

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN
RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES,
COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA
PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE
REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2
DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE DE LA
SUPERINTENDENCIA DEL RIO DE ECOPETROL S.A**

**GABRIEL ARDILA PEREZ
JOSE JULIAN MANTILLA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2008.**

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN
RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES,
COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA
PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE
REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2
DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE DE LA
SUPERINTENDENCIA DEL RIO DE ECOPETROL S.A**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
Rossvan Johan Plata Villamizar
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2008**

CONTENIDO

	Pág.
1. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES, COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2 DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE DE LA SUPERINTENDENCIA DEL RIO DE ECOPETROL S.A	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo General.	20
1.2.2 Objetivos Específicos.	20
1.3 JUSTIFICACIÓN	21
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	21
1.4.1 El alcance de este proyecto comprende:	21
1.4.2 Limitaciones.	22
1.5 DELIMITACIONES	22
1.5.1 Temporal	22
1.5.2 Espacial	22
1.5.3 Conceptual	23
2 MARCO LEGAL	24
3. DISEÑO METODOLOGICO	25
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	25
3.3 INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	25
4. ASPECTOS GENERALES DE ECOPETROL Y CONFIPETROL	26
4.1 RESEÑA HISTORICA ECOPETROL	26
4.1.2 UBICACIÓN	27

4.1.3 OBJETIVOS	27
4.1.4 MISIÓN	27
4.1.5 VISIÓN	27
4.2 RESEÑA HISTORICA CONFIPETROL:	28
4.2.1 MISIÓN	28
4.2.2 VISIÓN	28
4.2.3 VALORES	28
4.2.4 POLÍTICA INTEGRAL DE SALUD, SEGURIDAD, AMBIENTE & CALIDAD	29
4.2.5 OBJETIVOS DE CALIDAD:	29
5. GENERALIDADES	30
Mantenimiento correctivo. Servicios de reparación en ítems con falla.	31
5 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.	32
5.1 El Cambiante Mundo del Mantenimiento	32
5.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	33
5.3 Mantenimiento y RCM	39
5.4 RCM: Las siete preguntas básicas	39
5.5 APLICANDO EL PROCESO DE RCM	49
5.6 Qué logra el RCM	51
6. FUNCIONES	54
6.1 DESCRIBIENDO FUNCIONES	54
6.2 ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO	54
6.3 El Contexto Operacional	59
6.4 Diferentes Tipos de Funciones	62
6.5 Cómo deben listarse las funciones	67
7 FALLAS FUNCIONALES	68
7.1 FALLA	68
7.2 FALLAS FUNCIONALES	69
8. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)	72

8.1. ¿QUÉ ES UN MODO DE FALLA?	73
8.2. ¿Por qué analizar los Modos de Falla?	74
8.3. Categorías de Modos de Falla	75
8.4. ¿CUÁNTO DETALLE?	75
8.5. EFECTOS DE FALLA	76
8.6. FUENTES DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS	79
9. MANTENIMIENTO PROACTIVO	81
9.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y TAREAS PREVENTIVAS	81
9.2 EDAD Y DETERIORO	82
9.3. FALLAS RELACIONADAS CON LA EDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO	85
9.4 TAREAS DE RE-ACONDICIONAMIENTO Y SUSTITUCIÓN CÍCLICA	86
10. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	88
10.1 PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE Y PLANTA DE RE-INYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO DE LA SUPERINTENDENCIA DEL RÍO DE ECOPETROL S.A	88
10.1.1 Participantes	88
10.1.2 Desarrollo	88
10.1.2.1 Programación	88
10.1.3 Descripción Del Proceso	89
10.1.3.1 Objetivos De La Planta De Inyección De Agua De Casabe	89
10.1.3.2 Objetivos De La Planta De Re-Inyección De Agua Residual De Cantagallo	89
10.1.4 Tasa De Cambios Entre Dolares Y Pesos Colombianos	89
10.1.5 Costo De Personal	90
10.1.6 Pérdida De Producción.	90
10.1.6.1Planta de Inyección de Agua de Casabe	90
10.1.6.2 Planta de Tratamiento y Re-inyección de Aguas Residuales de Cantagallo.	90

10.1.7 Resultados	91
10.1.7.1 Premisas	91
10.1.8 Equipos Analizados	92
10.1.9 Distribución De Los Equipos Por Criticidad	93
10.1.10 Planta de Inyección de Agua de Casabe	95
10.1.11 Planta de Tratamiento y Re-inyección de Aguas Residuales de Cantagallo.	97
10.1.12 Estrategia De Mantenimiento	98
10.1.12.1 Planta de Inyección de Agua de Casabe.	100
10.1.12.2 Planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.	105
10.1.13 Recomendaciones	111
10.2 Estación 2 De Recolección Y Tratamiento Casabe	112
10.2.1 Participantes	112
10.2.2 Desarrollo	112
10.2.2.1 Programación	112
10.2.3 Descripción Del Proceso	112
10.2.3.1 Objetivos De La Estación 2 De Recolección Y Tratamiento De Crudo De Casabe	112
10.2.4 Tasa De Cambios Entre Dolares Y Pesos Colombianos	113
10.2.5 COSTO DE PERSONAL	113
10.2.6 Pérdida De Producción.	114
10.2.6.1 Estación 2 de Casabe	114
10.2.7 Resultados	114
10.2.7.1 Premisas	114
10.2.8 Equipos Analizados	115
10.2.9 Distribución De Los Equipos Por Criticidad	116
10.2.10 Estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe	117
10.2.11 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	119
10.2.11.1 Estación 2 de Recolección y Tratamiento de Casabe.	120

10.2.12 Recomendaciones	126
CONCLUSIONES	128
ANEXOS	129
BIBLIOGRAFIA	130

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5.1 Expectativas de mantenimiento creciente	34
Figura 5.2 Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos	36
Figura 5.3: Cambios en las técnicas de Mantenimiento	37
Figura 5.4 La Perspectiva tradicional de falla	44
Figura 5.5: Seis patrones de falla	45
Figura 5.6 Equipo de trabajo para el desarrollo de la estrategia R.C.M	50
Figura 6.1: Margen de deterioro	55
Figura 6.2: Un activo físico mantenible	56
Figura 6.3: Un activo físico no mantenible	57
Figura 7.1: Estado genera de falla	69
Figura 7.2: Falla Funcional	71
Figura 7.3: El activo sigue estando bien a pesar de cierto deterioro	72
Figura 9.1: Deterioro hasta la falla	82
Figura 9.2: Absolutamente predecible	83
Figura 9.3: Gráfica Edad vs Esfuerzo	84
Figura 9.4: Fallas relacionadas con la edad	85
Figura 10.1 Tasa de Cambios	89
Figura 10.2 Costo De Personal	90
Figura 10.3 Distribución de equipos según la especialidad para la planta de inyección de agua Casabe	92
Figura 10.4 Distribución de equipos según la especialidad para la planta de re-inyección de agua Cantagallo	93
Figura 10.5 Distribución de equipos por criticidad equipos de la planta de inyección de agua de Casabe, SAR	94
Figura 10.6 Distribución de equipos por criticidad para la planta de reinyección de agua residual Cantagallo, SAR	95

Figura 10.7 Criticidad por especialidad para la planta de inyección de Casabe	96
Figura 10.8 Criticidad por especialidad para la planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo	98
Figura 10.9 Opciones de Mantenimiento	99
Figura 10.10 Opciones de Mantenimiento planta de inyección de agua de Casabe	100
Figura 10.11 Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)	101
Figura 10.12 Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)	102
Figura 10.13 Análisis del costo beneficio global	102
Figura 10.14 Reducción de riesgo global	102
Figura 10.15: Opciones de Mantenimiento planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.	105
Figura 10.16. Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)	106
Figura 10.17. Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)	108
Figura 10.18 Análisis Global	102
Figura 10.19 Reducción Global	114
Figura 10.20 Distribución de equipos según la especialidad para la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe.	115
Figura 10.21. Distribución de equipos por criticidad equipos de la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe, SAR.	116
Figura 10.22 Criticidad por especialidad para la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe	117
Figura 10.23 Opciones de Mantenimiento	119
Figura 10.24 Opciones de Mantenimiento Estación 2 de Recolección y Tratamiento de Casabe	121

Figura 10.25 Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)	122
Figura 10.26 Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)	123

RESUMEN

El presente proyecto de grado diseña la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad para los equipos mecánicos de tres estaciones de la superintendencia del río de ECOPETROL S.A, donde se determina su grado de criticidad y el mantenimiento requerido para mitigar sus modos de falla y disminuir los riesgos que estos generan a producción, medio ambiente, personas y a la imagen de ECOPETROL S.A, de acuerdo a la valoración en la matriz riesgos. Siguiendo este diseño como modelo de mantenimiento, se tendrá una estrategia tipo planeada para cada equipo de las respectivas estaciones, que en términos de costos debe ser menor a la reducción del riesgo que sus modos de falla proporcionen. Después de ser implementada esta estrategia, el grupo de confiabilidad posee autonomía para modificarla según los resultados de sus evaluaciones de mantenimiento.

ABSTRACT

This project design the maintenance strategy based on reliability for mechanical equipment of three stations in the Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A, which determines the degree of criticality and maintenance required to mitigate their failure modes and reduce risks that they generate to production, the environment, people and the image of ECOPETROL S.A, according to the risk assessment matrix. Following this design as a model of maintenance, will provide a strategy type planned for each equipment of respective stations, which cost should be less than the reduction in the risk that their failure modes provide. After being implemented this strategy, the reliability group has autonomy to change it depending on the results of their evaluations of maintenance.

GLOSARIO

1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ACTIVO (ASSET): los edificios, planta, maquinaria y otros ítems permanentes requeridos por el usuario para producir y suministrar un producto

AVAILABILITY: característica de falla. Propiedades generales (patrón de falla y comportamiento) de un modo de falla o número de modos de fallas

CAUSA DE FALLA: circunstancia durante el diseño, manufactura o uso que conlleva a una falla.

COMPONENTE: una de las partes que hacen un ítem. Un componente puede ser hardware o software, y puede ser subdividido en otros componentes

CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM): mantenimiento basado en condición y mantenimiento pro-activo realizado de acuerdo a la necesidad producto de un monitoreo de condición. También se conoce como Mantenimiento Predictivo.

CONDITION MONITORING (Monitoreo de Condición): la medición continua o periódica y la interpretación de la información que indica la condición de un ítem y determinar la necesidad de su mantenimiento.

CONFIABILIDAD: la probabilidad que un ítem pueda desempeñar una función requerida bajo unas condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

CONSECUENCIA DE FALLA: daño o daño potencial de una falla de una planta para la seguridad, economía o ambiente.

CRITICIDAD: medición del riesgo anual de un ítem bajo las siguientes asunciones: 1) no mantenimiento, 2) independiente de inspección, y 3) considerando la falla no revelada de la función de protección.

DEFECTO: condición anormal que puede causar una reducción o pérdida de la capacidad de un ítem de realizar una función requerida.

DISPONIBILIDAD: la habilidad de un ítem para estar en un estado de desempeñar una función requerida bajo unas condiciones dadas en un instante o intervalo dado de tiempo, asumiendo que los recursos externos requeridos son suministrados.

ESTIMATED TIME BETWEEN FAILURES WITHOUT MAINTENANCE

(ETBF): tiempo Estimado Entre Fallas si no se realiza mantenimiento (esto es sin observaciones humanas e intervención).

ESTIMATED TIME BETWEEN CONCEQUENCES WITH MAINTENANCE

(ETBC): tiempo Estimado Entre Fallas con realización de tareas de mantenimiento preactivas. Refleja la efectividad del mantenimiento pro-activo para prevenir la ocurrencia de una falla inesperada.

ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO: la política adoptada en un plan de mantenimiento para poder lograr los objetivos del negocio. Resulta en las opciones de mantenimiento para un ítem en particular.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)

Un método cualitativo de análisis de confiabilidad el cual involucra el estudio de los modos de falla que pueden existir en cada componente de un ítem y la determinación de los efectos de cada modo de falla sobre otros componentes y sobre la función requerida del ítem.

FALLA FUNCIONAL: la terminación de la habilidad de un ítem para realizar una función requerida, o su comportamiento no está de acuerdo con los requerimientos específicos.

FALLA NO REVELADA: cualquier falla cuya ocurrencia puede ser solo detectada por falla a una función en demanda, o por inspección, o por una prueba. También se conoce como Falla Oculta, Durmiente o Encubierta

FALLA REVELADA: la ocurrencia de la falla es obvia por la terminación de la habilidad de ítem afectado para realizar su función requerida. También se conoce como falla evidente.

FUNCIÓN: un propósito específico de una entidad o su acción característica.

FUNTIONAL FAILURE ANALISIS (FFA): análisis de Falla Funcional. Un método analítico para valorar cualitativa y cuantitativamente los efectos de falla de cada modo de falla identificado en un sistema de proceso.

INSPECCIÓN: actividades tales como medición, exámenes, pruebas, cálculos de una o más características de un producto o servicio y compararlos con los requerimientos específicos para determinar una conformidad.

INTEGRIDAD: integridad técnica de un sistema existe cuando bajo unas condiciones de operación específica, no hay riesgo posible que su falla afecten las personas, el ambiente o el valor del activo.

ÍTEM: unidad de hardware o software, o ambos, capaz de cumplir un propósito específico (recipiente, bomba, IPF). También se conoce como ítem de equipo.

JUST IN TIME (JIT): característica de los equipos para representar las condiciones necesarias para los cuáles fueron pensados en funcionar.

MAINTENANCE EFFECTIVINESS INDEX (MEI): índice de Eficiencia de Mantenimiento. Relación entre la reducción del riesgo económico anualizado y los costos de la reducción.

MANTENIMIENTO: combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas, incluyendo acciones de supervisión, para retener o restaurar un equipo a un estado en el cual pueda realizar una función requerida.

MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN: ver Condition Based Maintenance (CBM).

MANTENIMIENTO NO PLANEADO: mantenimiento llevado a cabo sin un plan predeterminado.

MANTENIMIENTO PLANEADO: el mantenimiento organizado y ejecutado con un plan predeterminado previamente preparado, controlado y registrado.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: mantenimiento pro-activo realizado de acuerdo a la necesidad producto de un monitoreo de condición.

MANTENIMIENTO PRO-ACTIVO: el mantenimiento planeado llevado a cabo a un intervalo predeterminado o correspondiente a criterio establecido (condición) y con la intención de reducir la probabilidad de falla o la degradación del desempeño de un ítem. También se conoce como la agrupación del mantenimiento preventivo y predictivo.

