y MPD**) y no planificado (**MR**). Otra es agregar un nuevo modelo de mantenimiento que actualmente se está utilizando seguidamente: el mantenimiento correctivo (**MR**), el cual se relaciona con las soluciones de ingeniería que se realizan para corregir problemas recurrentes.

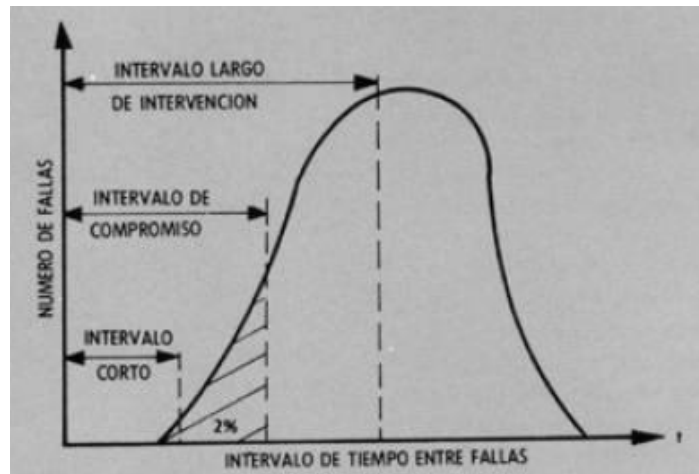
El mantenimiento reactivo es el más fácil de implementar, sin embargo presenta tres desventajas básicas que son:

- Permitir que falle un componente puede causar daño o deterioro a otros y consecuentemente los costos pueden incrementarse de forma significativa.
- La falla puede ocurrir a una hora inconveniente, o si el equipo es móvil, en un sitio inconveniente, de manera que no estará disponible ni el personal ni los repuestos necesarios para su reparación.
- Hay plantas que no pueden ser detenidas de un momento a otro, sea porque proveen un servicio esencial o porque manejan productos tales como alimentos o materiales fundidos, los cuales son propensos a deteriorarse o solidificarse o tal vez producen otros efectos dañinos si la planta se detiene repentinamente.

El mantenimiento preventivo realizado a intervalos de tiempos regulares es un avance comparado con el mantenimiento reactivo respecto a la prevención de fallas inesperadas. Sin embargo no es el método óptimo para garantizar una máxima seguridad y confiabilidad de la planta. Esto se fundamenta en que las

fallas no se producen a intervalos regulares de tiempo, si no que se producen a intervalos de tiempo de acuerdo a una distribución como la indicada en la figura a continuación.

Figura 9. Intervalo de Tiempo Entre Fallas



Fuente: Saavedra G. Pedro

De aquí que el intervalo de tiempo entre detenciones se elija como un valor de compromiso entre un intervalo corto (sobre mantenimiento) que resulta seguro, pero muy caro, y un intervalo largo (submantenimiento) que es económico, pero hay riesgo de que se presenten muchas fallas durante dicho intervalo. El intervalo de tiempo entre detenciones se determina con frecuencia estadísticamente como el periodo de tiempo durante el cual el fabricante espera que menos del 2% de máquinas nuevas o totalmente revisadas fallen, es decir, una confiabilidad del 98%. Este valor debe ser monitoreado o revisado constantemente ya que estudios demuestran que este es cambiante a lo largo de la vida de la máquina.

En consecuencia el mantenimiento preventivo presenta tres desventajas básicas que son:

- Algunas fallas de igual manera ocurrirán entre los intervalos de reparación, y esto puede ser inesperado o inconveniente.

- Durante la detención muchos componentes en buenas condiciones se desmontarán, inspeccionarán o se cambiarán innecesariamente, y si se comete algún error en reensamble, la máquina puede quedar en una condicional final más severa que al inicio de la intervención.
- Como en una reparación general se requiere examinar gran número de elementos, ello puede tomar un tiempo considerable y puede resultar en una gran pérdida de producción.

La respuesta a estos problemas es realizar un mantenimiento basado en la condición o estado de la máquina (**MPD**). En este modelo de mantenimiento, las revisiones a intervalos fijos de tiempo se sustituyen por mediciones de ciertos síntomas o parámetros a intervalos fijos.

El principio de mantenimiento predictivo es que la intervención de la máquina se realiza únicamente cuando las mediciones indican que es necesario. Esto también se relaciona con el recelo o desconfianza que presentan los Ingenieros en intervenir máquinas que se encuentran funcionando bien. Todo lo anterior conlleva a pensar que lo ideal es la implementación del mantenimiento predictivo, sin embargo su aplicación no es tan directa como parece serlo.

Se puede definir monitoreo de condición de la máquina, al control de su funcionamiento y el análisis de las mediciones obtenidas tendientes a detectar fallos incipientes o deterioro de la misma; a diagnosticar estos fallos y a predecir cuánto tiempo podría funcionar esta máquina en forma segura.

La hipótesis base del mantenimiento predictivo asume que hay características medibles u observables, los cuales definen exactamente la condición de la máquina. En muchos casos esto es cierto, sin embargo, en otros es complejo o muy costoso encontrar indicadores de un problema.

Las magnitudes físicas que se van a monitorear se elijen de manera que puedan detectar en la forma más concreta o concisa los problemas que se espera encontrar en la maquina.

Hay numerosas técnicas predictivas, la mayoría de estas se encuentran en tres grupos principales que son:

1. Técnicas que monitorean el comportamiento dinámico de la máquina. Estas técnicas se basan en que fallos de elementos situados dentro o fuera de la máquina, especialmente sus elementos móviles, generan nuevas fuerzas dinámicas que afectan los niveles de algunas magnitudes dinámicas en puntos a los cuales se tiene acceso de medición del exterior. Las magnitudes dinámicas más frecuentemente controladas son: ruidos, impulsos de choque, emisiones, acústicas.
2. Técnicas que monitorean el flujo lubricante y/o refrigerante y sus residuos. Ellos se basan en que como resultado del deterioro de un elemento que tenga contacto con el fluido, generalmente aceite, se producirá alguna reacción en este último, o este servirá de medio de transporte de los residuos de desgaste generados. Los análisis más frecuentemente realizados son: análisis de propiedades del aceite, análisis espectro métrico, ferro grafía.
3. Técnicas que monitorean la performance y las variables de operación de la máquina. Estas técnicas controlan directamente la forma en que equipos o componentes de ellos están realizando la función que les fue asignada. Por ejemplo: en una turbo máquina evaluando su rendimiento o en una máquina herramienta controlando la rugosidad y tolerancia de fabricación de las piezas mecanizadas.

Una vez definidas las magnitudes a monitorear, se sigue su evolución en el tiempo. Una extrapolación de los datos permitirá predecir cuándo serán

alcanzados los niveles de estas magnitudes que se consideran peligrosas para que la máquina pueda seguir funcionando en forma segura⁶.

3.4 5S

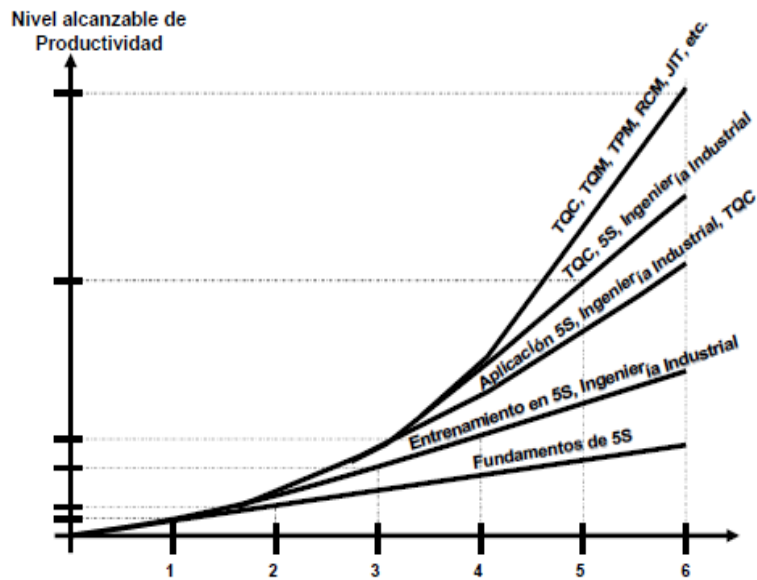
La implementación de esta herramienta es de gran importancia, ya que permite elevar la productividad y garantiza el mejoramiento continuo, tanto en el área de mantenimiento como en el de producción; la principal ventaja es que se constituye en una base fundamental de cualquier operación y táctica. Es ideal aplicar esta herramienta en empresas que han superado el nivel operativo y se preparan a implementar una táctica en el nivel tres de mantenimiento, pues permite cohesionar y agrupar el personal de producción con el recurso humano de mantenimiento, alrededor de las máquinas que se evalúan, construyendo de esta forma las bases para la aplicación de cualquier táctica y por ende la posterior implementación de la estrategia integral de mantenimiento.

Las **5S** se fundamentan en actividades de orden y limpieza en los sitios o lugares de trabajo, que por su sencillez permiten la participación de pequeños grupos de trabajo a lo largo y ancho de la compañía. Establecen que cada individuo del grupo de trabajo puede contribuir con el mejoramiento continuo de su lugar o sitio de trabajo, en donde permanece gran parte de su tiempo o jornada laboral.

Gráficamente se observa los diferentes procesos de mejora continua en el tiempo, todos basados en **5S**.

⁶ Saavedra G. Pedro. (www.maquinaval.org.ar/.../MANTENIMIENTO_PREDICTIVO_MONIT...)

Figura 10. Diferentes procesos de mejora continua en el tiempo, todos basados en las 5S.



Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales y de Servicios).