MANTENIMIENTO PROGRAMADO: mantenimiento preventivo realizado de acuerdo con un tiempo establecido. En ciertas instancias, de acuerdo a una estadística llevada como, horas de operación, distancia recorrida, etc.

MANTENIMIENTO REACTIVO: mantenimiento realizado después de que una falla ha ocurrido y se intenta restaurar un ítem a un estado en el cual puede desempeñar su función. También conocido como Mantenimiento Correctivo, a Rotura o basado en fallas.

MATRIZ DE RIESGOS: representación gráfica de la matriz como una combinación de la probabilidad y consecuencia, usada como una base para la determinación cualitativa del riesgo. Las consideraciones para la evaluación de la probabilidad

son mostradas en un eje. Las consideraciones para la evaluación de la consecuencia son mostradas en el otro eje. La intersección de las dos consideraciones en la matriz, da una estimación del riesgo.

MEAN TIME BETWEEN FAILURE (MTBF): ver Tiempo Medio Entre Falla (TMEF).
MECANISMO DE FALLA: proceso físico, químico u otro, que resulta en una falla.

MITIGACIÓN: hacer una consecuencia menos severa o aliviarla.

MODO DE FALLA: una descripción cualitativa de cómo un ítem puede fallar (Ej.: fuga por sello, filtro taponado, rodamiento pegado, etc.)

MODO DOMINANTE DE FALLA: modo de falla con alta posibilidad de ser responsable de una falla funcional bajo consideración.

NON-INTRUSIVE INSPECTION: ver Inspección No Intrusiva.

PRICE OF CONFORMANCE (POC) PRECIO DE CONFORMIDAD: cuantificación de costos (anualizados) del mantenimiento pro-activo y las tareas de inspección para prevenir la ocurrencia de un modo de falla específico.

PRICE OF NON-CONFORMANCE (PONC) PRECIO DE NO CONFORMIDAD. cuantificación de los costos (anualizados) de un modo de falla específico en términos de pérdida de producción, labor y materiales.

PROBABILIDAD DE FALLA: la medida de la posibilidad de ocurrencia de una falla. Dependiendo de la metodología usada, los términos más específicos son: Susceptibilidad a Fallar (RBI), ETBF (RCM), Rata de Demanda (IPF).

PROBABILIDAD DE FALLA EN DEMANDA: la probabilidad de que un ítem falle para responder a una demanda. Adimensional.

PRUEBA: operación técnica que consiste en la determinación de una o más características de un producto, proceso o servicio dado, de acuerdo a un procedimiento específico.

RIESGO: combinación de la probabilidad o frecuencia de la ocurrencia de un peligro definido y la magnitud de la consecuencia de lo ocurrido.

RIESGO, VALORACIÓN: el análisis integrado del riesgo inherente en un producto, sistema o planta y su importancia en un contexto apropiado.

RISK & RELIABILITY MANAGEMENT (RRM) GESTIÓN DEL RIESGO Y LA CONFIABILIDAD. métodos de Shell para integración de S-RBI, S-RCM e IPF.

RUN TO FAILURE (RTF): una opción de mantenimiento que es seleccionada para ítems que no se justifica el mantenimiento pro-activo o inspección, es decir, ítems con criticidad despreciable y donde el mantenimiento pro-activo no es considerado costo efectivo.

SHELL-RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE (S-RCM). versión de Shell del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, como un proceso estructurado y soportado en una decisión multidisciplinaria para la determinación costo-efectivo de los requerimientos óptimos de mantenimiento de un cualquier activo físico en su contexto operacional.

SHELL – RISK BASED INSPECTION (S-RBI). versión Shell de una metodología basada en el riesgo de falla, para determinar la estrategia de inspección para cualquier activo físico en su contexto de mantenimiento

SISTEMA. un grupo de ítems organizados para cumplir una o varias funciones específicas (lazo de corrosión, lazo funcional, grupo funcional).

TAG: un número único asignado a una localización (funcional) en una planta.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF) PROMEDIO DE TIEMPO ENTRE FALLAS: promedio de tiempo entre fallas, usualmente se asume el tiempo de reparación como cero o despreciable. $TMEF = 1/\text{Rata de Falla}$. Para ítems no reparables, el similar Tiempo Medio Para Fallar (TMPF) es usado.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE RIESGO: propuesta estructurada para la identificación de eventos potenciales peligrosos, estimando su probabilidad y las consecuencias de los eventos de peligro hacia las personas, ambiente y recursos.

VIDA REMANENTE: el periodo, desde la última inspección, para lo cual se estima que un ítem o componente puede seguir operando en forma segura dentro una ventana operativa acordada.

2. Abreviaciones

ACR	Análisis de Causa Raíz de Falla (RCA)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
API	American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo)
BEC	Basic Equipment Care (Cuidado Básico del Equipo)
CBM	Condition Based Maintenance (Mantenimiento Basado en Condición)
CBT	Condition Based Task [Tarea Basada en Condición]
CMT	Condition Monitoring Task [Tarea de Monitoreo de Condición]
CM	1 – Condition Monitoring [Condición de Monitoreo] 2 – Corrosion Rate (Proporción de Corrosión)
DCS	Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)
ECG	Estructura de Control de Gestión
ETBC	Estimated Time Between Consequences (Tiempo Estimado Entre Consecuencias)
ETBF	Estimated Time Between Failures (Tiempo Estimado Entre Fallas)
ELLIPSE	Versión de MIMS. Herramienta informática para la administración del Mantenimiento.
FFA	Functional Failure Analysis (Análisis de Falla Funcional)
FMEA	Failure Modes & Effects Analysis (Modos de Falla Y Efectos De Análisis)
HAZOP	Hazard & Operability (Riesgo y Operabilidad)
HSE	Health Safety Environment (Salud, Seguridad y Ambiente)
IPF	Instrumented Protective Function (Función Proteccionista Instrumentada)
MBO	Maintenance by Operators (Mantenimiento por operadores)
MEI	Maintenance Effectiveness Factor (Factor de Efectividad de Mantenimiento)
MIMS	Mincom Information Management.
MMS	Maintenance Management System (Sistema de Gestión de Mantenimiento)
MTBF	Mean Time Between Failures (Utilizar TMEF)
NDT	Non Destructive Testing (Ensayo No Destructivo)
PD	Maintenance Predictive (Mantenimiento Predictivo)
PEFS	Process Engineering Floe Scheme (Esquema de Flujo de Ingeniería de Proceso)
PFS	Process Flow Scheme (Esquema de Proceso de Flujo)
P&ID	Piping & Instrument Diagram (Diagrama de Instrumentación y Tubería)
PM	1 – Planned Maintenance (Mantenimiento Planeado) 2 – Proactive Maintenance (Mantenimiento Pro-activo)
POC	Price Of Conformance [Costo del Mantenimiento Planeado]

PONC	Price Of Non Conformance [Costo en el escenario de cero Mantenimiento]
PV	Preventive Maintenance (Mantenimiento Preventivo)
QRA	Quantitative Risk Assessment (Valoración de Riesgo cuantitativa)
RAM	Risk Assessment Matrix (Matriz de Evaluación de Riesgos)
RBI	Risk Based Inspection (Inspección Basada en el Riesgo)
RCA	Root Cause Anlysis. (Utilizar la sigla ACR: Análisis de Causa Raíz de Falla)
RCM	Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
RRM	Risk & Reliability Management (Gestión de Riesgo y Mantenimiento)
RTF	Run To Failure (Tarea a Falla)
SIL	Safety Integrity Level (Nivel de Integridad Segura)
TBT	Time Based Task. (Tarea Basada en Tiempo)
T/A	Turn Around (Parada General de Planta para Inspección)

1. DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES, COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2 DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE DE LA SUPERINTENDENCIA DEL RIO DE ECOPETROL S.A

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todas las estaciones de la superintendencia del río de ECOPETROL S.A poseen una estrategia de mantenimiento proactivo de origen preventivo, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes de los equipos y al histórico de falla de estos. Esta modalidad de mantenimiento no es el más costo efectiva conveniente, además los procedimientos de las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente no se encuentran vinculados a un sistema de gestión de calidad.

Se diseñará la estrategia de mantenimiento basada en la metodología RCM (reliability centered maintenance), donde se integra los mantenimientos del tipo planeado que son, a falla, por condición y programado, para todas las plantas y componentes del negocio de esta superintendencia, teniendo disminución y mejor distribución de recursos de mantenimiento y pérdidas de producción. Este proyecto desarrolla lo concerniente a la estrategia de mantenimiento para bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y Estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A.

A lo largo de este documento en donde se mencione activo físicos, se estará referenciando las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la superintendencia del río de ECOPETROL S.A.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Diseñar el plan de mantenimiento para Bombas Centrífugas y Reciprocantes, Compresores y Motores de Combustión Interna pertenecientes a la planta de inyección de agua Casabe (Antioquia), planta de reinyección de agua residual Cantagallo (Bolívar) y a la estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe (Antioquia) de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A mediante el uso de la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) para tener un plan de mantenimiento tipo planeado, teniendo en cuenta que este sea efectivo para reducir el riesgo de pérdida de producción.

1.2.2 Objetivos Específicos.

1. Capturar y preparar la información de Bombas Centrífugas y Reciprocantes, Compresores y Motores de Combustión Interna de la planta de inyección de agua Casabe (Antioquia), planta de reinyección de agua residual Cantagallo (Bolívar) y Estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe (Antioquia) mediante formatos de creación y clasificación de equipos de ECOPETROL S.A que serán diligenciados en visitas de campo, donde se registrará la totalidad de activos físicos y sus respectivas características operacionales a los cuales se someterán al proceso RCM.
2. Desarrollar reuniones RCM con el grupo de especialistas en equipos rotativos y reciprocantes para identificar y definir ventanas operacionales, funciones de los equipos, fallas funcionales, modos de falla, análisis de efectos y criticidad, tareas de mantenimiento y frecuencias de las tareas aplicables a los equipos seleccionados con el fin de realizar el análisis de costos de mantenimiento vs pérdida de producción utilizando el software RRM (Risk and Reliability Management).
3. Consolidar las tareas de mantenimiento de igual periodicidad (Maintenance Schedule Tasks), haciendo un análisis de las frecuencias de las tareas de los activos físicos, con el propósito de optimizar los recursos económicos asignados al plan de mantenimiento y las disminuir pérdidas de producción por parada de equipos.

4. Elaborar Standard Jobs - SJ (Tareas Estándar), para las tareas de mantenimiento del plan, en el formato de ECOPETROL S.A, con el propósito de garantizar una adecuada ejecución técnica de los trabajos de mantenimiento.

5. Crear procedimientos de las tareas de mantenimiento de los activos físicos del plan de mantenimiento basado en RCM¹, según norma ISO 9001 versión 2000 para asegurar la calidad de las tareas y los requerimientos de ECOPETROL S.A.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se tomó el tema de mantenimiento para el desarrollo del presente proyecto de grado porque es una ocupación propia de la ingeniería, que hoy día es visto por las compañías como una inversión para mantener sus equipos en óptimas condiciones, disponibles y confiables para desempeñar su función. De manera que el mantenimiento está en constante desarrollo y crecimiento tecnológico, es un sector estratégico que emplea a multitud de profesionales, de todo tipo de cualificación, como técnica, estadística de calidad entre otros. Este proyecto muestra el mantenimiento como una inversión y necesidad para ECOPETROL S.A, implementa las diferentes técnicas y tecnologías de mantenimiento para aplicar RCM y deja gran inquietud de continuar realizando estudios profesionales de mantenimiento.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 El alcance de este proyecto comprende:

✓ Levantamiento de información de bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A mediante formatos de creación y clasificación de equipos para ECOPETROL S.A.

✓ Entregar resultados de análisis de costos de mantenimiento efectuado mediante el software RRM (Risk And Reliability Management).

¹ A lo largo de este documento (Reliability Centered Maintenance) será llamada RCM.

- ✓ Entregar informe de agrupación de tareas de igual periodicidad de bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A.
- ✓ Entregar informe de Standard Jobs (SJ) de bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A.
- ✓ Entregar informe de procedimientos según norma ISO 9001 versión 2000, de esta manera en este punto queda diseñada la estrategia de mantenimiento basada en RCM, que será en el mes de diciembre de 2007.

1.4.2 Limitaciones.

- ✓ Teniendo en cuenta el planteamiento inicial no se accederá en los ítems de designación de partes o repuestos para los equipos.
- ✓ Falta información completa de los equipos en el software de administración de mantenimiento llamado ELLIPSE.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 Temporal. La empresa CONFIPETROL O&M permite que dos estudiantes adscritos a la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana desarrollen un proyecto de grado para este caso el diseño de la estrategia basada en RCM para la superintendencia del Río de ECOPETROL S.A lo concerniente a bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe de la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A bajo la modalidad de proyecto de grado en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana a partir de Agosto de 2007. El tiempo para la elaboración del proyecto se tiene estimado hasta el mes de Diciembre de 2007, el cual podrá ser modificado según las situaciones adversas que se presenten durante la ejecución del mismo.

1.5.2 Espacial. El proyecto de grado se realizará a la Planta de inyección de agua, Estación dos de recolección y tratamiento de crudo ubicadas en Casabe (Antioquia) y a la Planta de Reinyección de agua residual Cantagallo (Bolívar) de la Superintendencia del río de ECOPETROL S.A y que es propiedad de ECOPETROL S.A.

1.5.3 Conceptual. Los conceptos aplicados en el proyecto están definidos por el instructivo estandarizado de ECOPETROL S.A., para la realización de los estudios de análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM. Anexo1

2 MARCO LEGAL

Dentro del reglamento de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, el Artículo 1 de la norma para la presentación de los proyectos de grado “Los programas de Ingeniería y Administración de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, establecen como uno de los requisitos de grado la realización por parte del estudiante de un trabajo de grado especial denominado “Trabajo de Grado”, el cual se puede desarrollar en una de las siguientes modalidades: Proyecto de Grado, Práctica Empresarial y Práctica Social.

El presente proyecto de grado se realiza en convenio entre la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y la empresa CONFIPETROL O&M que es la encargada de realizar mantenimiento basado en confiabilidad a la Superintendencia del Río de ECOPETROL S.A bajo la siguiente relación contractual con ECOPETROL S.A: SUMINISTRO DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS, MECANICOS Y DE INSTRUMENTACION DE LAS FACILIDADES DE SUPERFICIE EN LOS CAMPOS DE PRODUCCION DE LA GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO (GRM) DE ECOPETROL S.A, UBICADOS EN LOS MUNICIPIOS DE YONDO Y PUERTO TRIUNFO (ANTIOQUIA), CANTAGALLO (BOLIVAR), PUERTO WILCHES, BARRANCABERMEJA, SABANA DE TORRES (SANTANDER) Y SAN MARTIN (CESAR)

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación de campo. El trabajo se le realizará a las áreas que presentan la necesidad, esto es Planta de inyección de agua, Estación dos de recolección y tratamiento de crudo ubicadas en Casabe (Antioquia) y a la Planta de Reinyección de agua residual Cantagallo (Bolívar) de la Superintendencia del río de ECOPETROL S.A

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población objeto de esta investigación es la misma muestra, la cual esta conformada por el 100% de las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la Planta de inyección de agua, Estación dos de recolección y tratamiento de crudo ubicadas en Casabe (Antioquia) y a la Planta de Reinyección de agua residual Cantagallo (Bolívar) de la Superintendencia del río de ECOPETROL S.A

3.3 INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Los instrumentos que se utilizarán para la recolección de información es básicamente: Formato de creación y clasificación de equipos para ECOPETROL S.A. y cámara fotográfica.

4. ASPECTOS GENERALES DE ECOPETROL Y CONFIPETROL

ECOPETROL S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.

4.1 RESEÑA HISTORICA ECOPETROL

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

ECOPETROL emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines, conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus estatutos, salvo excepciones consagradas en la ley (Decreto 1209 de 1994).

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de ECOPETROL y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una

nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo.

En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en ECOPETROL S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 4832 del 31 de octubre de 2005, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá D.C., y aclarada por la Escritura Pública número 5773 del 23 de diciembre de 2005.

4.1.2 UBICACIÓN

2005 ECOPETROL S.A. Derechos Reservados.
Bogotá D.C. Edificio Principal Carrera 7 No. 37-65
Conmutador 2344000 - Fax 2344099

4.1.3 OBJETIVOS

Cumplir las leyes regulaciones locales y nacionales, las políticas corporativas de los socios y los estándares de la industria.

4.1.4 MISIÓN

Creamos riqueza y bienestar para todos los colombianos.

4.1.5 VISIÓN

ECOPETROL S.A será una empresa internacional de petróleo & gas, altamente competitiva, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable.

4.2 RESEÑA HISTORICA CONFIPETROL:

Es un Consorcio conformado por cuatro firmas colombianas: INEMEC LTDA, ST&P INGENIEROS LTDA, SERVICIOS ASOCIADOS LTDA Y RMS LTDA, que opera a nivel nacional con proyección internacional.

Funciona bajo el liderazgo permanente de sus socios, integrando responsabilidad social, cultura de trabajo empresarial, capacidad técnica, experiencia tecnología para identificar y satisfacer los requerimientos que se presentan en las áreas administrativas y operativas de diferentes empresas industriales.

4.2.1 MISIÓN

CONFIPETROL es una empresa especializada en la prestación de servicios integrales de operación y mantenimiento centrado en ingeniería de confiabilidad y técnicas predictivas de diagnóstico a nivel industrial, dirigida a los sectores industriales, gas, petroquímico y energético, con respuesta inmediata a las necesidades de los clientes conformada por un equipo interdisciplinario altamente calificado y comprometido en la organización para la satisfacción del cliente, enfocado en la innovación y el uso adecuado de la tecnología.

Cumple con la legislación colombiana en lo laboral, seguridad industrial, salud ocupacional, medio ambiente y aseguramiento de calidad.

4.2.2 VISIÓN

Se reconocidos a nivel nacional e internacional, como una empresa líder en operación y mantenimiento dentro de los sectores atendidos, distinguiéndonos por la calidad y oportunidad de nuestros servicios, manteniendo una filosofía de investigación mejoramiento continuo de sus procesos, adoptando nuevas tecnologías que nos permitan seguir siendo competitivos.

4.2.3 VALORES

- **ETICA EN LOS NEGOCIOS:** Transparencia, marco legal y confidencialidad.
- **RESPONSABILIDAD SOCIAL:** Respeto hacia la sociedad, enfocados en su bienestar y desarrollo, sin distinción de razas, religión o cultura.
- **TRABAJO EN EQUIPO:** Interacción a través de las diversas áreas de la compañía.
- **EFICIENCIA:** Aprovechamiento de los recursos disponibles, encontrando soluciones apropiadas en situaciones inciertas.
- **COMPROMISO:** El personal actúa convencido de los beneficios de su acción.
- **RESPECTO:** Tomamos en cuenta las opiniones y puntos de vista colaboradores.

4.2.4 POLÍTICA INTEGRAL DE SALUD, SEGURIDAD, AMBIENTE & CALIDAD

CONFIPETROL ofrece servicios certificados de óptima calidad que integran sus políticas, el sistema de la calidad y la legislación en salud, seguridad y ambiente, a través de una efectiva gestión de procesos.

Cada una de las compañías que integran este consorcio posee sistemas de gestión de calidad certificado bajo la norma técnica NTC 9001:2000.

La ética en los negocios, su recurso humano, la responsabilidad social y los derechos humanos son el pilar de su cultura organizacional, bajo estos criterios se fundamenta nuestro sistema integrado de SSA y calidad.

4.2.5 OBJETIVOS DE CALIDAD:

- Lograr la satisfacción del cliente interno y externo superando las expectativas de los alcances acordados.
- Trabajar los procesos bajo el marco legal de nuestra legislación vigente
- Fortalecer y mejorar la competencia del talento humano con capacitación en nuevas técnicas acorde a las exigencias en la ejecución de los contratos.
- Fortalecer e impulsar cultura preventiva de CONFIPETROL hacia el sistema integral SSA y calidad.
- Velar por la integridad de las personas, del medio ambiente y de la propiedad, identificando y mitigando los factores de riesgos a que se encuentran expuestos durante la ejecución de las labores.
- Lograr que la implementación del sistema de gestión de la calidad enfocado en procesos que aseguren la mejora continua y la permanencia comercial con nuestra filosofía de operación y mantenimiento.

5. GENERALIDADES

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

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

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

SAP. Systems, Applications, and Products in Data Processing. SAP-R/3, es un servidor avanzado basado en la versión R/2, fue creado en 1992 y llevado más tarde a todas las más grandes empresas de América.

RCM. Proceso de análisis utilizado para determinar los requerimientos operativos y de mantenimiento de cualquier equipo, para asegurar que continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga dentro de su contexto operativo. Se define también como la metodología utilizada para definir un programa de mantenimiento considerando la confiabilidad como una entrada para el proceso de toma de decisiones.

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

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

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

Componente. Ingenio esencial al funcionamiento de una actividad mecánica eléctrica o de otra naturaleza física que, conjugado a otro(s), crea(n) el potencial de realizar un trabajo.

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

Confiabilidad. Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Defecto. Eventos en los equipos que no impiden su funcionamiento, todavía pueden a corto o largo plazo, provocar su indisponibilidad.

Equipo. Conjunto de componentes interconectados, con los que se realiza materialmente una actividad de una instalación.

Falla. Finalización de la habilidad de un ítem para desempeñar una función requerida.

Inspección. Servicios de Mantenimiento Preventivo, caracterizado por la alta frecuencia (baja periodicidad) y corta duración, normalmente efectuada utilizando instrumentos simples de medición (termómetros, tacómetros, voltímetros etc.) o los sentidos humanos y sin provocar indisponibilidad.

Mantenibilidad. Facilidad de un componente en ser mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas.

Mantenimiento correctivo. Servicios de reparación en ítems con falla.

Mantenimiento predictivo. Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

Mantenimiento preventivo por estado. Mantenimiento efectuado a partir de la condición de funcionamiento del equipamiento.

Mantenimiento preventivo por tiempo. Mantenimiento efectuado a partir de un programa preestablecido.

Mantenimiento preventivo sistemático. Servicios de Mantenimiento Preventivo, donde cada equipo para después de un período de funcionamiento, para que sean hechas mediciones, ajustes y si es necesario, cambio de piezas en función de un programa preestablecido a partir de la experiencia operativa, recomendaciones de los fabricantes.

Mantenimiento preventivo. Servicios de inspección, control, conservación y restauración de un ítem con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos y fallas

Mantenimiento selectivo. Servicios de cambio de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios, de acuerdo con recomendaciones de fabricantes o entidades de investigación.

Mantenimiento. Acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

5 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.

5.1 El Cambiante Mundo del Mantenimiento

Durante los últimos veinte años, el Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El Mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de Mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al

mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuanto se hayan computarizado.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al Mantenimiento. Quieren evitar arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios. Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía.

Si es aplicado correctamente, el RCM transforma las relaciones entre los activos físicos existentes, quienes lo usan y las personas que los operan y mantienen. A su vez permite que nuevos bienes o activos sean puestos en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión.

5.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Desde la década del '30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. El RCM está tornándose rápidamente en la piedra fundamental de la Tercera Generación, pero esta generación sólo se puede ver en perspectiva, y a la luz de la Primera y Segunda Generación.

La Primera Generación

La Primera Generación cubre el período que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez la mayor parte de los equipos era simple, y la gran mayoría estaban sobredimensionados. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

La Segunda Generación

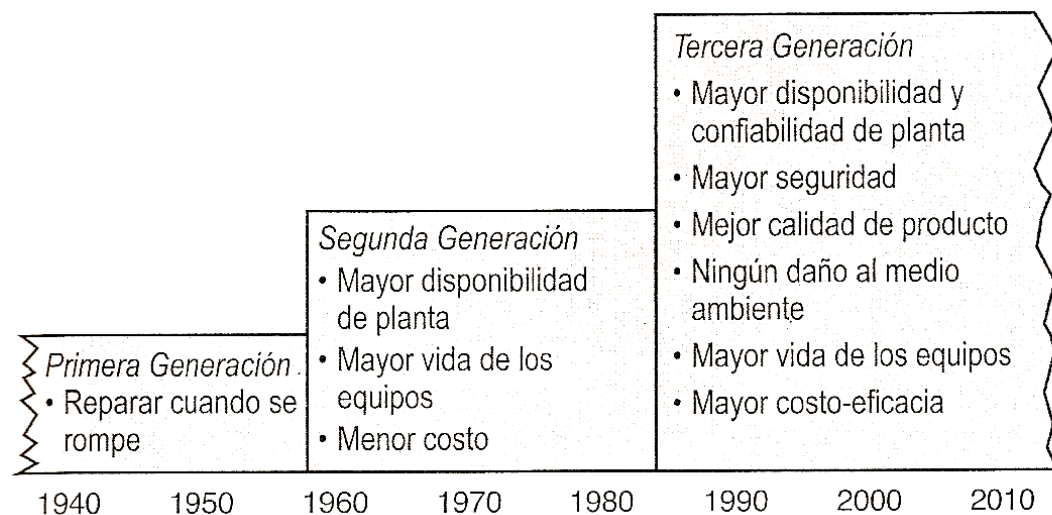
Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años '50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas. La industria estaba empezando a depender de ellas.

Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados. El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a otros costos operacionales. Esto llevó al desarrollo de sistemas de planeamiento y control del mantenimiento.

Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

Por último, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo de ese capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos/ bienes.

Figura 5.1 Expectativas de mantenimiento creciente



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

La Tercera Generación

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones, y nuevas técnicas.

La figura 5.1 muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento.

Nuevas Expectativas

El tiempo de parada de máquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y afectar el servicio al cliente. En las décadas del sesenta y setenta esto ya era una preocupación en los sectores mineros, manufactureros y de transporte. Los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas justo a tiempo (jit), donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta.

Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tomado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y la administración de edificios.

Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan nuestra capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios. Esto se aplica tanto para parámetros de servicio como para la calidad del producto. Por ejemplo, las fallas en los equipos pueden afectar el control del clima en los edificios o la puntualidad de las redes de transporte, así como interferir con el logro de las tolerancias deseadas en la producción.

Más y más fallas acarrearán serias consecuencias para el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que se elevan los requisitos en estas áreas. En algunas partes del mundo se ha llegado a un punto en que las organizaciones deben o bien adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad, o dejar de operar. Nuestra dependencia a la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo, y que se torna una cuestión de supervivencia de la organización.

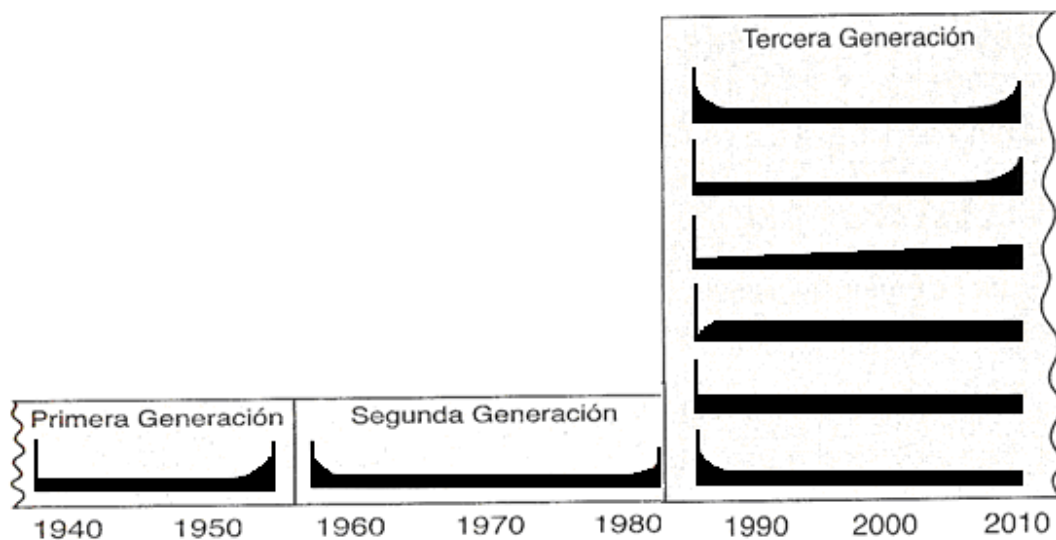
Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia a los activos físicos, crece también el costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar el máximo retorno de la inversión que representa tenerlos, deben mantenerse trabajando eficientemente tanto tiempo como se requiera. Por último el costo de mantenimiento aún está aumentando, tanto en términos absolutos como en proporción del gasto total. En algunas industrias representa ahora el segundo ítem más alto, o hasta el más alto costo operativo. En consecuencia, en sólo treinta años ha pasado de ser un costo casi sin importancia a estar en la más alta prioridad en el control de costos.