Las 5S es un conjunto de cinco palabras Japonesas que inician con la letra S y que hacen referencia a:

SEIRI: Seleccionar (separar, descartar, despejar)

SEITON: Ordenar (acomodar, ordenar)

SEISO: Limpiar (Limpiar inspeccionando)

SEIKETSU: Estandarizar (Mantener, uniformar, mejorar)

SHITSUKE: Autodisciplina (Entrenamiento, disciplina)

La clave del éxito de la implementación de las 5S se logra siempre y cuando se tengan presente los siguientes principios:

- Compromiso de todas las personas de mantenimiento y producción.
- Capacitación y entrenamiento permanente.
- Involucrar a todo el recurso humano de la organización, en especial a mantenimiento-producción y calidad.

- Reforzar y monitorear permanentemente el proceso, reiniciándolo periódicamente, para mantener y superar los niveles alcanzados en cada una de las 5S.
- El sitio de trabajo debe mantenerse como una sala de recibo.
- 5S aumenta la seguridad en el puesto de trabajo.

Las ventajas de aplicar las 5S, se pueden condensar en los siguientes beneficios que se logran al desarrollar su implementación:

- Mejora la eficiencia en el trabajo y reduce los costos de operación.
- Mejora la productividad en el puesto de trabajo.
- Reduce la ocurrencia de accidentes en el puesto de trabajo mediante la eliminación de pisos aceitosos y resbalosos, ambientes sucios, ropa inadecuada y operaciones inseguras.
- Aumenta la confiabilidad de la máquina y mantiene las funciones de la misma.
- Se descubren funciones defectuosas en cada parte de la máquina (sobrecalentamiento, vibraciones, ruidos, pequeñas grietas o roturas...)
- Reduce los defectos y estabiliza la calidad de los productos.
- Fortalece la confianza de los clientes en la organización y mejora las ventas.
- Contribuye a que las entregas se hagan a tiempo.
- Fortalece la cultura del mejoramiento continuo.

Las 5S se constituyen en una herramienta avanzada de mantenimiento fundamental para la posterior aplicación de las operaciones (correctivas, modificativas, preventivas y/o predictivas) y posterior aplicación de cualquiera táctica a través de una estrategia integral de mantenimiento. En el siguiente cuadro se describe de una manera más concreta los objetivos y propósitos de la herramienta 5S.

Tabla 3. Objetivos y Propósitos de las 5S.

5S	Significado	Finalidad
<i>SEIRI</i> <i>Seleccionar</i>	Se basa en seleccionar los objetos innecesarios en el lugar de trabajo y descartarlos; lo que no sirve se debe eliminar o donarlo. De una forma similar debe actuar en las actitudes mentales, dejando de lado todas las actitudes negativas que no permiten crecer, como son: prejuicios, malas intenciones, comentarios innecesarios, falta de respeto, dudas, temores.	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer el trabajo más fácil al eliminar obstáculos. • Prevenir de cuidar cosas innecesarias y evitar las pérdidas de los objetos. • Prevenir operaciones erróneas o fallas causadas por cosas innecesarias.
<i>SEITON</i> <i>Ordenar</i>	<p>Consiste en organizar los objetos necesarios de tal forma que sean fácilmente asequibles para su uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un lugar para cada cosa. • Cada cosa en su lugar <p>Permite la organización de los objetos y utensilios de una forma sistemática permite reducir los tiempos administrativos y logísticos de mantenimiento y producción, haciendo más visible su ubicación. También se aplica a la forma de actuar y de comportamiento social humano en el trabajo, sirve para reglamentar y estandarizar las normas de vida y conducta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir las pérdidas de tiempo en la ubicación y traslado de objetos, las cuales son actividades que no generan valor agregado y producen retrasos en los tiempos de mantenimiento y producción, evitando demoras en ambos procesos • Asegurar que lo que entra primero sale primero, base de la prevención de pérdidas por deterioro, debido a la vida útil de algunas materias primas para la producción. Aquí es recomendable aplicar un término de la contabilidad, los inventarios <i>FIFO (First in first out)</i>, lo primero en entrar debe ser lo primero en salir). • Establecer procedimientos e instrucciones que faciliten la ejecución de las operaciones, actividades y procesos de mantenimiento y operación. • Implantar sistemas de control visual que permitan tanto a nivel del personal de la empresa como a nivel externo, ubicar fácilmente los lugares y los objetos, que permitan un fácil entendimiento de los procesos y los procedimientos de producción y mantenimiento.
<i>SEISO</i> <i>Limpiar</i>	Procura limpiar completamente el lugar de trabajo para que no haya elementos exógenos al proceso, disminuyendo los problemas de averías de las máquinas, contaminación, inicio de fallas, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar la elaboración de productos de calidad. • Combinar la limpieza con la inspección, con el fin de detectar fallas potenciales antes de que se inicien. • Hacer del lugar de trabajo un sitio seguro y confortable.
<i>SEIKETSU</i> <i>Estandarizar</i>	Mantiene en orden y limpio el sitio de trabajo y los utensilios de mantenimiento y producción. Se preocupa por el mantenimiento del ambiente de trabajo, logrando así mejorar el aspecto laboral, reducir la contaminación, disminuir los accidentes y los costos de mantenimiento, calidad y producción. Trata de mantener los niveles alcanzados en términos de estandarización de actividades y procesos.	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener los niveles logrados de SEIRI, SEITON y SEISO. • Eliminar las causas que provocan la suciedad y un ambiente de trabajo no confortable. • Proteger al trabajador de condiciones peligrosas. • Estandarizar y visualizar los procedimientos de operación y mantenimiento diario. • Permitir que las personas de mantenimiento y producción desarrollen y manestren su talento y creatividad.
<i>SHITSUKE</i> <i>Autodisciplina</i>	Entrena a las personas para que mantengan disciplina, autonomía, buenas prácticas de orden y limpieza. El recurso humano reconoce la bondad de la aplicación de las 5S para el beneficio colectivo e individual. Es un proceso que requiere tiempo, pero sobre todo mucho esfuerzo y constancia de quienes son responsables del proceso de implantación.	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer a las personas más disciplinadas y con buenos modales, en otras palabras se necesita fomentar nuevas costumbres y valores dentro de la empresa, hace énfasis en descartar los paradigmas antiguos y adquirir otros más productivos. • Cumplir con las reglas de la empresa y de la sociedad. • Tener un personal más proactivo.

Fuente: Mora Gutierrez Alberto (Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales y de Servicios).

4. MODELO RCM A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA DEL TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS.

4.1 Material de soporte

A continuación se presentan los diferentes materiales de soporte, utilizados durante la ejecución de los talleres en campo.

4.1.1 Síntesis del proceso

Objetivo

Definir y actualizar los planes de mantenimiento para los activos de la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol s.a.

Alcance

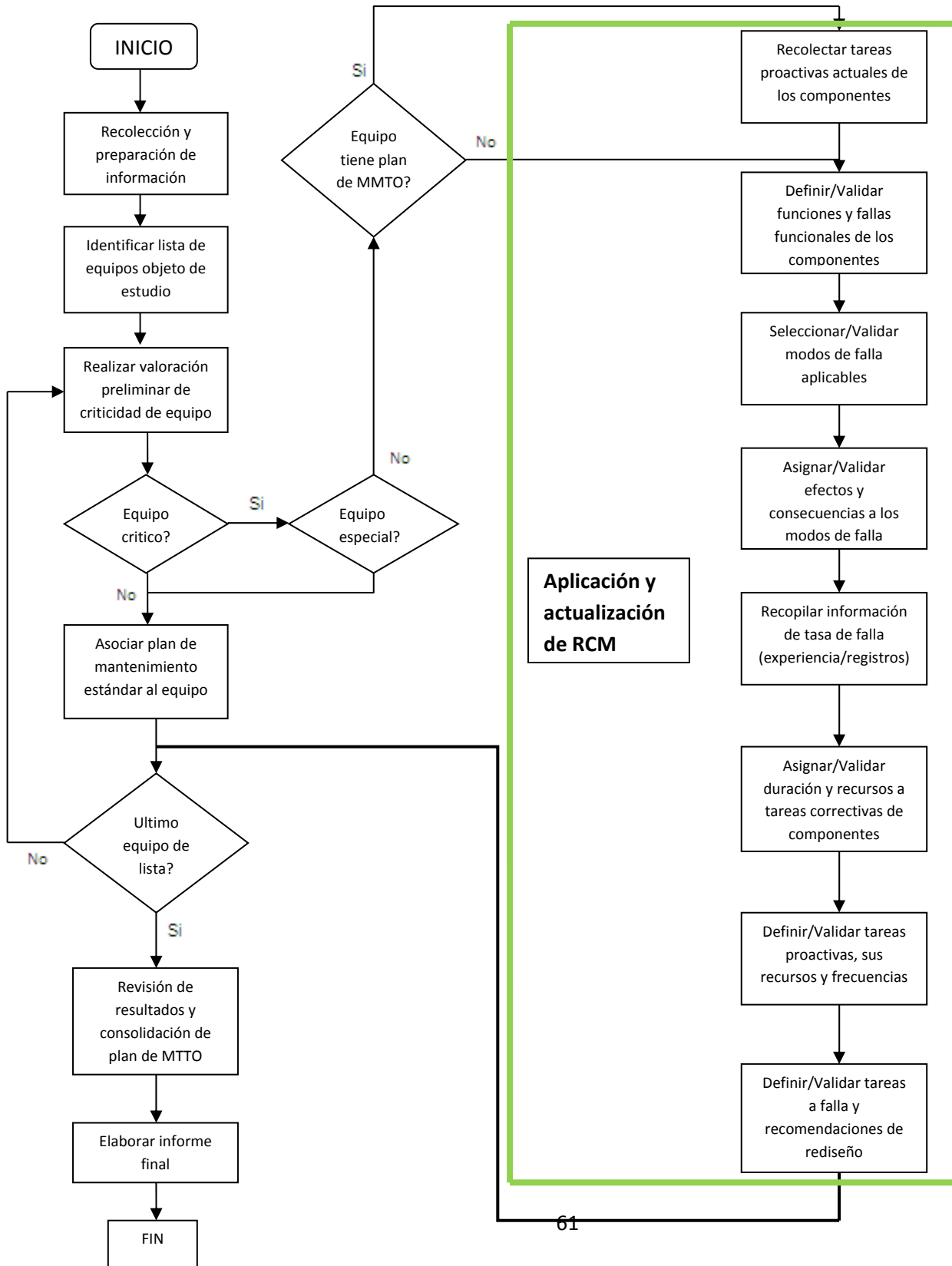
- El análisis cubre los equipos denominados transformadores rectificadores de protección catódica 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, los cuales están asociados a los Tanques de almacenamiento 701, 702, 703, 704, 705 y LINEAS SUBMARINAS 106 y 108, todos estos activos localizados en el Terminal Marítimo Pozos Colorados de la VICEPRECIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S.A.
- Se actualizarán las estrategias de mantenimiento de los activos mencionados productivos de la estación.