Nuevas Investigaciones

Más allá de la existencia de mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas referidas a la edad y las fallas. En particular, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen.

La figura 5.2 muestra como en un principio la idea era simplemente que a medida que los elementos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la "mortalidad infantil" llevó a la Segunda Generación a creer en la curva de "bañera", o "bañadera".

Figura 5.2 Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Sin embargo, investigaciones en la Tercera Generación revelan no uno ni dos sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica. Una de las conclusiones más importantes que se deduce de estos estudios es que un gran número de tareas que surgen de los conceptos tradicionales de mantenimiento, a pesar de que se realicen exactamente como se planeó, no logran ningún resultado, mientras que otras son contraproducentes y hasta peligrosas.

Esto es especialmente cierto con muchas de las tareas que se hacen en nombre del mantenimiento preventivo. Por otro lado, para operar con seguridad los sistemas industriales más modernos y complejos se necesitan realizar un gran número de tareas que no figuran en los programas de mantenimiento.

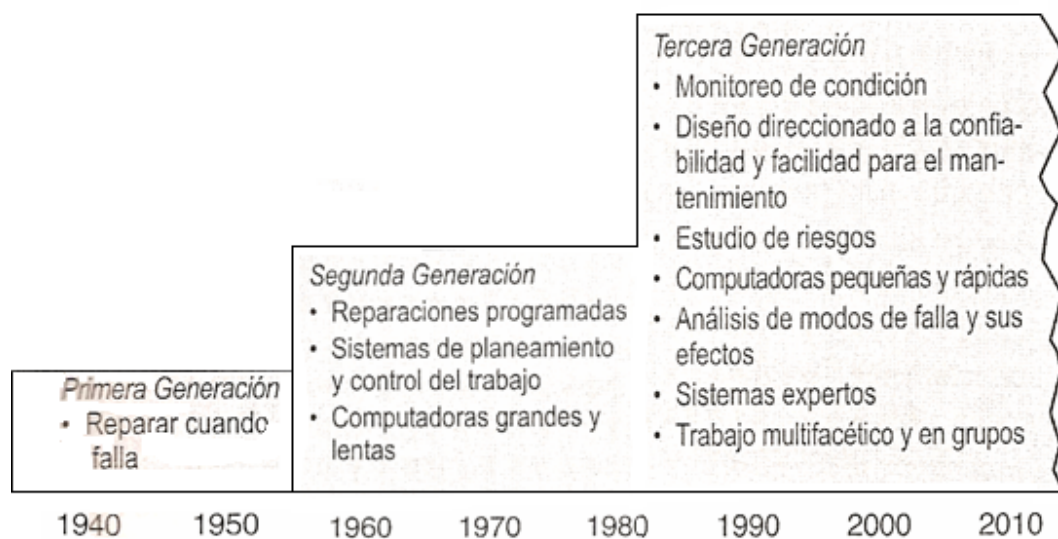
En otras palabras, la industria en general es devota a prestar mucha atención para hacer las tareas de mantenimiento correctamente (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho más para asegurarse que los trabajos que se planean son los trabajos que deben hacerse (hacer el trabajo correcto).

Nuevas Técnicas

Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos veinte años, y emergen aún más cada semana.

La figura 5.3 muestra como ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas. Los nuevos desarrollos incluyen:

Figura 5.3: Cambios en las técnicas de Mantenimiento



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos, y sistemas expertos.

Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.

Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.

Un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.

Como se dijo anteriormente, uno de los mayores desafíos que enfrenta el personal de mantenimiento es no sólo aprender qué son estas técnicas sino decidir cuáles valen la pena y cuáles no para sus propias organizaciones.

Si hacemos elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo contener y hasta reducir el costo del mantenimiento. Si hacemos elecciones inadecuadas se crean nuevos problemas mientras empeoran los que ya existen.

Los desafíos que enfrenta el mantenimiento.

La primera industria que enfrentó estos desafíos sistemáticamente fue la industria de la aviación comercial. El elemento crucial que provocó esta reacción, fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están realizando las tareas correctamente como en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. El darse cuenta de esto dio lugar al desarrollo de procesos de tomas de decisión comprensivos que se conocieron dentro de la industria aeronáutica con el nombre de MSNG3 y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM.

En casi todos los campos de esfuerzos humanos organizados, RCM se está volviendo fundamental para la custodia responsable de los activos físicos de la misma manera que lo es la contabilidad de doble entrada para la custodia responsable de los activos financieros. No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas. El creciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega el RCM en la formulación de las estrategias de administración de activos físicos - y la importancia de aplicar RCM correctamente condujo a la American Society of Automotive Engineers 1999 a publicar la norma SAE JA1011: "Criterio de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)".

5.3 Mantenimiento y RCM

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que hacen que el manejo de cualquier activo físico debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado.

Los diccionarios más importantes definen mantener como causar que continúe (Oxford), o conservar su estado existente (Webster), o conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española). Esto sugiere que "mantenimiento" significa preservar algo. Por otro lado, están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera. Esta diferencia entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que se discutirán con detenimiento en los capítulos siguientes. De cualquier manera, en este momento nos centralizamos en el mantenimiento.

Todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de dónde y cómo se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

5.4 RCM: Las siete preguntas básicas

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Funciones y Parámetros de Funcionamiento

Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.

Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga por esto el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

Funciones primarias: Que en primera instancia resumen el por qué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Funciones secundarias: La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición por lejos para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras hace el activo para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo.

Si es hecho correctamente, este paso toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis RCM completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable - muchas veces una cantidad alarmante - acerca de la forma en que realmente funciona el equipo.

Fallas Funcionales

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir.

El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.

Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Modos de Falla

Cómo se mencionó en el párrafo anterior, una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla razonablemente posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño.

Efectos de Falla

El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido

De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)

De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)

Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla

Qué debe hacerse para reparar la falla

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla, y efectos de falla trae asombrosas y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el rendimiento y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.

Consecuencias de la Falla

Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Todas para ser reparadas tomarán tiempo y costarán dinero.

Son estas consecuencias las que más influyen el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si no tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas por sí, sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

Consecuencias de fallas ocultas: Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)

Consecuencias ambientales y para la seguridad: Una falla presenta consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).

Consecuencias No-Operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

El proceso de RCM hace uso de estas categorías como la base de su marco de trabajo estratégico para la toma de decisiones en el mantenimiento. Obligando a realizar una revisión de las consecuencias de cada modo de falla en relación con las categorías recién mencionadas, integra; objetivos operacionales, ambientales, y de seguridad a la función mantenimiento. Esto contribuye a colocar a la seguridad y al medio ambiente dentro de las prioridades principales de la administración del mantenimiento. El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso resultado. También nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir fallas.

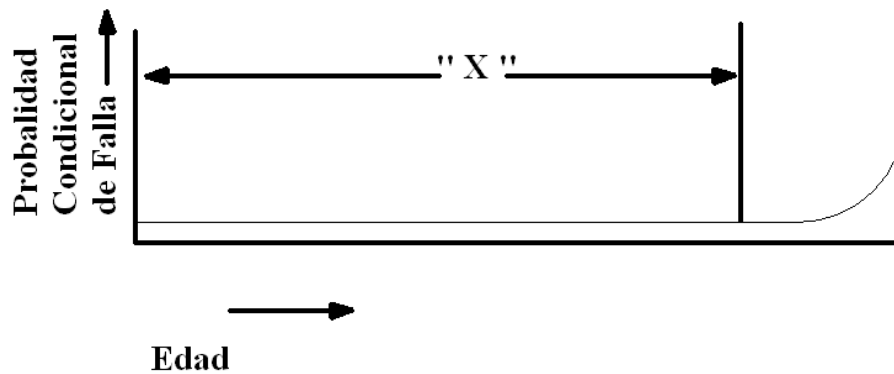
Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

Tareas proactivas: Estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento "predictivo" o "preventivo", aunque veremos luego que el RCM utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.

Acciones a falta de: Estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento a rotura.

Mucha gente todavía cree que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento proactivo de rutina. El pensamiento de la Segunda Generación sugería grandes reparaciones, o reposición de componentes a intervalos fijos. La figura 5.4 muestra la perspectiva de la falla a intervalos regulares.

Figura 5.4 La Perspectiva tradicional de falla



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

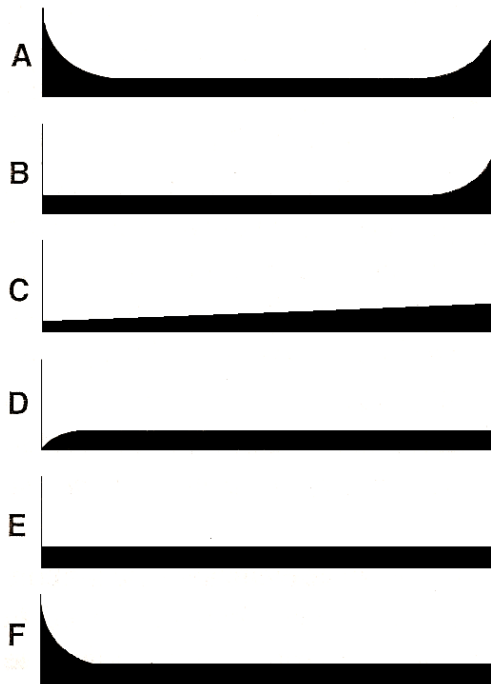
La figura 5.4 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por un período "X", y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que los registros extensivos acerca de las fallas nos permiten determinar y planear acciones preventivas un tiempo antes de que ellas ocurran.

Este patrón es cierto para algunos tipos de equipos simples, y para algunos ítems complejos con modos de falla dominantes. En particular las características de desgaste se encuentran a menudo en casos en los que el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas con la edad frecuentemente van asociadas a la fatiga, corrosión, abrasión y evaporación.

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complejos de lo que eran hace veinte años atrás. Esto ha traído aparejado sorprendentes cambios en los patrones de falla, como lo muestra la Figura 5.5. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de la falla con relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.

El patrón A es la ya conocida curva de la "bañera". Comienza con una gran incidencia de fallas (llamada mortalidad infantil),

Figura 5.5: Seis patrones de falla



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla, y por último una zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla constante o de lento incremento, y que termina en una zona de desgaste (igual que la Figura 5.4).

El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable.

El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de la fábrica y luego un veloz incremento a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar).

El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente.

La toma de conciencia de estos hechos ha llevado a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea de mantenimiento proactivo. Y esto puede que sea lo más acertado para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son importantes, algo debe hacerse para prevenir o predecir las fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

Esto nos lleva nuevamente a la cuestión de las tareas proactivas. Como ya mencionamos anteriormente el RCM divide a las tareas proactivas en tres categorías:

Tareas de reacondicionamiento cíclicas

Tareas de sustitución cíclicas

Tareas a condición

Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas:

El reacondicionamiento cíclico implica refabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento. De manera parecida, las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto estos dos tipos de tareas son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo. Solían ser los tipos de mantenimiento proactivo más ampliamente usados. Sin embargo, debido a las razones mencionadas anteriormente, se usan mucho menos que veinte años atrás.

Tareas a condición

El crecimiento de nuevos tipos de manejo de falla se debe a la continua necesidad de prevenir ciertos tipos de falla, y la creciente ineficacia de las técnicas clásicas para hacerlo. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y permitir actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformaran en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados. (El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición)

Si son utilizadas correctamente, las tareas a condición son una muy buena manera de manejar las fallas, pero a la vez pueden ser una pérdida de tiempo costosa. RCM permite tomar decisiones en esta área con certeza particular.

Acciones a falta de

El RCM reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de:

Búsqueda de fallas: las tareas de búsqueda de falla implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar).

Rediseño: Rediseñar implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los cambios de una sola vez a los procedimientos.

Ningún mantenimiento programado: Como su nombre lo indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también es llamada mantenimiento "a rotura".

El Proceso de Selección de Tareas de RCM

Un punto fuerte del RCM es la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto operacional dado (si existe alguna), y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada. La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente:

Para fallas ocultas, la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con esa función a un nivel tolerablemente bajo. Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla. De no hallarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión a falta de secundaria indicará que el componente pueda ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de la falla múltiple).

Para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad, una tarea proactiva sólo vale la pena si por sí sola reduce el riesgo de la falla aun nivel muy

bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.

Si la falla tiene consecuencias operacionales, una tarea proactiva sólo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto período de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es ningún mantenimiento programado. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño).

Si una falla tiene consecuencias no operacionales sólo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un período de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.

Este enfoque significa que las tareas proactivas son sólo definidas para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina. Un menor trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto, sumado a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

Comparemos esto con el enfoque tradicional usado para el desarrollo de políticas de mantenimiento. Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada activo son definidos en términos de sus características técnicas reales o asumidas, sin considerar las consecuencias de la falla. El programa resultante es utilizado para todos los activos similares, nuevamente sin considerar que se aplican a diferentes consecuencias en diferentes contextos operacionales. Esto tiene como resultado un gran número de programas desperdiciados, no porque estén 'mal' en el sentido técnico, sino porque no logran ningún resultado.

Debemos notar además que el proceso de RCM considera los requerimientos de mantenimiento de cada activo antes de preguntarse si sería necesario reconsiderar el diseño. Esto es así simplemente porque el ingeniero de mantenimiento que está a cargo hoy tiene que mantener el equipo tal como está hoy, y no pensando en lo que quizás sea en algún otro momento en el futuro.

5.5 APLICANDO EL PROCESO DE RCM

Antes de comenzar a analizar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos de cualquier organización, necesitamos saber de qué activos se trata y decidir cuáles de ellos serán sometidos al proceso de revisión de RCM. Esto significa que debe prepararse un registro de planta, si es que no existe actualmente. De hecho la gran mayoría de las organizaciones industriales poseen hoy día registros de planta que son adecuados para este propósito.

Planeamiento

Si es aplicado correctamente, RCM logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento, y a menudo lo hace sorprendentemente rápido. Sin embargo, la aplicación exitosa de RCM depende de un meticuloso planeamiento. Los elementos centrales del proceso de planeamiento son:

Decidir cuáles activos físicos se beneficiarán más con el proceso RCM, y exactamente de qué manera lo harán

Evaluar los recursos requeridos para la aplicación del proceso a los activos seleccionados

En los casos en los que los beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién realizará y quién auditará cada análisis, cuándo y dónde, y hacer los arreglos para que dichas personas reciban el entrenamiento apropiado. Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico esté claramente comprendido.