Resultados principales

- Planes de mantenimiento agrupados por componente, frecuencia y equipos
- Modos de falla críticos según criterios de matriz RAM de Ecopetrol
- Costo estimado de aplicación de estrategia definida
- Consumo estimado de recursos
- Consumo estimado de repuestos
- Relación costo beneficio de la aplicación de la estrategia de mantenimiento planteada (por componente, equipo y estación)

Figura 11. Diagrama de procesos de actualización de planes de mantenimiento

4.1.2 Diagrama de proceso



4.1.3 Ecuaciones de pérdida

Uno de los criterios usados tanto para la definición de criticidad de equipos como para la asignación de efectos a los modos de falla analizados, es el aspecto económico. Para la evaluación de este criterio se deberán tener en cuenta las ecuaciones de pérdida. Estas ecuaciones hacen referencia a costos que aumentan linealmente con el tiempo de reparación de la falla analizada.

Se cuenta con dos tipos de ecuaciones de pérdida:

- Pérdidas de capacidad de transporte

Hace referencia a la tarifa por hora que se deja de recibir por perder capacidad de transportar un producto. Esta pérdida de capacidad puede ser total o parcial.

Se calculan diligenciando las casillas sombreadas del siguiente formato para cada modo operacional que represente una ecuación de pérdida de este tipo.

Tabla 4. Datos de pérdida de capacidad de transporte.

Modo Operacional	Perdida 1		
Capacidad (Brls/Día)	100.000		
Capacidad (Brls/h)	4.167		
Tarifa (USD/Brls)	1	% Perdida	Tarifa (USD/h)
Efectos	Perdida 1 (100%)	100%	4167
	Perdida 1 (80%)	80%	3333
	Perdida 1 (60%)	60%	2500
	Perdida 1 (40%)	40%	1667
	Perdida 1 (20%)	20%	833

Fuente: **ECOPETROL S.A. (Vicepresidencia de Transporte)**

- Costos/hora

Hace referencia a otros costos asociados con el tiempo de reparación de la falla, como el pago adicional de energía durante el tiempo de indisponibilidad del equipo analizado. Se calculan diligenciando las casillas sombreadas del siguiente formato para cada costo identificado.

Tabla 5. Datos asociados con el tiempo de reparación de fallas

Costo	Consumo de Energía	
Consumo (KW/h)	100	
Tarifa (USD/KW)	1	Tarifa (USD/h)
Efecto	Consumo de Energía	100

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

4.1.4 Asignación de criticidad de equipos y definición de equipos especiales

En la evaluación de criticidad de equipos se emplean dos herramientas, estas son la matriz RAM y el procedimiento para identificar componentes, equipos y sistemas críticos de seguridad de procesos, las dos herramientas suministradas por Ecopetrol.

Los equipos serán analizados en primera instancia aplicando la matriz RAM según los lineamientos siguientes.

Figura 12. Matriz de Análisis de Riesgos

CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Imagen de la empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al año en la unidad, superintendencia o departamento
Uno o más fatalidades	Catastrófica > \$10M	Contaminación irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (Parcial o Total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación mayor	Perdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (> 1 día)	Severo \$100K a \$1M	Contaminación localizada	Perdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10K a \$100K	Efecto menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (otros auxilios)	Marginal < \$10K	Efecto leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningun efecto	Ningun impacto	Ningun impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

Respondiendo las siguientes preguntas:

Cuál es la consecuencia más probable en caso de presentarse una falla, que:

- Interrumpa por completo la función del equipo?
- Interrumpa parcialmente la función del equipo?

De igual forma, debe ser cuestionada la probabilidad de ocurrencia.

- Con que frecuencia se ha presentado la consecuencia?

Un equipo será considerado crítico, si su valoración a la luz de la matriz RAM, es de un riesgo alto o muy alto (H, VH).

Para una mejor evaluación de la consecuencia más probable, a continuación se muestran las definiciones detalladas de las diferentes consecuencias.

Tabla 6. Datos a personas

No.	DESCRIPCION
0	Ninguna lesión.
1	Lesión leve primeros auxilios: Atención en lugar de trabajo y no afecta el rendimiento laboral ni causa incapacidad.
2	Lesión menor sin incapacidad (incluyendo casos de primeros auxilios y de tratamiento médico y enfermedades ocupacionales): No afectan el rendimiento laboral ni causan incapacidad.
3	Incapacidad temporal > día (lesiones que producen tiempo perdido): Afectan el rendimiento laboral, como la limitación a ciertas actividades o requiere unos días para recuperarse completamente (casos con tiempo perdido): Efectos menores en la salud que son reversibles, por ejemplo: irritación en la piel, intoxicación por alimentos.
4	Incapacidad permanente (incluyendo incapacidad parcial y permanente y enfermedades ocupacionales): Afectan el desempeño laboral por largo tiempo, como una ausencia prolongada al trabajo. Daños irreversibles en la salud con inhabilitación seria sin pérdida de vida; por ejemplo: hipoacusia provocada por ruidos, lesiones lumbares crónicas, daño repetido por realizar esfuerzos, síndrome y sensibilización.
5	1 o más muertes: Por accidente o enfermedad profesional.

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

Tabla 7. Consecuencia Económica

No.	DESCRIPCION
0	Ninguna.
1	Marginal (menos de 10 mil dólares – daños leves): No hay interrupción de la actividad (producción, mantenimiento, puesta en marcha, etc.).
2	Importante (de 10 mil a 100 mil dólares – daños menores): Interrupción breve de la actividad (degradaciones, recirculación, reproceso).
3	Severo (de 100 mil a 1 millón de dólares – daños locales): Pérdidas económicas por parada temporal, lucro cesante o responsabilidad civil.
4	Grave (de 1 millón a 10 millones de dólares – daños mayores): Pérdida parcial en las operaciones o de la planta desde uno hasta 10 millones de dólares.
5	Catastrófica (más de 10 millones de dólares – daños generalizados): Pérdida total o sustancial en la producción, en la infraestructura, etc.

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

Tabla 8. Efectos al Medio Ambiente

No.	DESCRIPCION
0	Sin efectos: Sin afectación ambiental. Sin modificaciones en el medio ambiente.
1	Efectos Leves: Emisiones o descargas con afectación ambiental leve y temporal, y dentro de las instalaciones. Acciones de remediación en el inmediato plazo. No existe contaminación.
2	Efectos menores: Emisiones o descargas menores, con afectación al medio ambiente dentro de las instalaciones, sin efectos duraderos, o que requieren medidas de recuperación en el corto plazo, o una única violación a los límites legales o actos administrativos o una única queja registrada (call center o escrita) ante organismos gubernamentales. No existe contaminación.
3	Contaminaciones localizadas: Emisiones o descargas limitadas con contaminación ambiental localizada en predios vecinos y/o el entorno, o que requiere medidas de recuperación en el mediano plazo, o repetidas violaciones de los límites legales o actos administrativos o varias quejas registradas (call center o escrita) ante organismos gubernamentales.
4	Contaminaciones mayores: Emisiones o descargas que causan que causan contaminación ambiental dispersa o grave o que requiere medidas de recuperación en el largo plazo, o violaciones prolongadas a los límites legales o actos administrativos, o molestia generalizada de la comunidad, registrada (call center o escrita) ante organismos gubernamentales.
5	Contaminaciones irreparables: Emisiones o descargas que causan un daño ambiental irreparable en un área extensa o en áreas de uso recreativo o de preservación de la naturaleza; o constante violación de los límites legales o actos administrativos. Requiere medidas de compensación por daños irreparables.

Fuente: **ECOPETROL S.A.**

Tabla 9. Afectación al Cliente.

No.	DESCRIPCION
0	Ningún impacto a los clientes
1	Riesgo de incumplir cualquiera de las especificaciones acordadas con el cliente: Circunstancias planeadas o no planeadas, que afectan procesos o productos que pueden impactar los compromisos establecidos con los clientes, pero con posibilidades de solución antes de que el cliente perciba el potencial incumplimiento.
2	Implica quejas y reclamos: Cuando efectivamente situaciones planeadas o no planeadas impactan procesos o productos comprometidos con los clientes, que generan quejas y/o reclamos en cualquier cantidad, cuyo trámite de solución está definido dentro del compromiso y/o contrato con los clientes.
3	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento: Decisiones y/o circunstancias que implican afectación a procesos y/o productos comprometidos con los clientes, que puedan afectar la relación comercial y/o el índice de lealtad, al punto de llevar al cliente a que tome la decisión de no volver a comprarle a ECOPETROL, o que efectivamente no se pueda asegurar el suministro confiable para algún mercado objetivo de la sociedad.
4	Perdida de participación en el mercado (para mercado internacional perdida en la participación en el presupuesto del cliente destinado a la compra de productos ofertados por ECOPETROL):

	Decisiones y/o circunstancias de cualquier índole, de una magnitud tal, que implique pérdida efectiva de participación en el mercado para productos de comercialización nacional, y en el mercado internacional la pérdida de participación en el presupuesto de compra del cliente.
5	Veto a ECOPETROL como proveedor: Decisiones y/o circunstancias de impacto comercial a gran escala, que impliquen el bloqueo por parte de segmentos de clientes que a su vez conforman mercados objetivo, a los productos y servicios comercializados por ECOPETROL.

Fuente: ECOPETROL S.A.

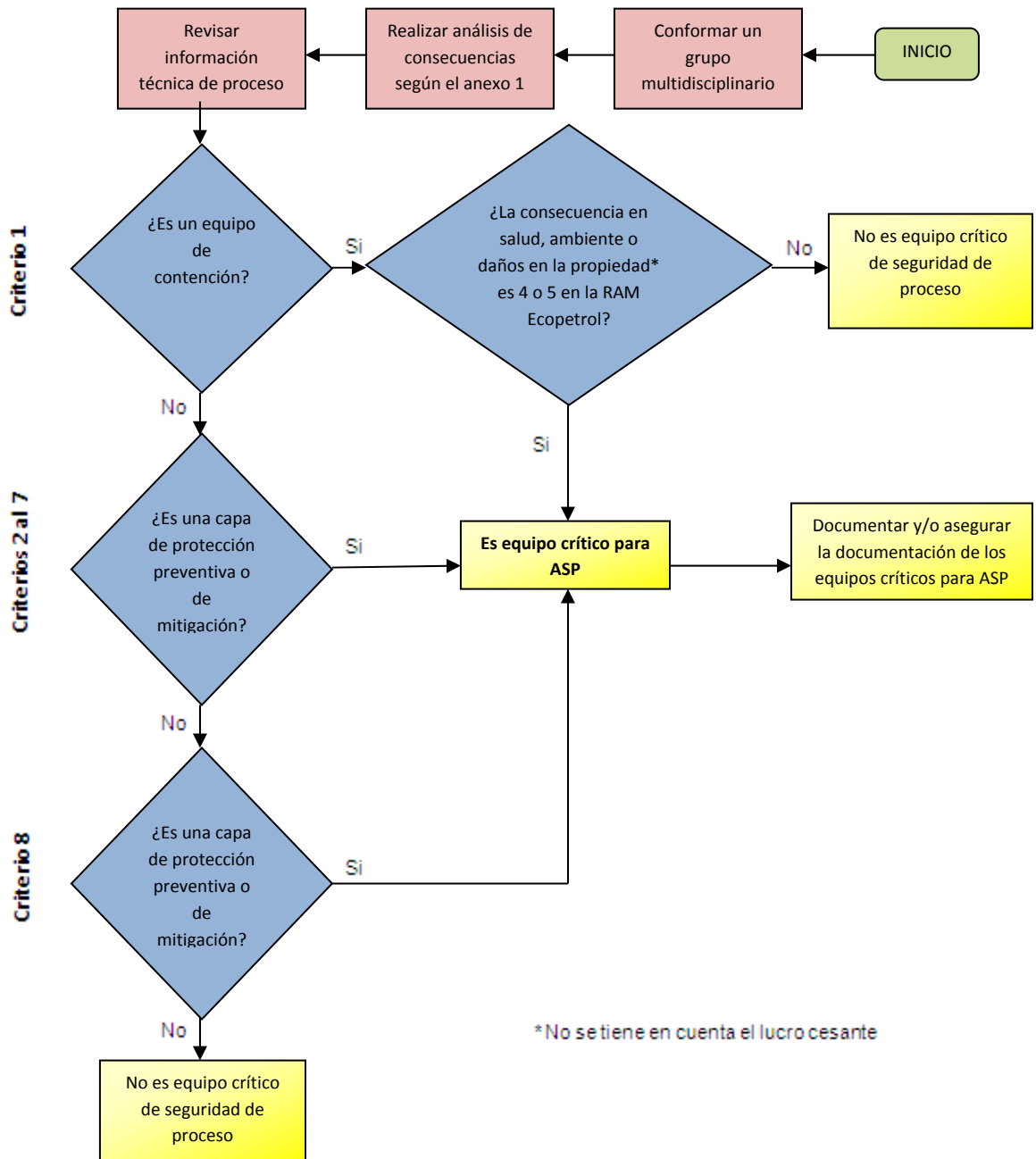
Tabla 10. Impacto en la Imagen de la Empresa

No.	DESCRIPCION
0	Ningún impacto: No es de interés
1	Interna: Puede ser de conocimiento interno de la empresa pero no de interés público.
2	Local – interés público local relativo: Atención de algunos medios de prensa, comunidades y ONGs locales que potencialmente pueden afectar a la empresa.
3	Regional – interés público regional: Oposición de los medios locales de prensa. Relativa atención de los medios nacionales de prensa y/o partidos políticos locales/regionales. Oposición de ONGs regionales y del gobierno local.
4	Nacional – interés público nacional: Oposición general de los medios de prensa nacionales. Políticas nacionales/regionales con medidas potencialmente restrictivas y/o impacto en el otorgamiento de licencias. Quejas de ONGs nacionales. Posible afectación del valor de las acciones.
5	Internacional – interés público internacional: Oposición general de los medios de prensa internacionales. Políticas nacionales /internacionales con un impacto potencialmente grave en la relaciones internacionales de la Empresa, el otorgamiento de licencias y/o la legislación impositiva. Afectación del valor de las acciones.

Fuente: ECOPETROL S.A.

A continuación se procede a analizar la criticidad de los equipos según los criterios de seguridad de proceso. Para este fin se debe aplicar el procedimiento **ECP-VST-O-PRO-PT-001**, el cual puede observarse de manera resumida en el diagrama de flujo del procedimiento de identificación de criticidad por ASP.

Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento de identificación de criticidad por ASP.



Fuente: **ECOPETROL S.A. (Vicepresidencia de Transporte)**

A continuación se presentan los ocho criterios que definen equipos críticos. Cada unidad de negocio deberá evaluar sus procesos operativos en los cuales se definirán los sistemas, equipos o componentes críticos para la administración de la seguridad del proceso.

CRITERIO 1 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE CONTENGAN O ESTEN EN CONTACTO CON SUSTANCIAS PELIGROSAS, EN LOS QUE SE DEBE EVITAR LA PERDIDA DE CONTENCIÓN.

Se refiere a los sistemas de contención primaria consistentes de tuberías, vasijas y otros equipos de proceso diseñados para mantener controladas sustancias peligrosas y energías del proceso.

Equipos que no pueden perder capacidad de contención. Algunos ejemplos son:

- Recipientes a presión, Tanques de Almacenamiento y piscinas;
- Equipos y tuberías de proceso y transporte de hidrocarburos;
- Bombas, compresores y turbinas;
- Instrumentos y líneas de impulso.

CRITERIO 2 – CONTROLES DE CONTENCIÓN: SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE AYUDAN A MANTENER LA CONTENCIÓN DURANTE LA OPERACIÓN NORMAL.

Equipo que generalmente no contiene una sustancia peligrosa y que “ofrece un margen de seguridad para prevenir un evento peligroso”. Ayuda a mantener la contención durante las operaciones normales. Comprende todos los sistemas de control básicos del proceso. Algunos ejemplos son:

- Lazos de control (BPCS);
- Válvula de cheque y válvulas de seguridad;
- Protección catódica;
- Sistemas de calentamiento o enfriamiento;

- Estructura y soportes de tubería;
- Venteos, Scrubers, sistemas de teas.

Nota: Estos equipos (entre otros) deben estar relacionados con los equipos críticos del criterio 1.

CRITERIO 3 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE GARANTICEN UNA PARADA SEGURA.

Todos los equipos, sensores y elementos primarios de control que integran el sistema de protección:

- Sistemas de paro de emergencia automáticos y manuales.
- Sistemas de control de ignición.
- Válvulas de aislamiento en caso de incendio.
- Alarmas y controles de seguridad del proceso que requieren la intervención del operador.

Nota: Estos equipos (entre otros) deben estar relacionados con los equipos críticos del criterio 1.

CRITERIO 4 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES ASOCIADOS CON LA LIBERACION Y CONTROL DE EMISIONES DE SUSTANCIAS PELIGROSAS FUERA DE OPERACIÓN NORMAL.

- Sistemas de transferencia rápida de inventario y/o tanques de relevo;
- Sistemas lavadores de gas y polvo (Scrubers);

CRITERIO 5 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES ASOCIADOS CON LA DETECCION O RESPUESTA AL DESFOGUE O EMISION DE LA SUSTANCIA PELIGROSA.

El funcionamiento de estos sistemas no deberá depender de ningún otro sistema de control mayor.

- Sistema de detección de gases, llama y humos;

- Sistema de detección de fugas;
- Sistemas de alarmas de emergencias, evacuación e incendio;
- Sistemas de radio y teléfono para comunicación interna y externa, **SOLÒ SÌ** son los medios primarios para reducir el impacto de la emisión de sustancias peligrosas.