Grupos de revisión

Hemos visto que el proceso RCM enmarca siete preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento no puede responder a todas estas preguntas por sí solo. Esto es porque muchas de las respuestas (o la mayoría) solo pueden ser dadas por personal de producción o de operaciones. Esto se aplica especialmente a las preguntas relacionadas con las funciones, efectos de falla, funcionamiento deseado, y consecuencias de falla.

Por esta razón la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo debería ser llevada a cabo en pequeños grupos que incluyan al menos a una persona de la función de mantenimiento, y una de la función de operaciones. La veteranía de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de tener un conocimiento profundo del activo físico bajo revisión. Cada miembro del grupo a su

vez debe haber sido entrenado en RCM. La conformación típica de un grupo de revisión RCM se muestra en la Figura 5.6.

Figura 5.6 Equipo de trabajo para el desarrollo de la estrategia R.C.M

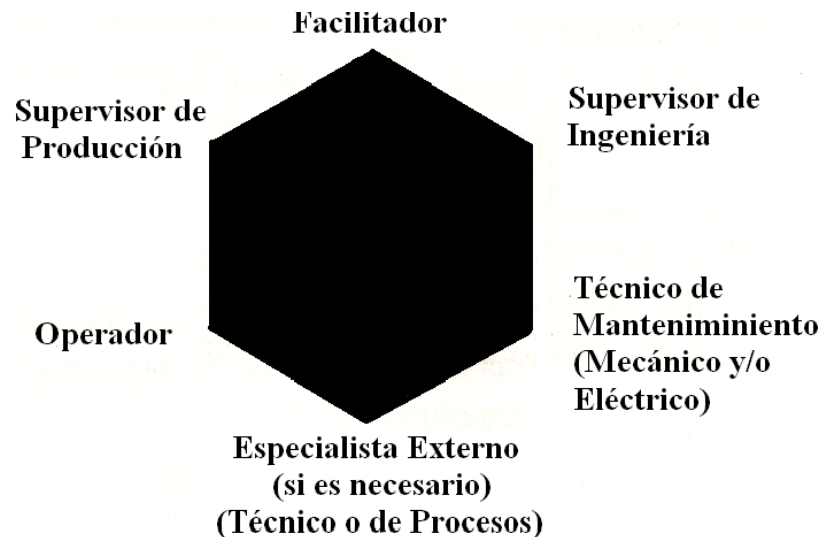


Figura 5.6

Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad.

El uso de estos grupos no sólo permite a los gerentes un acceso sistemático al conocimiento y la experiencia de cada miembro del grupo, sino que los mismos miembros del grupo incrementan marcadamente su entendimiento del activo físico en el contexto operacional.

Facilitadores.

Los grupos de revisión RCM trabajan bajo la guía de especialistas en RCM, llamados facilitadores. Son los integrantes más importantes del proceso de revisión RCM. Su rol es asegurar que:

El análisis RCM se lleve a cabo en el nivel correcto, que los límites del sistema sean claramente definidos, que ningún ítem importante sea pasado por alto, y que los resultados del análisis sean debidamente registrados.

RCM sea claramente comprendido y correctamente aplicado por parte de los miembros del grupo.

El grupo llegue al consenso en forma rápida y ordenada, manejando el entusiasmo individual de los miembros.

El análisis progrese razonablemente rápido y termine a tiempo.

Los facilitadores también trabajan con los directores de proyectos o auspiciantes para asegurar que cada análisis sea debidamente planeado y reciba el apoyo directivo y logístico apropiado.

Los resultados de un análisis RCM

Si es aplicado en la forma sugerida anteriormente, un análisis RCM da tres resultados tangibles:

Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento
Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo.

Dos resultados menos tangibles son que los participantes del proceso aprenden mucho acerca de como funciona el activo físico, y que suelen tender a funcionar mejor como equipo.

Auditoria e implementación

Inmediatamente después de haber completado la revisión para cada activo físico, los gerentes responsables del equipo deben comprobar que las decisiones tomadas por el grupo sean razonables y defendibles.

Luego de que cada revisión es aprobada, las recomendaciones son implementadas incorporando los planes de mantenimiento a los sistemas de control y planeamiento, incorporando cambios en los procedimientos operacionales estándar del activo físico, y entregando recomendaciones para cambios de diseño a los encargados de realizarlos.

5.6 Qué logra el RCM

Por más atractivos que sean, los resultados enunciados anteriormente sólo deberían ser vistos como medios para un fin. Específicamente deberían permitir que las funciones de mantenimiento satisfagan las expectativas nombradas en la Figura 5.1 al comienzo de este capítulo.

Mayor seguridad e integridad ambiental: RCM considera las implicancias ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones. Esto significa que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, el RCM también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.

Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente): RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivo para cada activo físico, y que se tomarán las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo de ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere. RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diseñar los programas de mantenimiento para nuevos tipos de aeronaves antes que entraran en servicio. Por lo tanto resulta ser una manera ideal de desarrollar programas de este tipo para nuevos activos físicos, especialmente equipos complejos para los que no existe información histórica disponible.

Esto ahorra mucho de la prueba y error que tan frecuentemente forma parte del desarrollo de nuevos programas de mantenimiento; pruebas que son frustrantes, demandan tiempo y producen errores que pueden ser muy costosos.

Mayor costo-eficacia del mantenimiento: RCM continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener los mejores resultados.

Además, si RCM es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras las tareas de mantenimiento hechas cíclicamente) de cada período, habitualmente entre un 40 y un 70 %. Por otro lado, si RCM se utiliza para desarrollar un programa de mantenimiento nuevo, la carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales.

Mayor vida útil de componentes costosos: debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.

Una base de datos global: una revisión de RCM finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización. Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes (como cambios de modelos o aparición de nuevas tecnologías) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde

un comienzo. También permite a quienes utilizan el equipo demostrar que sus programas de mantenimiento están contruidos sobre una base racional (la traza de auditoria requerida por cada vez más organismos de regulación). Finalmente, la información almacenada en las hojas de trabajo de RCM reduce los efectos de la rotación de personal y la pérdida de experiencia que esto provoca.

Una revisión RCM sobre los requerimientos de mantenimiento de cada activo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir qué repuestos deben tenerse en stock. Un producto secundario valioso es la mejora de planos y manuales.

Mayor motivación del personal: especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un 'sentido de pertenencia' más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También aumenta la probabilidad de que las soluciones perduren.

6. FUNCIONES

Para definir los objetivos del mantenimiento según los requerimientos de los usuarios debemos obtener un claro entendimiento de las funciones de cada activo físico junto con los parámetros de funcionamiento asociados. Es por esta razón que el proceso RCM comienza preguntando:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo físico en su contexto operacional actual?

Este capítulo explora esta pregunta con mayor detalle. Describe cómo debe Definirse las funciones, explica los dos tipos de estándares de funcionamiento principales, repasa las diferentes categorías de funciones y muestra cómo se deben listar las funciones.

6.1 DESCRIBIENDO FUNCIONES

Un principio bien establecido por la ingeniería es que las definiciones de funciones deben consistir de un verbo y de un objeto. También ayuda mucho iniciar las definiciones con un verbo en infinitivo ("bombear agua", "transportar agente", etc.). Sin embargo, y como se explica con detenimiento a continuación, los usuarios no esperan sólo que el activo cumpla con una función. También esperan que lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de una función - y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico- no está completa a menos que especifique el nivel de funcionamiento deseado por el usuario, tan precisamente como le sea posible (en oposición a su capacidad de diseño).

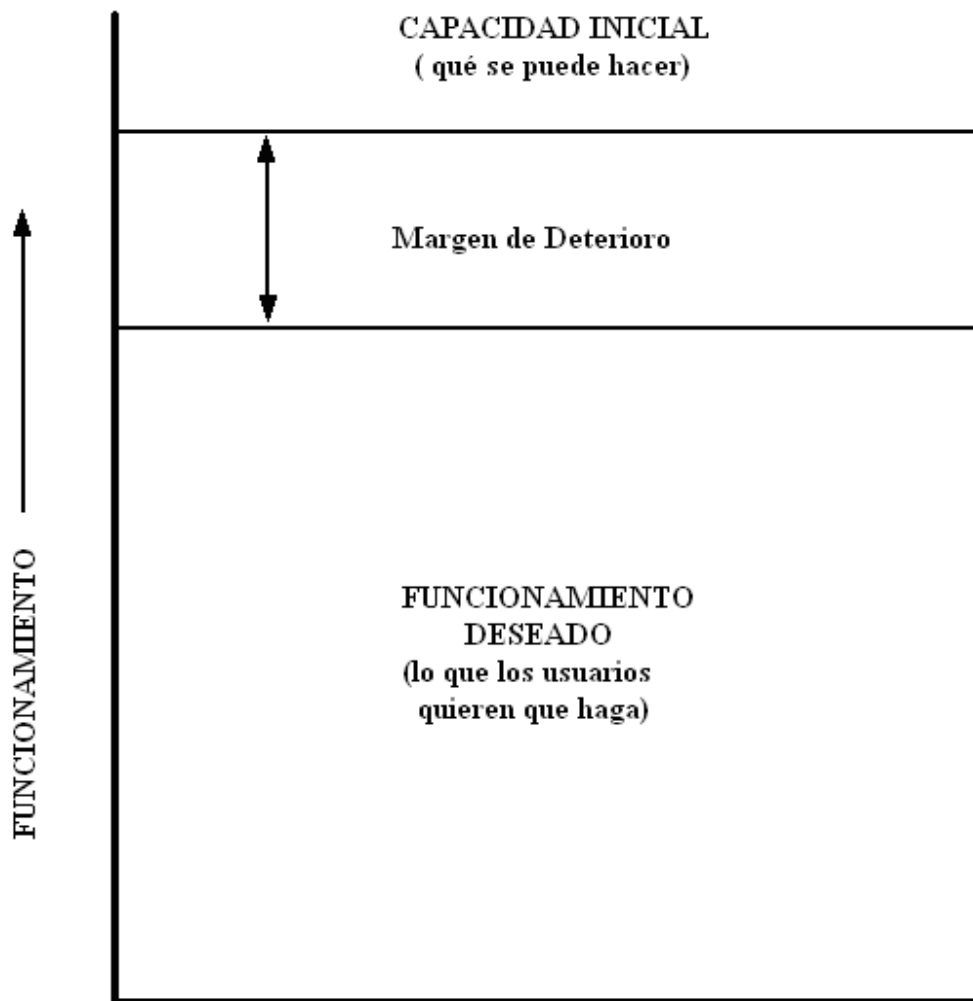
La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

6.2 ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO

El objetivo del mantenimiento es asegurarse que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento. Si pudiésemos construir un activo físico capaz de rendir según este funcionamiento mínimo sin deteriorarse en ningún modo, ese sería el fin de la cuestión. La máquina funcionaría continuamente sin necesidad de mantenimiento.

Las leyes de la física nos dicen que cualquier sistema organizado que es expuesto al mundo real se deteriorará.

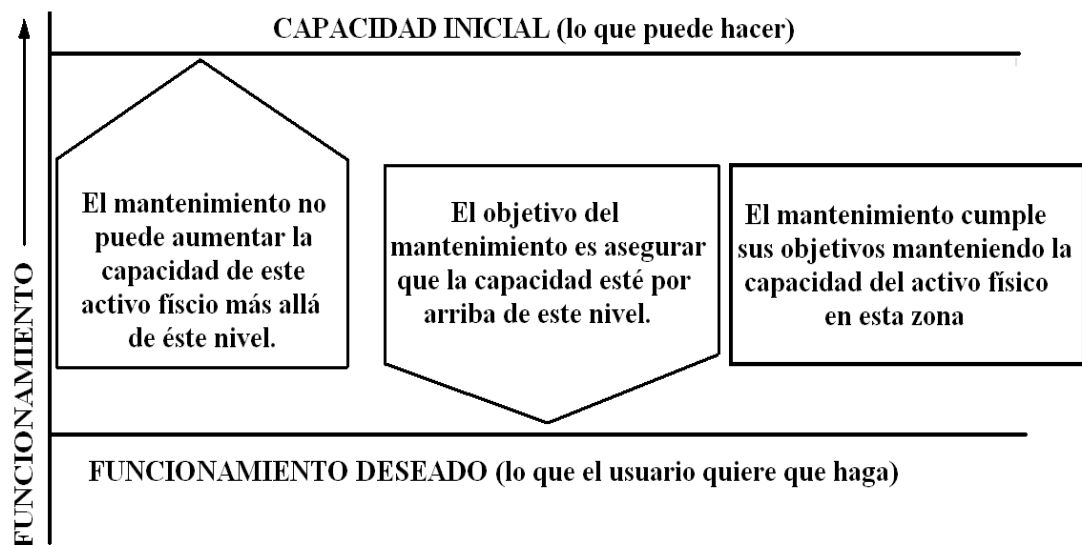
Figura 6.1: Margen de deterioro



Fuente: Johnn Moubay. Mantenimiento centrado en confiabilidad.
Capacidad inicial vs funcionamiento deseado

El resultado final de este deterioro es desorganización total, a menos que se tomen acciones para frenar el proceso que esté causando el deterioro del sistema.

Figura 6.2: Un activo físico mantenible



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Cualquier activo físico puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario. Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial (o confiabilidad inherente). La figura 6.1 ilustra la relación correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

Podría enunciarse que el funcionamiento de un equipo en general puede ser definido de las siguientes dos maneras:

Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga): Desempeño
Capacidad propia (lo que puede hacer)

También es de resaltar que el mantenimiento contribuye a asegurar que los activos físicos continúen cumpliendo con las funciones que sus usuarios desean, ya sea asegurando que su capacidad siga superando los parámetros mínimos deseados por el usuario, o restaurando algo para alcanzar la capacidad inicial si baja de este

punto. Cuando se está considerando la cuestión de la restauración se debe tener en cuenta lo siguiente:

La capacidad inicial de cualquier activo físico está establecida por su diseño y por cómo está hecho

El mantenimiento sólo puede restaurar al activo físico a su nivel de capacidad inicial - no puede ir mas allá.

Figura 6.3: Un activo físico no mantenible

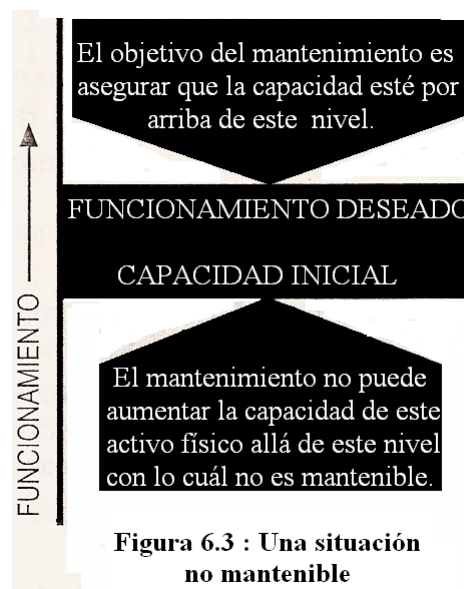


Figura 6.3 : Una situación no mantenible

Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

En la práctica, la mayoría de los recursos físicos están contruidos y diseñados adecuadamente, por lo que frecuentemente es posible desarrollar programas de mantenimiento que aseguran que estos activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

Resumiendo, dichos activos físicos son mantenibles, como lo muestra la figura 6.2. Por otro lado si el funcionamiento deseado excede la capacidad inicial, ningún tipo de mantenimiento puede hacer que el activo cumpla con esta función. En otras palabras, dichos activos físicos no son mantenibles, como lo muestra la figura 6.3

De los ejemplos anteriores podemos extraer dos conclusiones:

Para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial

Para determinar esto no solo debemos conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cuál es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar dentro del contexto en que va a ser utilizado. Esto remarca la importancia de identificar precisamente qué es lo que los usuarios quieren cuando comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento.

Uno de los mayores usuarios de RCM resumió este punto diciendo "si los usuarios de un activo no pueden especificar precisamente cuál es el desempeño que quieren del mismo, no pueden exigir a mantenimiento que se haga responsable por mantener ese desempeño.

Estándares Cualitativos

Más allá de la necesidad de ser precisos, a veces es imposible especificar parámetros de funcionamiento cuantitativos. Entonces recaemos en los cualitativos.

Estándares de funcionamiento absolutos

Una descripción de una función que no da estándares de funcionamiento por lo general implica que se trata de un absoluto.

Estándares de funcionamiento variables

Las expectativas de funcionamiento (o esfuerzo aplicado) a veces varían infinitamente entre dos extremos.

Límites superiores e inferiores

Contrastando con los estándares de funcionamiento variable, algunos sistemas muestran capacidad variable. Estos son sistemas que no pueden llegar a funcionar exactamente según el mismo estándar cada vez que operan.

6.3 El Contexto Operacional

Se definió RCM como un "proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional". Este contexto se inserta por completo en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones.

El contexto operacional también influencia profundamente los requerimientos para las funciones secundarias.

El contexto no solo afecta drásticamente las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que también afecta la naturaleza de los modos de falla que pueden ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con la que pueden ocurrir y qué debe hacerse para manejarlas.

Todo esto significa que cualquiera que comience a aplicar RCM a cualquier proceso o activo físico debe asegurarse de tener un claro entendimiento del contexto operacional antes de comenzar.

Procesos por lotes y continuos

En plantas manufactureras la característica más importante del contexto operacional es el tipo de proceso. Su alcance va desde operaciones de procesos continuos en los cuales casi todos los equipos están interconectados, hasta operaciones de trabajo donde la mayoría de las máquinas trabajan independientemente. En procesos continuos, la falla de un activo puede parar toda la planta o reducir drásticamente la producción, a menos que exista sobrecapacidad o estén disponibles equipos de reserva. Por otro lado, en plantas que trabajan por lotes la mayoría de las fallas afectará solamente la producción de una máquina o una línea. Las consecuencias de este tipo de fallas están determinadas principalmente por la duración de la detención y de la cantidad del trabajo en proceso acumulado para las operaciones subsecuentes.

Estas diferencias significan que la estrategia de mantenimiento aplicada a un activo que es parte de un proceso continuo puede ser radicalmente diferente a la estrategia aplicada a un activo idéntico que esté trabajando en un proceso por lotes.

Redundancia

La presencia de redundancias (o formas alternativas de producción) es una característica del contexto operacional que debe ser considerada en detalle cuando se definen las funciones de cualquier activo.

Estándares de calidad

Los estándares de calidad y los estándares de servicio al cliente son otros dos aspectos del contexto operativo, que pueden dar lugar a descripciones diferentes de funciones de máquinas que de otra manera serían idénticas.

Estándares medio ambientales

Un aspecto cada vez más importante del contexto operacional de cualquier activo es el impacto que tiene (o podría tener) sobre el medio ambiente.

Existe un interés creciente en todo el mundo sobre este tema, lo que significa que cuando mantenemos cualquier activo tenemos que satisfacer dos tipos de "usuarios": el primero es la gente que opera la máquina. El segundo es la sociedad como un todo, que quiere tanto que el activo como el proceso del cual forma parte no cause ningún daño al medio ambiente. Lo que la sociedad quiere se expresa con el incremento en las exigencias de las regulaciones y los estándares ambientales.

Estos son estándares internacionales, nacionales, regionales, municipales y hasta corporativos. Cubren un rango extraordinariamente extenso de temas, desde la bio- degradabilidad de detergentes hasta el contenido de gases de escape. En el caso de procesos, tienden a concentrarse en subproductos líquidos, sólidos y gaseosos no deseados. La mayoría de las industrias están respondiendo a las expectativas ambientales de la sociedad asegurándose que el equipamiento está diseñado para cumplir con los estándares asociados. No obstante, no es tan simple asegurar que una planta o un proceso están perfectamente de acuerdo con las normas ambientales en el momento de su utilización. Deben seguirse ciertos pasos para asegurar que los activos se mantendrán en cumplimiento durante toda su vida útil.

Seguir dichos pasos es cada vez más urgente ya que en todo el mundo están ocurriendo cada vez más accidentes que afectan el medio ambiente porque algún activo físico no se comporta como es debido - en otras palabras, porque algo falla. Las penalizaciones cada vez son más severas, con lo que ahora para la gente de mantenimiento la integridad del medio ambiente a largo plazo es un tema particularmente importante.

Riesgos para la seguridad

Un número cada vez mayor de organizaciones han desarrollado por sí mismas o se han adherido a estándares formales con respecto a niveles de riesgo aceptable. En algunos casos, se aplican a nivel corporativo, en otros a plantas individuales y a su vez otros a procesos o activos específicos. Sin duda, donde existan dichos estándares son un componente importante del contexto operacional.

Tiempo de reparación

El tiempo de reparación está influido por la velocidad de respuesta a la falla, que está a su vez determinada por el sistema de reportes de fallas, por el nivel del personal, y por la velocidad de la reparación misma, la que es función de la disponibilidad de repuestos, de herramientas adecuadas y de la habilidad de la persona que hace las reparaciones.

Estos factores influyen mucho en los efectos y las consecuencias de las fallas, y varían marcadamente de una organización a otra. Como consecuencia de esto, este aspecto del contexto operacional también debe entenderse claramente.

Repuestos

Es posible usar un derivado del proceso de RCM para optimizar los stocks de repuestos y las políticas de administración de fallas asociadas. Este derivado se basa en el hecho que la única razón para tener un stock de repuestos es minimizar o eliminar las consecuencias de la falla.

La relación que existe entre repuestos y consecuencias de las fallas se articula en el tiempo que toma obtener los repuestos del proveedor. Si pudiera hacerse de manera instantánea no habría necesidad de tener ningún stock de repuestos. Pero en el mundo real adquirir repuestos toma tiempo. Esto se conoce como tiempo de reposición (lead time), y puede ser del orden de minutos a varios meses o años. Si el repuesto no se encuentra en almacén, el tiempo de reposición determina cuánto tiempo tomará reparar la falla, y por lo tanto la severidad de sus consecuencias. Por otro lado, tener repuestos en almacén también cuesta dinero, con lo que se necesita lograr un balance, analizando caso por caso, entre el costo de tener un repuesto en el inventario y el costo total de no tenerlo. En algunos casos, también debe tenerse en cuenta el peso y/o las dimensiones de los repuestos por una cuestión de restricción de espacio y carga, especialmente en instalaciones como plataformas petroleras y barcos.

Documentación del contexto operacional

Por todas las razones mencionadas, es esencial asegurarse que toda persona involucrada en el desarrollo de un programa de mantenimiento de cualquier activo físico comprenda totalmente el contexto operacional del mismo. La mejor manera de hacer esto es documentando el contexto operacional como parte del proceso de RCM; si es necesario puede llegarse a incluir la definición de misión de la organización.

6.4 Diferentes Tipos de Funciones

Todo activo físico tiene más de una función, por lo general tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurarse que continúe realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. A primera vista, esto puede verse como un proceso bastante directo. Sin embargo en la práctica casi siempre se vuelve el aspecto más desafiante y el que más tiempo toma en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento.

Las funciones se dividen en dos categorías principales (funciones primarias y secundarias) y estas a su vez se dividen en varias subcategorías.

Funciones primarias

Las organizaciones adquieren activos físicos por una, probablemente dos y muy pocas veces por tres o más razones. Estas razones son descritas por definiciones de funcionamiento. Se conocen como funciones primarias por ser la razón principal por la que es adquirido el activo físico. Son las razones por las cuales existe el activo, por lo que debemos definir las tan precisamente como sea posible.

Las funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer. De hecho el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria.

Como mencionamos anteriormente el desafío real está en definir las expectativas de funcionamiento asociadas a esas funciones. Para la mayoría de los tipos de equipo los parámetros de funcionamiento asociados a las funciones primarias tienen que ver con velocidad, volumen, y capacidad de almacenamiento. Por lo general también necesita considerarse en esta etapa la calidad del producto. Se mencionó que nuestra capacidad de alcanzar y mantener satisfactoriamente los estándares de calidad depende cada vez más de la capacidad y de la condición de los activos que producen los bienes. Dichos estándares están relacionados

generalmente con las funciones primarias. Por esto, es esencial incorporar cuando corresponda, los criterios de calidad de producto en la definición de las funciones primarias.

Funciones secundarias

Es de suponer que la mayoría de los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales además de la primaria. Estas se conocen como funciones secundarias.

Para asegurarnos que ninguna de estas funciones sea pasada por alto, se dividen en siete categorías de la siguiente manera:

- Ecología - integridad ambiental
- Seguridad/Integridad estructural
- Control/contención/ confort
- Apariencia
- Protección
- Eficiencia/economía
- Funciones superfluas

La primera letra de cada línea de esta lista forma la palabra "ESCAPE". Aunque las funciones secundarias son usualmente menos obvias que las primarias, la pérdida de una función secundaria puede tener serias consecuencias, a veces hasta más serias que la pérdida de una función primaria. Como resultado, las funciones secundarias frecuentemente necesitan tanto o más mantenimiento que las funciones primarias, por lo que también deben ser claramente identificadas.

Ecología — Integridad Ambiental

Se explicó como las expectativas medioambientales de la sociedad se han vuelto un factor crítico del contexto operacional de muchos activos. RCM comienza el proceso de cumplimiento de los estándares asociados con la definición de funciones, expresándolos apropiadamente.

Seguridad

La gran mayoría de los usuarios quieren estar razonablemente seguros que sus máquinas no le causarán ningún daño y menos aún la muerte. En la práctica, la mayoría de los riesgos para la seguridad surgen más adelante en el proceso RCM cuando se analizan los modos de fallas. No obstante, en ciertos casos es necesario listar funciones que traten con riesgos específicos.

Muchos componentes y procesos no son capaces de cumplir por sí mismos con los requerimientos de seguridad que tienen sus usuarios. Esto dio lugar a la aparición de funciones adicionales a cumplirse por dispositivos de seguridad. Estos dispositivos presentan uno de los retos más difíciles que tienen que afrontar las personas de mantenimiento en una planta industrial moderna.

Un subconjunto de las funciones relacionadas con la seguridad son aquellas que tratan con la contaminación del producto y la higiene. Los estándares de funcionamiento asociados por lo general se especifican rigurosamente dando lugar a rutinas de mantenimiento estrictas y abarcativas (limpieza y prueba/validación).

Control

En muchos casos, los usuarios no sólo quieren que los activos cumplan con sus funciones con un determinado estándar de funcionamiento, sino que también desean poder regular dicho funcionamiento. Estas expectativas se extraen en funciones separadas.

Las formas de medición o de feedback son un subconjunto importante de las funciones de control. Estas incluyen funciones que dan al operador información en tiempo real de las condiciones del proceso (manómetros, indicadores, axiómetros y paneles de control), o que registran dicha información para un análisis posterior (dispositivos de grabación análogos o digitales, cajas negras de aviones, etc.). Los estándares de funcionamiento asociados con estas funciones no sólo se relacionan con la facilidad con la que se podría leer y asimilar o recuperar la información, sino que también se relacionan con hacerlo con precisión.

Confort

La mayoría de las personas esperan que sus activos no les causen ansiedad, molestia o incomodidad. La función "confort" contiene este tipo de expectativas ya que los diccionarios más importantes definen confort como la ausencia de ansiedad, molestia o incomodidad, etc. (estas expectativas también pueden clasificarse como "ergonómicas".)

Muy poco confort afecta la motivación, por lo que es indeseable desde el punto de vista humano. También es malo para el negocio ya que la gente que está ansiosa o siente dolores es más propensa a tomar decisiones incorrectas. Los sistemas de control mal explicados, poco confiables o incomprensibles causan ansiedad, sean estos para aplicaciones domésticas o para-refinerías de petróleo. Los activos que son incompatibles con la gente que los usa -especialmente ropa y muebles- son los causantes de molestias.

Apariencia

En muchos activos la apariencia engloba una función secundaria específica.

Protección

A medida que los activos físicos se vuelven más complejos, la cantidad de formas en las que pueden fallar crece de forma casi exponencial. Esto trajo aparejado un crecimiento en la variedad y la severidad de las consecuencias de las fallas. Para eliminar (o al menos reducir) estas consecuencias, cada vez se usan más dispositivos de protección automáticos. Estos dispositivos pueden trabajar de cinco maneras diferentes:

Alertando al operario en caso de condiciones de funcionamiento anormales (luces de advertencia y alarmas sonoras que responden a los efectos de la falla. Los efectos se monitorean con distintos tipos de sensores incluyendo interruptores de nivel, celdas de carga, dispositivos de sobrecarga o sobre-velocidad, sensores de vibración o de proximidad, interruptores de temperatura y de presión)

Apagando el equipo cuando se produce la falla (estos dispositivos también responden a los efectos de la falla, usan el mismo tipo de sensores y a veces los mismos circuitos que las alarmas, pero con diferentes configuraciones)

Eliminando o minimizando las condiciones anormales que siguen a la falla y que de otra manera causarían un daño mucho mayor (equipamiento para combatir incendios, válvulas de seguridad, discos de ruptura, equipamiento médico de emergencia)

Reemplazando a la función que ha fallado (cualquier clase de equipo sustituto, componentes estructurales redundantes)

Previniendo la aparición de situaciones peligrosas (protecciones)

El propósito de estos dispositivos es el de proteger de las fallas a la gente, o proteger a las máquinas o proteger a los productos, y a veces proteger a todos estos al mismo tiempo.