CRITERIO 6 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE, AL SER ACTIVADOS, REDUCEN EL POTENCIAL DE RIESGO O MINIMIZAN LOS DESFOGUES O EMISIONES PELIGROSAS, LOS INCENDIOS Y EXPLOSIONES:

- Sistemas contra incendio
- Sistemas de rociadores, agentes limpios y CO₂
- Sistemas de supresión de explosiones
- Sistemas de ventilación utilizados para:
 - Diluir las sustancias peligrosas.
 - Proveer presión positiva en las salas de control y equipo eléctrico.
 - Mantener la operación de sistemas controladores electrónicos de seguridad.

Nota: Los trajes contraincendios, sistemas de aire auto contenido, mangueras, carros de bomberos se deben incluir en el elemento de control de emergencias.

CRITERIO 7 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE NO REQUIEREN SER ACTIVADOS PARA REDUCIR EL POTENCIAL O MINIMIZAR LOS DESFOGUES O EMISIONES PELIGROSAS, INCENDIOS Y EXPLOSIONES RELACIONADAS CON EL PROCESO:

- Elementos secundarios de contención: Diques, drenajes, tuberías enchaquetadas.
- Fire proofing.
- Muro contra fuego, compuertas anti explosión.

- Instalaciones eléctricas y electrónicas ubicadas en áreas clasificadas como eléctricamente peligrosas, para evitar fuentes de ignición.
- Sistemas de puesta a tierra, apantallamiento y pararrayos.

Nota: Estos equipos (entre otros) deben estar relacionados con los equipos críticos del criterio 1.

CRITERIO 8 – SISTEMAS, EQUIPOS O COMPONENTES QUE AYUDAN A MANTENER UNA OPERACIÓN SEGURA:

Se refiere a los sistemas de respaldo de los equipos críticos, tales como:

- Sistemas de respaldo de energía de emergencia, ejemplos: Fuentes de energía no interrumpibles, generadores diesel, sistemas de baterías.

Definición de equipo especial

Un equipo es catalogado como especial cuando existe normatividad interna o externa, que establecen dentro de la Vicepresidencia de Transporte, estrategias de mantenimiento de obligatorio cumplimiento, Ejemplo: (equipos de medición, equipos contra incendio, equipos bajo garantía). La definición de los equipos especiales se soportará con la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿El equipo esta cobijado por planes de mantenimiento establecidos por normatividad externa que la Vicepresidencia de Transporte cumpla?
- ¿El equipo esta cobijado por planes de mantenimiento establecidos por normatividad interna que la Vicepresidencia de Transporte cumpla?
- ¿El equipo esta cobijado por planes de mantenimiento establecidos por el fabricante, cuyo cumplimiento sea de carácter obligatorio para efectos de cubrimiento de garantía vigente?

4.1.5 Librería de Modos de Falla

Tabla 11. Modos de Falla 1.

MODOS DE FALLA										
Clase de Equipo								Modo de Falla		
Motor de combustión	Compresor	Generador Electrico	Motor Electrico	Turbina a Gas	Bomba	Turbina a Vapor	Turbo expander	Descripcion	Ejemplo	Codigo
X	X	X	X	X	X	X	X	Falla de la funcion ante demanda	No arranca ante demanda	FTS
X	X	X	X					Falla de parada ante demanda	No para ante demanda	STP
X	X	X	X	X	X	X	X	Parada inesperada	Parada inesperada	UST
X	X	X	X	X	X	X	X	Ruptura	Daño severo (fractura, explosion, etc.)	BRD
X	X		X	X	X	X	X	Salida por alta	Salida por encima de la especificacion deseada (sobrevelocidad)	HIO
X	X	X	X	X	X	X	X	Salida por baja	Salida por debajo de la especificacion deseada	LOO
X	X		X	X	X	X	X	Operación inestable	Oscilacion, inestable	ERO
X				X		X		Fuga externa de combustible	Fuga externa de suministro de combustible/gas	ELF
	X			X	X	X	X	Fuga externa de fluido de proceso	Aceite, gas, condensado, agua	ELP
X	X	X	X	X	X	X	X	Fuga externa de fluido utilitario	Lubricante, refrigerante	ELU
X	X			X	X	X	X	Fuga interna	Fuga interna de fluido de proceso o utilitario	INL
X	X	X	X	X	X	X	X	Vibracion	Vibracion anormal	VIB
X	X	X	X	X	X	X	X	Ruido	Ruido anormal	NOI
X	X	X	X	X	X	X	X	Temperatura excesiva	Partes mecanicas, escape de gases, refrigerante	OHE
X	X			X	X	X	X	Atascado/Taponamiento	Restriccion(es) de flujo	PLU
X	X	X	X	X	X	X	X	Desviacion de parametros	Los parametros monitoreados exceden los limites	PDE
X	X	X	X	X	X	X	X	Lectura anormal de instrumentos	Falsa alarma, instrumento defectuoso	AIR
X	X	X	X	X	X	X	X	Deficiencia estructural	Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosion)	STD
X	X	X	X	X	X	X	X	Problemas menores	Piezas flojas, decoloracion, contaminacion, etc.	SER

Fuente: ECOPETROL S.A.

Tabla 12. Modos de Falla 2.

MODOS DE FALLA										
Clase de Equipo							Modo de Falla			
Gruas	Intercambiadores de calor	Calentadores y calderas	Vasijas				Descripcion	Ejemplo	Codigo	
X	X	X	X				Lectura anormal de instrumentos	Falsa alarma, instrumento defectuoso	AIR	
X							Ruptura	Daño severo(fractura, explosion, etc.)	BRD	
	X		X				Transferencia de calor insuficiente	Refrigerante, temperatura por debajo de la especificacion	IHT	
	X	X	X				Fuga externa de fluido de proceso	Acite, gas, condensado, agua	ELP	
X	X	X	X				Fuga externa de fluido utilitario	Lubricante, refrigerante, aceite de barrera	ELU	
X							Falla al operar como se requiere	Falla general de operación	FTI	
X							Falla al rotar	Falla al rotar	FRO	
X							Falla de arranque ante demanda	Falla de arranque ante demanda	FTS	
		X					Insuficiente transferencia de calor	Perdida o tambien baja transferencia de calor	IHT	
X	X	X					Fuga interna	Fuga interna de fluido de proceso o utilitario	INL	
X							Suelta la carga	Suelta la carga	LOA	
X							Ruido	Ruido anormal	NOI	
X		X					Temperatura excesiva	Temperatura excesiva	OHE	
X							Deslizamiento	Deslizamiento de cable	SLP	
X							Operación inesperada	Operación inesperada	SPO	
	X	X	X				Atascado/taponamiento	Restriccion (es) de flujo	PLU	
X	X	X	X				Deficiencia estructural	Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosion)	STD	
X	X	X	X				Desviacion de parametros	Los parametros monitoreados exceden los limites	PDE	
X							Vibracion	Vibracion excesiva	VIB	
X	X	X	X				Problemas menores	Piezas flojas, decoloracion, contaminacion, etc.	SER	

Tabla 13. Modos de Falla 3

MODOS DE FALLA										
Clase de Equipo						Modo de Falla				
Detectores de Fuego	Detectores de Gas	Sensores de Proceso	Unidades Logicas de Control	Valvulas				Descripcion	Ejemplo	Codigo
X		X	X					Falla de la funcion ante demanda	Falla la activacion de señal o respuesta	FTF
				X				Falla de apertura ante demanda	No abre ante demanda	FTO
				X				Falla de cierre ante demanda	No cierra ante demanda	FTC
				X				Retardo en la operación	Apertura/Cierre por debajo del tiempo especificado	DOP
X	X	X	X	X				Operación inesperada	Falsa alarma	SPO
X	X	X	X	X				Salida por alta	Salida por encima de la especificacion deseada (sobrevelocidad)	HIO
X	X	X	X	X				Salida por baja	Salida por debajo de la especificacion deseada	LOO
	X							Salida muy baja		YLO
X		X	X					Operación inestable	Oscilacion, inestable	ERO
X	X	X						Sin salida	Sin salida	NOO
X	X							Señal inesperada de alarma por alto nivel	Ej. 60% del limite inferior de explosion (LEL)	SHH
X	X							Señal inesperada de alarma por bajo nivel	Ej. 20% del limite inferior de explosion (LEL)	SLL
				X				Atascado/Taponamiento	Restriccion (es) parcial o total de flujo	PLU
		X		X				Fuga externa de fluido de proceso	Aceite, gas, condensado, agua	ELP
		X		X				Fuga externa de fluido utilitario	Lubricante, refrigerante	ELU
				X				Fuga interna	Fuga interna de fluido de proceso o utilitario	INL
				X				Fuga en posicion cerrada	Fuga a traves de la valvula en posicion cerrada	LCP
				X				Lectura anormal de instrumentos	Falsa alarma, instrumento defectuoso	AIR
				X				Deficiencia estructural	Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosion)	STD
X		X	X	X				Problemas menores	Piezas flojas, decoloracion, contaminacion, etc	SER

Tabla 14. Modos de Falla 4

MODOS DE FALLA										
Clase de Equipo						Modo de Falla				
UPS	Transformadores							Descripcion	Ejemplo	Codigo
								Falla de la funcion ante demanda	No arranca ante demanda	FTF
	X							Salida errada de frecuencia	Error/Oscilacion de frecuencia	FOF
	X							Salida errada de tension	Error/salida inestable de tension	FOV
								Perdida de redundancia	Una o mas unidades redundantes no funcionan	LOR
	X							Operación inestable	Oscilacion, inestable	ERO
	X							Temperatura excesiva	Partes mecanicas, escape de gases, refrigerante	OHE
	X							Desviacion de parametros	Los parametros monitoreados exceden los limites	PDE
								Operación inesperada	Operación inesperada	SPO
	X							Lectura anormal de instrumento	Indicacion errada del nivel de aceite	AIR
								Atascado/Taponamiento	Tuberia obstruida	PLU
	X							Fuga externa de fluido utilitario	Fuga de aceite	ELU
	X							Deficiencia estructural	Ruptura del reservorio	STD
	X							Fuga interna	Fuga de aceite	INL
	X							Problemas menores	Piezas flojas, decoloracion, contaminacion, etc.	SER

4.1.5 Efectos de Modos de Falla

Tipos de efectos

Se tienen definidos 5 grupos fundamentales, alineados con los criterios de la matriz RAM de Ecopetrol.