Los dispositivos de protección aseguran que la falla de la función protegida será mucho menos seria que si no tuviera protección. La existencia de protección también significa que los requerimientos de mantenimiento de la función protegida serán mucho menos estrictos de lo que podrían ser si no estuviese protegida.

El mantenimiento de dispositivos de protección -especialmente aquellos dispositivos sin protección inherente. De cualquier forma, este ejemplo muestra dos puntos fundamentales:

Que muchas veces los dispositivos de protección necesitan más mantenimiento de rutina que los dispositivos a los que protegen.

Que no podemos desarrollar un programa de mantenimiento sensato para la función protegida sin considerar al mismo tiempo los requerimientos de mantenimiento del dispositivo de protección.

Sólo se pueden considerar los requerimientos de mantenimiento de los dispositivos de protección si comprendemos sus funciones. Con lo que cuando listamos las funciones de cualquier activo, debemos listar las funciones de todos los dispositivos de protección.

El último punto a tener en cuenta respecto a los dispositivos de protección es la forma en que deben ser descriptas. Estos dispositivos actúan por excepción (en otras palabras, cuando algo anda mal), con lo cual es importante describirlos correctamente.

Economía/eficiencia

Cualquiera que usa un activo de la clase que sea, tiene recursos financieros. Esto los lleva a poner un límite a lo que están preparados a gastar en su operación y mantenimiento. Cuánto están preparados a gastar está determinado por una combinación de tres factores:

- La cantidad de sus recursos financieros actuales
- Cuánto quieren lo que sea el activo hará por ellos.
- La disponibilidad y el costo de las formas alternativas de alcanzar el mismo fin.

Desde el punto de vista del contexto operativo, las expectativas funcionales relativas a los costos usualmente se expresan como presupuesto de gastos.

Funciones superfluas

A veces se encuentran ciertos componentes u objetos que son completamente superfluas. Esto pasa por lo general cuando el equipo se ha modificado frecuentemente a lo largo del tiempo, o bien cuando el equipo fue sobre especificado. (Estos comentarios no se aplican a componentes redundantes

incluidos por razones de seguridad, sino a componentes que no cumplen propósito alguno en el contexto operacional actual).

No es raro encontrar que en sistemas complejos entre el 5 y el 20% de los componentes sean superfluos en el sentido descrito anteriormente. Si eliminamos estos componentes, eliminaremos también los problemas de mantenimiento y los costos que traen aparejados. No obstante, antes de que esto pueda hacerse con confianza, debemos identificar y entender con claridad las funciones de estos componentes.

Usando las categorías ESCAPE

Siempre habrá dudas acerca de la categoría de ESCAPE a la cuál pertenecen algunas funciones. En la práctica no importa la clasificación precisa. Lo que importa es que identifiquemos y definamos todas las funciones que el usuario requiere. La lista de categorías sirve como una ayuda memoria para asegurar que no nos olvidemos de incluir ninguno de esos requerimientos.

6.5 Cómo deben listarse las funciones

Una definición funcional escrita adecuadamente -especialmente si está totalmente cuantificada- define con precisión los objetivos de desempeño. Esto asegura que todos los involucrados conocen exactamente qué se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades reales de los usuarios (o clientes). También ayuda a absorber variaciones originadas por cambios de expectativas sin (hacer obsoleto todo el emprendimiento).

7 FALLAS FUNCIONALES

El proceso de RCM implica la formulación de siete preguntas acerca del activo seleccionado:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

7.1 FALLA

Las personas y las organizaciones adquieren activos físicos porque desean que realicen una tarea. No sólo eso sino que también esperan que cumplan sus funciones en relación con ciertos estándares aceptables de funcionamiento.

Se explicó que la capacidad inicial de un activo debe ser mayor que el estándar de funcionamiento deseado, de manera de poder cumplir con lo que los usuarios desean y admitir el desgaste. Por esto, mientras la capacidad del activo continúe superando el estándar de funcionamiento deseado, el usuario va a estar satisfecho.

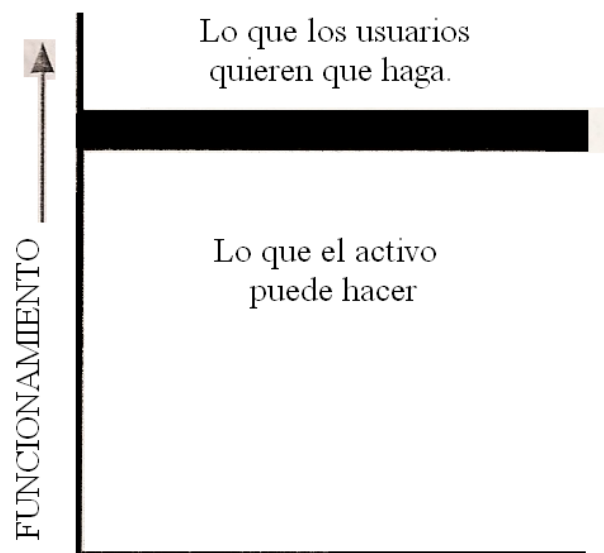
Sin embargo, si por alguna razón es incapaz de hacer lo que el usuario desea, este considerará que ha fallado

Esto lleva a la definición básica de falla:

Se define "falla" como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

Esto se muestra en la Figura 7.1.

Figura 7.1: Estado genera de falla



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

7.2 FALLAS FUNCIONALES

La definición citada trata el concepto de falla de la manera que se aplica a un activo como un todo. En la práctica, esta definición es un poco vaga ya que no distingue claramente entre el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modos de falla). También resulta simplista, ya que no tiene en cuenta el hecho que cada activo tiene más de una función, y por lo general cada función tiene más de un estándar de funcionamiento deseado. Las implicancias se estudian en los siguientes párrafos.

Funciones y Fallas

Hemos visto que si un activo no hace aquello que sus usuarios quieren que haga, ha fallado. También vimos que cualquier cosa que deba hacer se define como una función y que cada activo tiene más de una y por lo general varias funciones diferentes. Como es posible que fallen todas y cada una de esas funciones, se deduce que todo activo puede ser afectado por diversos estados de falla diferentes.

Esto muestra porqué es mas preciso definir una falla en términos de pérdida de una función específica, más que la falla del activo como un todo. También muestra por qué el proceso RCM utiliza el término "falla funcional" para describir estados de falla y no a la falla por sí sola. Sin embargo para completar la definición de falla, debemos también observar detenidamente el tema de los estándares de funcionamiento.

Estándares de funcionamiento y Fallas

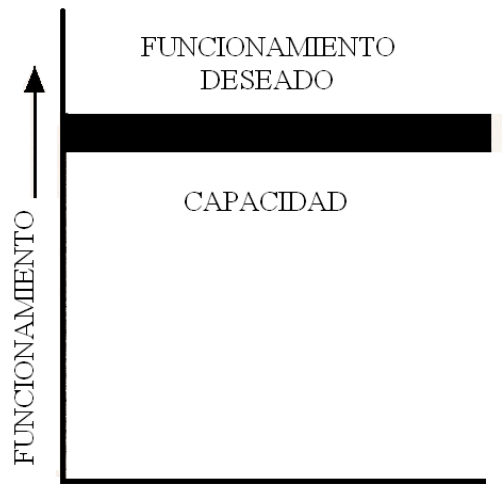
Como se discutió en la primer parte de este capítulo, el límite entre el funcionamiento satisfactorio y la falla está determinado por el estándar de funcionamiento. Dado que este estándar de funcionamiento se aplica a funciones individuales, "falla" puede ser definida precisamente por la definición de falla funcional:

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Los párrafos siguientes exploran diferentes aspectos de las fallas funcionales bajo los siguientes encabezados:

- Falla total y parcial
- Límites superiores e inferiores
- Instrumentos de medición.
- El contexto operacional.

Figura 7.2: Falla Funcional



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en contabilidad
Falla total y parcial

La definición citada más arriba de una falla funcional cubre la pérdida total de la función. También abarca situaciones en las que aún funciona, pero fuera de los límites admisibles

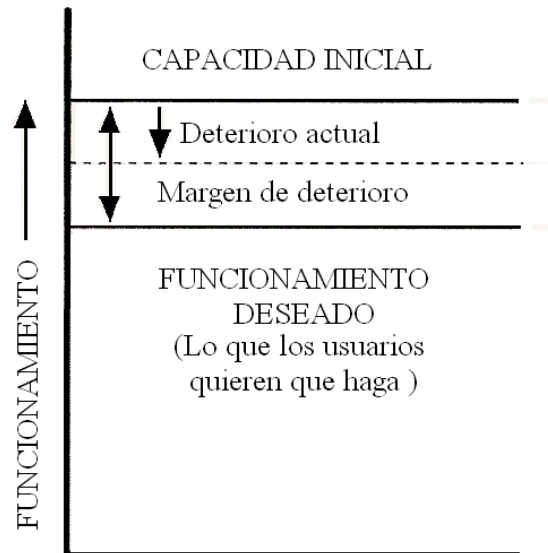
Una pérdida parcial de función casi siempre proviene de modos de falla diferentes de los que provocan una pérdida total, y las consecuencias casi siempre son diferentes. Por esta razón deben registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función.

Registrar todas las fallas funcionales asociadas con cada función

Nótese que la falla parcial no debe confundirse con la situación en la que el activo, habiéndose deteriorado significativamente, aún está sobre el nivel de funcionamiento requerido por el usuario.

No obstante, si la capacidad del activo se deteriora lo suficiente como para caer debajo del funcionamiento deseado, sus usuarios considerarán que falló.

Figura 7.3: El activo sigue estando bien a pesar de cierto deterioro



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

8. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

Al definir las funciones y los parámetros de funcionamiento deseados de cualquier activo físico, definimos los objetivos de mantenimiento para dicho activo. También vimos que definiendo fallas funcionales podemos determinar exactamente qué queremos decir con "falla". Estas dos cuestiones son consideradas por las primeras dos preguntas del proceso RCM.

Las siguientes dos preguntas buscan identificar aquellos modos de falla que sean posibles causantes de cada falla funcional, y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para cada falla funcional.

8.1. ¿QUÉ ES UN MODO DE FALLA?

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). Sin embargo es simplista aplicar el término "falla" a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre "una falla funcional" (un estado de falla) y un "modo de falla" (un evento que puede causar un estado de falla). Esta distinción lleva a una definición más precisa de un modo de falla, como ser:

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.

La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional.

La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis.

Los verbos que se usan para describir los modos de falla deben elegirse cuidadosamente, ya que tienen una influencia muy fuerte en el proceso posterior de selección de políticas de manejo de falla. Por ejemplo, deben usarse con moderación expresiones como "falla" o "rotura" o "mal funcionamiento de", ya que dan muy poca información sobre cuál podría ser la manera adecuada de manejar esta falla. El uso de verbos más específicos permite seleccionar la política más adecuada dentro de un rango completo de posibilidades.

8.2. ¿Por qué analizar los Modos de Falla?

La mayoría de los gerentes no se sienten muy cómodos al pensar en el tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos los modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajoso, y abandonan la idea por completo. Pero cuando hacen esto, pasan por alto el hecho que en el día a día el mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla. Por ejemplo:

Las órdenes de trabajo o pedidos de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos.

El planeamiento del mantenimiento diario se realiza para tratar modos de falla específicos.

En la mayoría de las empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tiene reuniones cada día. Las reuniones casi siempre consisten en discusiones acerca de lo que ha fallado, qué las causó, quién es responsable, qué se está haciendo para reparar" el problema y a veces, qué puede hacerse para prevenir que vuelva a suceder. Entonces casi toda la reunión se destina a hablar acerca de modos de falla.

Generalmente, los sistemas de registro de historia técnica registran modos de falla individuales (o al menos qué fue hecho para rectificarlos).

En la mayoría de estos casos, los modos de falla son discutidos, registrados, y manejados luego de haber ocurrido. Tratar fallas después de que hayan ocurrido es por supuesto la esencia del mantenimiento reactivo.

Por otro lado, el mantenimiento pro-activo significa manejar los eventos antes de que ocurran, ó al menos decidir cómo deberían ser manejados si llegaran a ocurrir. Para ello debemos saber por adelantado qué eventos pueden ocurrir. Los "eventos" en este contexto son los modos de falla. Entonces si deseamos aplicar un mantenimiento verdaderamente pro-activo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que puedan afectarlo. El ideal sería poder identificarlos antes de que ocurriesen o al menos antes de que vuelvan a ocurrir.

Una vez que cada modo de falla ha sido identificado es posible considerar qué sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si debiera hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir, o hasta rediseñar.

Entonces, el proceso de selección de tareas de mantenimiento, y gran parte del manejo de estas tareas, se lleva a cabo al nivel del modo de falla.

El nivel al que manejamos el mantenimiento de cualquier activo físico no es el nivel del activo como un todo, ni el nivel del componente, sino el nivel de cada modo de falla. Entonces, antes de desarrollar una estrategia sistemática de manejo pro-activo de mantenimiento para cualquier activo físico, debemos identificar cuáles son esos modos de falla (o cuáles podrían ser).

Todos estos puntos indican que la identificación de los modos de falla es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de cualquier programa que pretenda asegurar que el activo físico continúe cumpliendo sus funciones.

8.3. Categorías de Modos de Falla

Algunas personas consideran que el mantenimiento se hace únicamente para combatir el deterioro. Otras van un paso más allá y dicen que el AMFE llevado a cabo en un activo sólo debe considerar aquellos modos de falla causados por deterioro e ignorarse otras categorías de modos de falla (como los errores humanos y de diseño). Desgraciadamente, esto no es correcto ya que, por lo general, el deterioro causa un porcentaje sorprendentemente bajo de las fallas. En estos casos, el restringir el análisis sólo a los casos de deterioro, desafortunadamente lleva al desarrollo de una estrategia de mantenimiento incompleta. Pero si aceptamos que mantenimiento significa asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, entonces un programa de mantenimiento global debe tener en cuenta todos los eventos que tienen posibilidad de amenazar esa funcionalidad. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

8.4. ¿CUÁNTO DETALLE?