- Efectos
 - ✓ Personas
 - ✓ Económica
 - ✓ Ambiente
 - ✓ Clientes
 - ✓ Imagen

Tipos principales de efectos

El tipo de efecto que evalúa las consecuencias económicas, se divide en los siguientes sub – tipos

- Económica
 - Económica – Ecuación de perdida
 - ✓ Pérdida de capacidad de transporte 1
 - ✓ Pérdida de capacidad de transporte 2
 - ✓ Pérdida de capacidad de transporte 3
 - ✓ Otros costos (USD/h)
 - ✓ Económica – Matriz RAM

Sub – tipos de efecto económico

Los efectos agrupados bajo ecuaciones de pérdida, hacen referencias a costos que aumentan linealmente con el tiempo de reparación de la falla analizada.

Efectos y asignación a modos de falla

Afectación a personas, ambiente, clientes e imagen

Los efectos serán asignados en cada uno de los criterios existentes alineados a la matriz RAM de Ecopetrol, seleccionando la consecuencia más probable que se espera si se materializa el modo de falla analizado.

- Efectos
 - Personas
 - ✓ Personas 0
 - ✓ Personas 1: Podría causar lesión leve (primeros auxilios)
 - ✓ Personas 2: Podría causar una lesión menor
 - ✓ Personas 3: Podría causar lesiones mayores (incapacidad parcial)
 - ✓ Personas 4: Podría causar una fatalidad o incapacidad total permanente
 - ✓ Personas 5: Podría causar múltiples fatalidades
 - Ambiente
 - ✓ Ambiente 0
 - ✓ Ambiente 1: Efecto leve
 - ✓ Ambiente 2: Efecto menor
 - ✓ Ambiente 3: Contaminación localizada
 - ✓ Ambiente 4: Contaminación mayor
 - ✓ Ambiente 5: Contaminación masiva (irreparable)

- Clientes
 - ✓ Clientes 0
 - ✓ Clientes 1: Incumplir especificaciones
 - ✓ Clientes 2: Quejas y/o reclamos
 - ✓ Clientes 3: Perdida de clientes y/o desabastecimiento
 - ✓ Clientes 4: Perdida de participación en el mercado
 - ✓ Clientes 5: Veto como proveedor
- Imagen
 - ✓ Imagen 0
 - ✓ Imagen 1: Interna
 - ✓ Imagen 2: Local
 - ✓ Imagen 3: Regional
 - ✓ Imagen 4: Nacional
 - ✓ Imagen 5: Internacional

Efectos con afectación al ambiente, clientes o imagen

Afectación Económica

La afectación económica se analiza en primera instancia empleando las ecuaciones de pérdida definidas, en los casos donde el costo esté relacionado con el tiempo de reparación del componente analizado. Si hay costos adicionales, asociados con la ocurrencia del evento (no dependientes del tiempo de reparación), se asignara adicionalmente la consecuencia más probable dentro de las opciones presentes en la matriz RAM de Ecopetrol.

- Económica
 - Económica – Ecuación de pérdida
 - ✓ Pérdida de capacidad de transporte 1
 - Pérdida 1(100%)
 - Pérdida 1(80%)

- Pérdida 1(60%)
- Pérdida 1(40%)
- Pérdida 1(20%)
- ✓ Pérdida de capacidad de transporte 2
- ✓ Pérdida de capacidad de transporte 3
- ✓ Otros costos (USD/h)
 - Consumo de energía
 - Costo 2
 - Costo 3
- Económica – Matriz RAM
 - Económica 0
 - Económica 1: USD 1,000
 - Económica 2: USD 10,000
 - Económica 3: USD 100,000
 - Económica 4: USD 1,000,000
 - Económica 5: USD 10,000,000

Efectos con afectación económica

Preguntas de asignación de efectos

La asignación de los efectos se realiza contestando las siguientes preguntas:

- ¿La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias cuantificables con las ecuaciones de pérdida validadas?

Si la respuesta es afirmativa:

- ¿Cuál es el porcentaje de pérdida aplicado? (según la Ecuación aplicable: Ej. pérdida del 80% de capacidad de transporte).
- ¿La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias relacionadas con los criterios de la matriz RAM?

- Personas

- Económicas
 - Ambientales
 - Clientes
 - Imagen
- Para los criterios en donde se determine que existe una afectación, ¿Cuál es el nivel de severidad más probable dentro de las 6 opciones presentadas?

4.1.6 Preguntas de Estimación de Fallas: La recopilación de datos de falla basados en la experiencia del personal técnico especialista, se realiza por medio de las siguientes preguntas:

- ¿cuántas veces se ha presentado el modo de falla analizado, tomando en cuenta el componente actual y componentes equivalentes? (2 fallas).
- ¿Durante qué periodo de tiempo se han presentado las fallas? (Ej.: los últimos 5 años).
- ¿Cuántos componentes equivalentes existen en la estación?

4.1.7 Parametrización de Tareas Correctivas: La información que caracteriza las tareas correctivas llevadas a cabo al presentarse un modo de falla, se recopila dando respuesta a los siguientes puntos:

- ¿Qué tarea se aplicaría para corregir el modo de falla si se presenta?
- ¿Cuál es la duración estimada para esta tarea? (tiempo efectivo sobre el equipo)
- ¿Qué tiempo estimado se emplea en actividades que no son de reparación sobre el equipo?

- ¿cuáles son los recursos de personal que se requiere para ejecutar la tarea y el tiempo de utilización de cada recurso?
- Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea. (Ej.: Servicio de Reparación)
- ¿Qué repuestos se utilizan en la aplicación de la tarea? (recopilar información detallada de los repuestos si se tiene disponible durante el taller)

4.1.8 Parametrización de Tareas Proactivas: La información que caracteriza las tareas proactivas definidas para controlar el riesgo asociado con un modo de falla, se recopila dando respuesta a los siguientes puntos:

- ¿Qué tareas se aplican actualmente para prevenir la ocurrencia del modo de falla? (Preventivas y Predictivas)
- ¿Si no se aplica actualmente una tarea Proactiva para controlar el modo de falla, qué tarea se recomienda?
- ¿Con qué frecuencia se aplican (o recomienda) estas tareas?
- ¿Cuál es la duración estimada para esta tarea? (tiempo efectivo sobre el equipo)
- ¿Qué tiempo estimado se emplea en actividades que no son de reparación sobre el equipo?
- ¿cuáles son los recursos de personal que se requiere para ejecutar la tarea y el tiempo de utilización de cada recurso?
- Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea(Servicio de reparación)

- ¿Qué repuestos se utilizan en la aplicación de la tarea? (recopilar información detallada de los repuestos si se tiene disponible durante el taller).

5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE RCM A SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA DEL TERMINAL MARITIMO POZOS COLORADOS.

5.1 PREMISAS DE UN ESTUDIO RCM

Las siguientes premisas son el punto de partida para el análisis de RCM, por lo tanto, para este estudio se considera que la organización debe propiciar el cumplimiento de ellas para poder implementar la nueva Estrategia de Mantenimiento, definida por el proceso RCM.

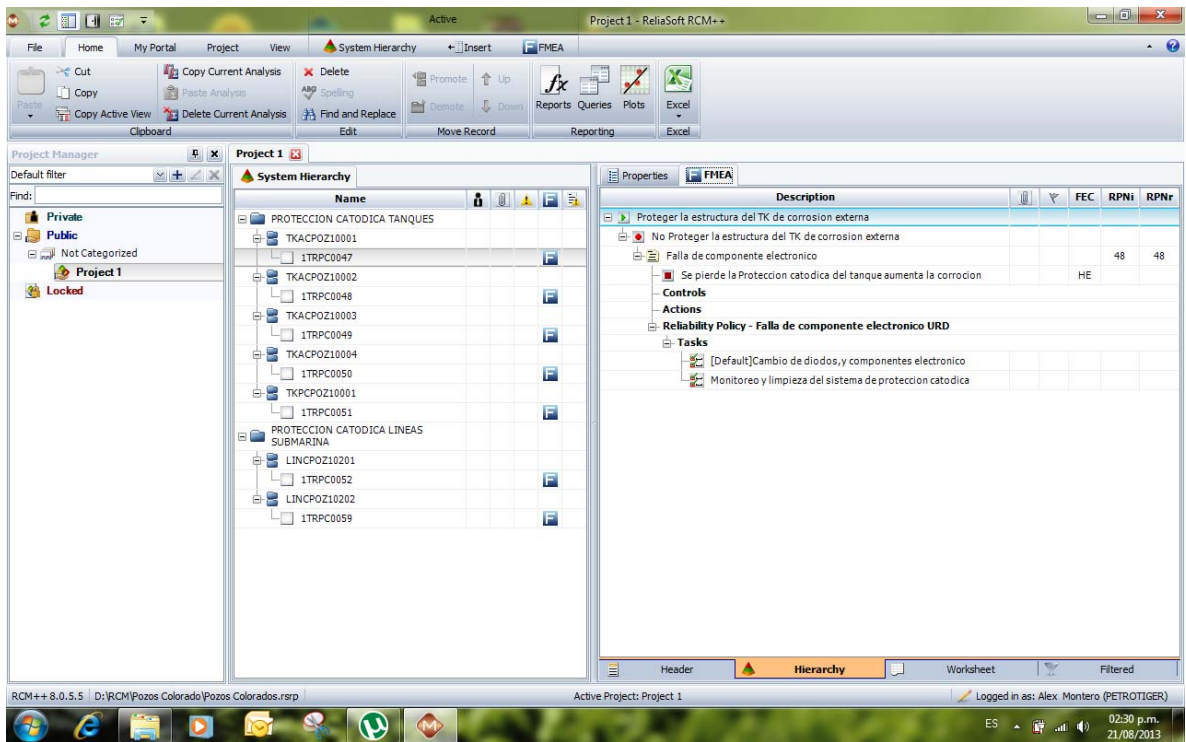
- Los equipos en stand-by deben estar disponibles y probados. El análisis de pérdida se basa en la disponibilidad del equipo auxiliar cuando aplique, su no disponibilidad aumentaría las consecuencias económicas por fallas múltiples.
- Los repuestos requeridos para el mantenimiento se consideran disponibles en bodega.
- Según la metodología durante el taller de RCM no se analizan fallas múltiples.
- Las fallas en la ejecución por procedimientos de mantenimiento, montaje y operación; la inadecuada especificación o selección de equipos no son tenidas en cuenta como modos de falla dominante en el análisis de RCM para determinar tareas de mantenimiento. En el evento de tener recurrencia en estas fallas, se definirá una acción para corregir su causa.

- Se planea y programa oportunamente: el cálculo económico de las pérdidas por falla de un equipo es estimado teniendo en cuenta sólo el tiempo empleado para su reparación o cambio. Por lo tanto, las demoras en la planeación y programación de las tareas no están incluidas, pero si aumentarían la consecuencia económica de la falla.
- RCM no analiza problemas de integridad mecánica, para lo cual la metodología apropiada es la Inspección Basada en el Riesgo (RBI).
- El escenario crítico para cada modo de falla es con base en “cero” mantenimiento.
- Se busca aumentar confiabilidad y la disminución de costos de mantenimiento.

5.2 EQUIPOS ANALIZADOS

Para el sistema Protección Catódica de Pozos Colorados, realizado el taller de análisis de RCM se analizaron 7 equipos durante el estudio.

Figura 15. Análisis RCM en software RCM++ de Reliasoft Sistemas Protección Catódica



Fuente: Software RCM++

Figura 16. Distribución de equipos por criticidad sistemas de protección catódica



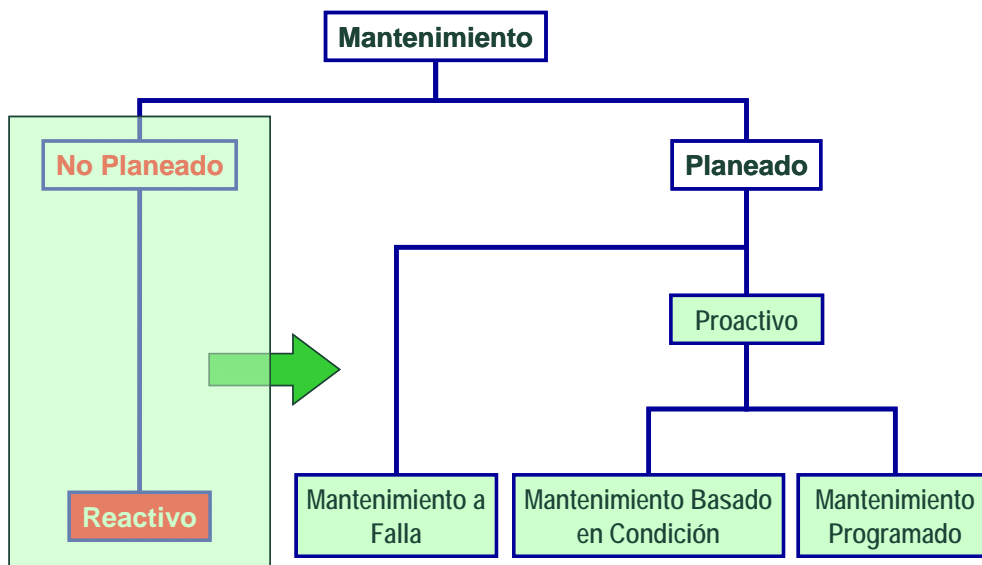
Fuente: Software RCM++

En esta se muestra la distribución de criticidad para los equipos de los Sistemas Protección Catódica, donde el mayor porcentaje está con criticidades baja 57%, y un 43% con criticidad media.

5.3 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ÓPTIMA

La estrategia de mantenimiento obtenida por el estudio de RCM de los activos para cumplir las funciones de los Sistemas Protección Catódica, se basa en la filosofía de trabajar con un mantenimiento planeado, minimizando el mantenimiento no planeado o reactivo. Ver figura 17.

Figura 17. Opciones de mantenimiento



Fuente: Software RCM++

El mantenimiento planeado incluye trabajar equipos a falla, para los casos donde técnicamente no es factible el mantenimiento proactivo por su característica aleatoria de falla o el proceso de degradación es súbito, o si el mantenimiento proactivo posible es más costoso que la reparación del equipo cuando falle. En este análisis se incluye las pérdidas de producción (generalmente bajas) y se analiza la eficacia de las tareas preventivas propuestas.

El mantenimiento planeado Proactivo contiene dos grandes grupos:

Mantenimiento Programado: Incluye las tareas que se programan para realizarse de acuerdo a una frecuencia de tiempo establecida y las cuales generalmente no requieren de inspección.

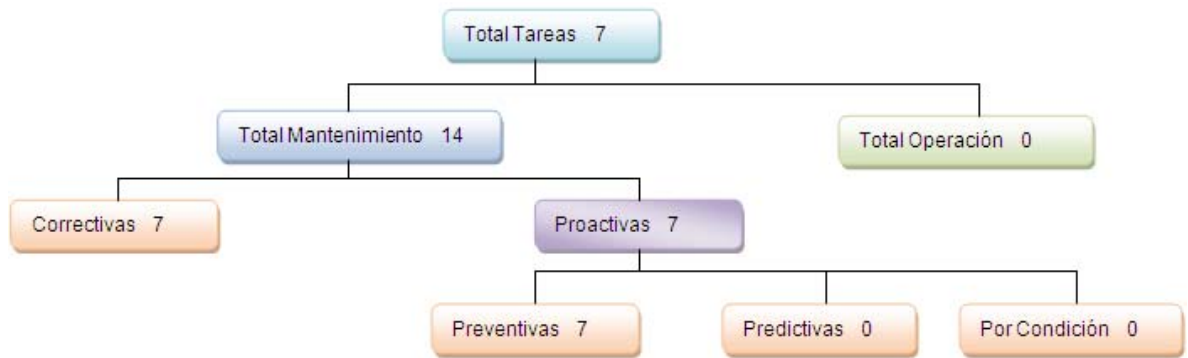
En este tipo de tareas también se incluye todas las inspecciones que obedecen a un programa de seguimiento de la condición de los equipos.

Mantenimiento por Condición: Incluye las tareas que se deben ejecutar una vez se ha realizado un análisis de la información de un monitoreo de la condición, en este tipo de tareas también se incluye todas las rutas de monitoreo y rutas del operador que obedecen a un programa de seguimiento de la condición de los equipos.

5.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

La figura 18 se muestra la distribución por número de tareas de acuerdo a la estrategia planteada en la figura 17.

Figura 18. Distribución por número de tareas



Fuente: Software RCM++

Analizando el resultado de la estrategia de mantenimiento para los equipos de los Sistema Protección Catódica, el 50% de las tareas corresponden a actividades de mantenimiento preventivo programado, el 50% de las tareas que resultaron del análisis de RCM son correctivos estos resultados se deben a que estos equipos son de naturaleza eléctrico y electrónico (estáticos) y para esta clase es difícil encontrar técnicas predictivas para predecir o encontrar fallas ocultas, a diferencias de equipos rotativos.

Para mantener la función de los equipo y a mitigar las consecuencias de las fallas o prevención de fallas tempranas no deseadas. En la figura 11 presenta la distribución de tareas por tipo de mantenimiento:

Figura 19. Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)



Fuente: Software RCM++

Analizando el número de tareas por especialidad la única disciplina que resultó con tareas correctivas programadas y preventivas es Integridad o Estáticas, esto se debe a que el mayor número de equipos que conforman este sistema son de Líneas y Tanques, además este frente está especializado para atender estos equipos.

La lista detallada de las tareas de Mantenimiento Planeado, definidas para los equipos de Sistema Protección Catódica, se presenta en el Anexo 2.

Cada una de las tareas definidas contiene la siguiente información relevante:

Tag (Nombre del equipo).

Modo de Falla.

Clasificación según matriz de evaluación de riesgos.

Tipo de Tarea.

Descripción de la Tarea.

Frecuencia de Ejecución.

6. CONCLUSIONES

Es imprescindible recordar que esta estrategia de mantenimiento funciona adecuadamente siempre y cuando se cumplan las premisas fundamentales como son la política de repuestos, stand by y la implementación de las tareas de acción.

Esta metodología nos brinda una gran ventaja toda vez que nos permite asegurar que todas las tareas definidas y que deban ser ejecutadas por el personal de mantenimiento, sean incluidas e implementadas como rondas estructuradas del departamento de mantenimiento y operaciones.

Por medio de esta metodología también se logra y garantiza que la Estructura de control de gestión realice seguimiento a la implementación de las estrategias de mantenimiento definidas por el RCM y a las listas de acciones definidas en él.

El RCM para los equipos mencionados de la planta nos brinda un gran avance y la capacidad de un mantenimiento acorde con las características de diseño y operación, ya que establece la aplicación efectiva de las mejores técnicas del mantenimiento planeado, teniendo en cuenta que a todos los equipos no se le aplican las mismas técnicas de mantenimiento, esto se logra identificar dependiendo los modos de falla conocidos en los equipos y las actividades asignadas para la prevención de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

DURAN Jose Reverse RCM, The Woodhouse partnership Limited, 1999.

ECOPETROL S.A. (Vicepresidencia de Transporte).

MORA GUTIERREZ Alberto – Mantenimiento Industrial Efectivo.

MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales ó de servicios - Enfoque Sistemático Kantiano. Medellín: AMG. 2005.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004.

ORTIZ, Daniel. Información suministrada en clases de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Barranquilla - Atlántico 2012

PEREZ J, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento – Sistemas de Información. Soporte y Cía Ltda – Colombia.

SAE JA1011 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers.

Paginas web consultadas:

www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/.../2consideraciones.asp

www.clubdemantenimiento.com/categoria/.../cmms-y-administración/

es.deister.net/es/solutions/business/ax-erp/cmms/

<http://www.commitment.com.uy/confiabilidad-ellmann-sueiro-y-asociados.html>

ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas

SAE JA – 1011 Evaluation Criteria for RCM Processes. MOUBRAY John - RCM

SAAVEDRA

G.

Pedro

(www.maquinaval.org.ar/.../MANTENIMIENTO_PREDICTIVO_MONIT

Metodología para hacer análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad
(www.ije.org.mx/boletin042012/tenden.pdf).

ANEXOS

ANEXO A: Estudio de criticidad

Item Name / Function	Failure	Effect	S	Modo Falla	Oi	Di	RPNI	Resultado			
								Sr	Or	Dr	RPNr
1 - PROTECCION CATODICA TANQUES											
TK 701 TECHO FLOTANTE 222500 BLS - TKACPOZ10001											
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 701 - 1TRPC0047											
Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	4	Falla de componente electrónico	4	3	48	2	4	3	24
TK 702 TECHO CONICO/MEMBRANA - TKACPOZ10002											
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 702 - 1TRPC0048											
Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	4	Falla de componente electrónico	4	6	96	2	4	3	24
TK 703 TECHO CONICO CON MEMBRANA - TKACPOZ10003											
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 703 - 1TRPC0049											
Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	4	Falla de componente electrónico	4	6	96	2	4	3	24
TK 704 TECHO FLOTANTE 250000 B - TKACPOZ10004											
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 704 - 1TRPC0050											
Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	4	Falla de componente electrónico	4	6	96	2	4	3	24
TANQUE RELEVO REFINADOS TK-705 - TKPCPOZ10001											
RECTIFICADOR PROTECCI CATODICA TK RELEVO - 1TRPC0051											
Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	4	Falla de componente electrónico	4	6	96	2	4	3	24
2 - PROTECCION CATODICA LINEAS SUBMARINA											
EQUIPOS LÍNEA/TRAMPA REC Y DES 106 - LINCPOZ10201											
RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA SUBMARINA - 1TRPC0052											
Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	No Proteger la estructura de la Línea submarina de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica de la Línea submarina aumenta la corrosión	6	Falla de componente electrónico	4	7	168	4	4	3	48
EQUIPOS LÍNEA/TRAMPA REC Y DES 108 - LINCPOZ10202											
RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA 108 - 1TRPC0059											
Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	No Proteger la estructura de la Línea submarina de corrosión externa	Se pierde la Protección catódica de la Línea submarina aumenta la corrosión	6	Falla de componente electrónico	4	5	120	4	4	3	48

FMEA

Function #	Function	Failure #	Falla Funcional	MF #	Modo Falla	Effect #	Effect
1 - PROTECCION CATODICA TANQUES							
TK 701 TECHO FLOTANTE 222500 BLS - TKACPOZ10001							
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 701 - 1TRPC0047							
1	Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión
TK 702 TECHO CONICO/MEMBRANA - TKACPOZ10002							
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 702 - 1TRPC0048							
1	Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión
TK 703 TECHO CONICO CON MEMBRANA - TKACPOZ10003							
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 703 - 1TRPC0049							
1	Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión
TK 704 TECHO FLOTANTE 250000 B - TKACPOZ10004							
RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 704 - 1TRPC0050							
1	Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión
TANQUE RELEVO REFINADOS TK-705 - TKPCPOZ10001							
RECTIFICADOR PROTECCI CATODICA TK RELEVO - 1TRPC0051							
1	Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	No Proteger la estructura del fondo del Tanque de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión
2 - PROTECCION CATODICA LINEAS SUBMARINA							
EQUIPOS LÍNEA/TRAMPA REC Y DES 106 - LINCPOZ10201							
RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA SUBMARINA - 1TRPC0052							
1	Proteger la Línea SubMarina de corrosión externa	1	No Proteger la estructura de la línea submarina de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica de la línea submarina aumenta la corrosión
EQUIPOS LÍNEA/TRAMPA REC Y DES 108 - LINCPOZ10202							
RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA 108 - 1TRPC0059							
1	Proteger la Línea SubMarina de corrosión externa	1	No Proteger la estructura de la línea submarina de corrosión externa	1	Falla de componente electrónico	1	Se pierde la Protección catódica la línea submarina aumenta la corrosión

ANEXO B: TAREAS DE MANTENIMIENTO

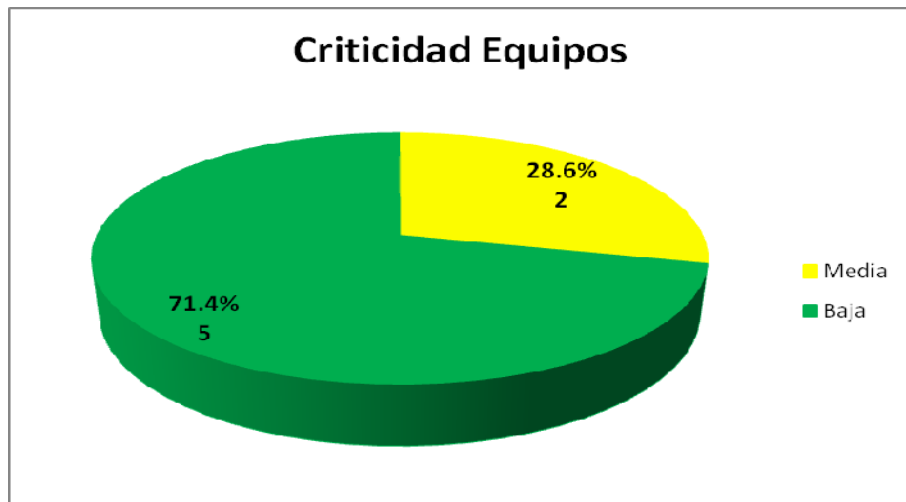
Tag	Descripción Tag	Tipo Mantenimiento	Task Description	Frecuencia Mantenimiento	Unidad Frecuencia Mantenimiento	Duración Tarea Mantenimiento
1TRPC0047	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 701	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0048	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 702	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0049	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 703	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0050	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 704	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0051	RECTIFICADOR PROTECCI CATODICA TK RELEVO	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0052	RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA SUBMARINA	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0059	RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA 108	Correctivo	Cambio de diodos, y componentes electrónico			6 Hr
1TRPC0047	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 701	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0048	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 702	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0049	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 703	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0050	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA TK 704	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0051	RECTIFICADOR PROTECCI CATODICA TK RELEVO	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0052	RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA SUBMARINA	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr
1TRPC0059	RECTIFIC PROTEC CATODICA LINEA 108	Preventivo	Monitoreo y limpieza del sistema de protección catódica	1	Mes	4 Hr

Frente Trabajo	Spare Pool	Function	Modo Falla	Oi	Si	Di	Criticidad Tarea	Effect	Categorización Consecuencia
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	3	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	6	7	48	Se pierde la Protección catódica de la Línea submarina aumenta la corrosión	Oculto Operacional
Integridad	Diodo de potencia 90 Amp, 100 VAC, fusibles ultrarrápidos 90A, interruptores(15A, 30A, 50A), Varistor 550V, filtros, transformador de 1 a 5 KVA, cable calibre # 10, 12 y 14	Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	6	5	48	Se pierde la Protección catódica la Línea submarina aumenta la corrosión	Oculto Operacional
Integridad		Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	3	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad		Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad		Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad		Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad		Proteger la estructura del TK de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	4	6	24	Se pierde la Protección catódica del tanque aumenta la corrosión	Oculto Económica
Integridad		Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	6	7	48	Se pierde la Protección catódica de la Línea submarina aumenta la corrosión	Oculto Operacional
Integridad		Proteger la Línea Submarina de corrosión externa	Falla de componente electrónico	4	6	5	48	Se pierde la Protección catódica la Línea submarina aumenta la corrosión	Oculto Operacional

ANEXO C: GRAFICAS

Tag	Criticidad
1TRPC0047	Baja
1TRPC0048	Baja
1TRPC0049	Baja
1TRPC0050	Baja
1TRPC0051	Baja
1TRPC0052	Media
1TRPC0059	Media

Criticidad No Equipos
Media 2
Baja 5



Tag	Tipo Mantenimiento
1TRPC0047	Correctivo
1TRPC0048	Correctivo
1TRPC0049	Correctivo
1TRPC0050	Correctivo
1TRPC0051	Correctivo
1TRPC0052	Correctivo
1TRPC0059	Correctivo
1TRPC0047	Preventivo
1TRPC0048	Preventivo
1TRPC0049	Preventivo
1TRPC0050	Preventivo
1TRPC0051	Preventivo
1TRPC0052	Preventivo
1TRPC0059	Preventivo

Tipo Mantenimiento	No Tareas
Preventivo	7
Correctivo	7