Ya mencionamos anteriormente que los modos de falla deben ser descriptos con el detalle suficiente como para que sea posible seleccionar una estrategia adecuada de manejo de falla, pero no con tanto detalle como para que se pierda demasiado tiempo en el proceso de análisis.

Los modos de falla deben ser definidos con el detalle suficiente como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de falla.

En la práctica, puede ser sorprendentemente difícil encontrar un nivel de detalle adecuado. No obstante, es muy importante encontrarlo, ya que el nivel de detalle

afecta profundamente la validez del AMFE y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. Si se hace con poco detalle y/o pocos modos de falla pueden llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario, demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que el proceso RCM lleve mucho mas tiempo que el necesario. En un caso extremo, el detalle excesivo puede hacer que el proceso tome dos y hasta tres veces más tiempo que el necesario (esto se conoce como "parálisis por análisis").

8.5. EFECTOS DE FALLA

El cuarto paso en el proceso de revisión RCM consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla.

Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla (Notemos que efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene?).

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.

Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.

Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.

Qué debe hacerse para reparar la falla.

Si hemos de hacer esto correctamente, no podemos empezar suponiendo que se está realizando ya algún tipo de mantenimiento pro-activo; por ello los efectos de las fallas deben describirse como si no se estuviera haciendo nada para impedirlos.

Evidencia de Falla

Los efectos de las fallas deben describirse de tal forma que permita a los analistas RCM decidir si, en circunstancias normales, será evidente para los operarios la pérdida de función causada por ese modo de falla actuando por sí solo.

Por ejemplo, la descripción debe indicar si la falla hace que se enciendan alarmas luminosas o de sonido (o ambas), y si el aviso se produce en el panel local o en la sala de control (o ambos).

Asimismo la descripción debe indicar si la falla va acompañada o precedida por efectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendio, humo, fugas de vapor, olores extraños o manchas de líquido en el suelo. También debe indicar si la máquina se para como consecuencia de la falla.

Cuando se describen los efectos de falla, no debe prejuizarse la evaluación de las consecuencias de las fallas usando palabras como "oculto" o "evidente". Esto es parte del proceso de evaluación de las consecuencias, y si se usa de manera prematura podría influir incorrectamente sobre esa evaluación.

Finalmente, al tratarse de dispositivos protectores, la descripción debe indicar brevemente qué pasaría si falla el dispositivo protegido al mismo tiempo que el dispositivo de seguridad.

Riesgos para la Seguridad y el Medio Ambiente

El diseño de las plantas industriales modernas ha evolucionado de tal forma que sólo una pequeña proporción de los modos de falla presentan una amenaza directa para la seguridad o el medio ambiente. No obstante, si existe una posibilidad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de una falla, o que se infrinja una normativa o reglamento del medio ambiente, la redacción del efecto de la falla debe explicar cómo esto podría ocurrir. Algunos ejemplos incluyen:

- Incremento del riesgo de incendio o explosiones.
- El escape de productos químicos peligrosos (gases, líquidos o sólidos).
- Electrocutión.
- Caída de objetos.
- Explosiones o estallidos (especialmente recipientes presurizados y sistemas hidráulicos).
- Exposición a materiales muy calientes o fundidos.
- Desintegración de grandes componentes rotativos.

- Descarrilamientos o accidentes vehiculares.
- Exposición a objetos cortantes o máquinas en movimiento.
- Incremento de los niveles de ruido.
- Colapso de estructuras.
- Crecimiento bacteriano.
- Ingreso de suciedad en productos alimenticios.

El tiempo de parada de la máquina, como se definió, puede variar mucho entre distintas ocasiones en que se da la misma falla. Las consecuencias más serias generalmente son causadas por las paradas más largas. Ya que estas consecuencias cada vez son más graves para nosotros, el tiempo muerto que se registra en la hoja de información debe basarse en el "peor caso típico"

Es posible reducir las consecuencias operacionales de la falla tomando medidas para acortar el tiempo muerto. Lo más común es reducir el tiempo que toma encontrar los repuestos. De cualquier manera, en esta etapa todavía estamos en el proceso de definir el problema con lo que el análisis debe basarse (al menos al principio) en las políticas actuales de compra de repuestos.

Nótese que si la falla afecta las operaciones, es más importante el establecer el tiempo muerto que el tiempo medio para reparar la falla (TMR), por dos razones: En la mente de muchas personas, las palabras "tiempo de reparación" tiene el significado que se muestra en la Figura 8.8. Si esto se usa en vez de "tiempo muerto", podría impedir la subsecuente asignación de consecuencias operacionales de la falla.

Debemos basar la asignación de consecuencias sobre el "peor caso típico" y no en el "promedio" como se discutió anteriormente.

Si la falla no causa interrupción del proceso, debe ser registrado el tiempo promedio que toma reparar la falla. Esto puede ayudar a establecer los requerimientos de mano de obra.

Además del tiempo muerto, se debe listar cualquier otra forma mediante la cual la falla podría tener un efecto significativo sobre la capacidad operacional del activo. Las posibilidades incluyen:

Cómo y cuánto afecta la calidad del producto y el servicio al cliente, y de ser así, qué penalidades financieras origina.
 Si origina detención de cualquier otro equipo o actividad (o disminuye la velocidad)
 Si la falla lleva a un incremento del costo operativo total además del costo directo de reparación (como ser costos de energía más altos)

Qué daños secundarios (si existe alguno) son causados por la falla

Acción Correctiva

Los efectos de falla también deben indicar qué debe hacerse para reparar la falla. Esto debe incluirse cuando se indica el tiempo muerto, como se muestra en bastardillas en los ejemplos siguientes:

Tiempo muerto para reemplazar los cojinetes, cerca de 4 horas

Tiempo muerto para limpiar el bloqueo y resetear el interruptor, aprox. 30 minutos

Tiempo muerto para desarmar la turbina y reemplazar el disco, aprox. 2 semanas

8.6. FUENTES DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS

Al considerar donde obtener la información necesaria para armar un AMFE (Análisis de Modos y Efectos de las Fallas) completo, debemos recordar ser pro-activos. Esto significa que debe darse tanto énfasis a lo que podría ocurrir como a lo que ha ocurrido.

El fabricante o proveedor del equipo

Al llevarse a cabo un AMFE, la primer fuente de información que nos viene a la mente es el fabricante. Sobre todo en el caso de equipos nuevos. En algunas industrias se llegó al punto donde frecuentemente se les pide a los fabricantes o proveedores que como parte del contrato de venta del equipo se incluya un AMFE comprensivo. Además de otras cosas, éstos pedidos suponen que el fabricante conoce todo lo que necesita saberse acerca de cómo el equipo puede fallar y qué pasa cuando el equipo falla.

En realidad, muy pocas veces esto es así.

En la práctica muy pocos fabricantes conocen la operación cotidiana del activo físico. Una vez finalizado el período de garantía casi ninguno recibe información de los usuarios acerca de qué es lo que falla y por qué. Lo mejor que la mayoría de ellos pueden hacer es tratar de sacar conclusiones acerca de cómo sus máquinas están trabajando a partir de una combinación de anécdotas y un análisis de venta de repuestos (excepto cuando ocurre una falla realmente espectacular, en cuyo caso los abogados suelen asumir el papel de los ingenieros. En estos casos, por lo general surge una discusión técnica racional en busca de la causa raíz.)

Los fabricantes también tienen poco acceso a la información sobre el contexto operacional del equipo, los estándares de funcionamiento deseado, las consecuencias de la falla y las habilidades de los operadores y personal de mantenimiento del usuario. En la mayoría de los casos, los fabricantes no conocen nada acerca de estos temas. Como resultado, el AMFE hecho por estos fabricantes suele ser genérico y altamente especulativo, limitando su valor.

Están involucrados dentro del mantenimiento del equipo en toda su vida útil, ya sea directamente o a través de distribuidores asociados. Por ejemplo la mayoría de los propietarios de vehículos particulares llevan a hacer el mantenimiento de sus unidades a las concesionarias que se lo vendieron. Esto permite a las concesionarias proveer a los fabricantes una gran cantidad de información sobre las fallas.

Se les paga para llevar a cabo estudios de confiabilidad sobre prototipos como parte del proceso de abastecimiento. Esto es muy común en adquisiciones militares y bastante raras en la industria en general.

En la mayoría de los casos el cliente encontró que la mejor forma de acceder a la información que poseen los fabricantes acerca del comportamiento del equipo es pidiéndole a sus vendedores técnicos experimentados que trabajen con la gente que eventualmente operará y mantendrá el activo, para desarrollar un AMFE que sea satisfactorio para ambas partes. Si se toma en cuenta esta sugerencia, los vendedores técnicos deben tener acceso sin restricciones al consejo de un especialista que lo ayude a responder preguntas difíciles. Así encaramos las cosas de esa manera, temas como las garantías, los derechos de autor, el vocabulario que los participantes deben manejar, el soporte técnico, la confiabilidad, etc. deben ser tenidos en cuenta en el momento en que se firma el contrato, con lo que todo el mundo sabrá qué es lo que se espera de la otra parte.

Nótese que hemos sugerido que se usen vendedores técnicos antes que diseñadores, ya que por lo general los diseñadores suelen negarse a admitir que sus diseños pueden fallar, con lo que se reduce su capacidad de ayuda para desarrollar el AMFE.

9. MANTENIMIENTO PROACTIVO

9.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y TAREAS PREVENTIVAS

Como mencionamos las acciones que pueden tomarse para manejar las fallas pueden dividirse en las siguientes dos categorías:

Tareas pro-activas: estas tareas se llevan a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Abarcan lo que comúnmente se denomina mantenimiento "predictivo" y "preventivo.", aunque RCM utiliza los términos rea-condicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.

Acciones a falta de: estas tratan con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento a rotura.

Estas dos categorías corresponden a la sexta y séptima pregunta del proceso de decisión básico de RCM:

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?

Se estudia el criterio utilizado para decidir si las tareas pro-activas son técnicamente factibles. También describen en mayor detalle cómo decidimos si merece la pena realizar ciertas categorías de tareas.

Se conoce q vale la pena realizar una tarea pro-activa si esta lograba reducir las consecuencias de la falla lo suficiente como para justificar los costos directos e indirectos de hacer la tarea. También se dijo que antes de considerar si merece la pena realizar una tarea, debemos por supuesto determinar si es técnicamente factible realizarla.

La factibilidad técnica de una tarea se define como:

Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado a un nivel que sea aceptable al dueño o usuario del activo

Desde el punto de vista técnico, existen dos temas a tener en cuenta para la selección de tareas pro-activas. Estos son:

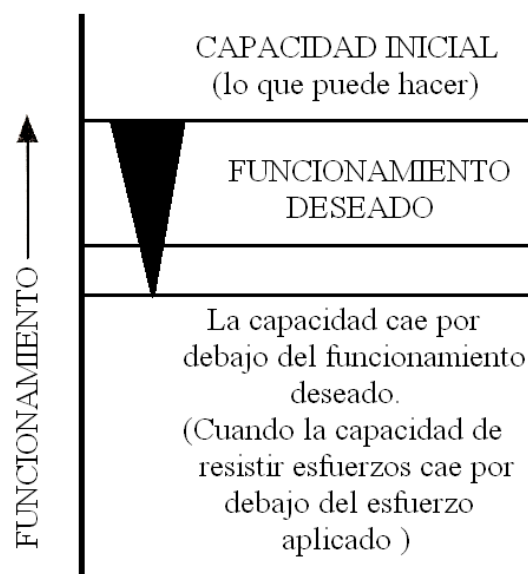
La relación entre la edad del componente que se está considerando y la probabilidad de que falle qué sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.

9.2 EDAD Y DETERIORO

Todo activo físico que cumple una función, está en contacto con el mundo real, esto lo lleva a estar sujeto a una variedad de esfuerzos. Estos esfuerzos hacen que el activo físico se deteriore, disminuyéndose su resistencia al esfuerzo. Finalmente esta resistencia cae al punto en que el activo físico ya no puede cumplir con el funcionamiento deseado - en otras palabras, falla. Este proceso se ilustró por primera vez y se muestra nuevamente de una manera levemente distinta en la Figura 9.1.

La exposición al esfuerzo es medida de varias maneras incluyendo la cantidad producida, distancia recorrida, ciclos operacionales cumplidos, tiempo calendario o

Figura 9.1: Deterioro hasta la falla

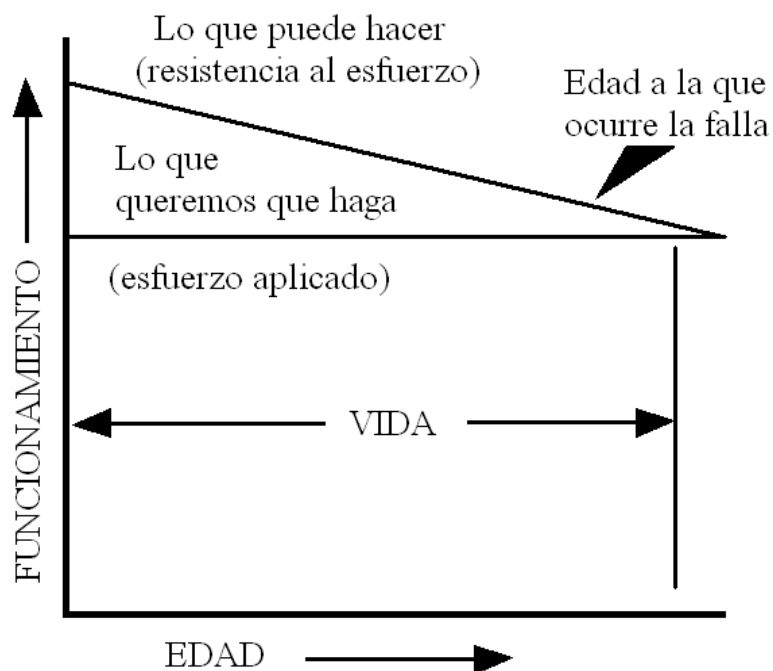


Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

tiempo de funcionamiento. Todas estas unidades están relacionadas con el tiempo, con lo que es común referirse a la exposición total al esfuerzo como la edad del componente. Esta conexión entre el esfuerzo y el tiempo sugiere que

debe haber una relación directa entre el grado de deterioro y la edad del componente. Si esto es así, entonces deberíamos decir que el punto en que ocurre la falla también debe depender de la edad del componente, como lo muestra la Figura 9.2. Sin embargo la Figura 9.2 está basada en las dos presunciones clave:

Figura 9.2: Absolutamente predecible



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

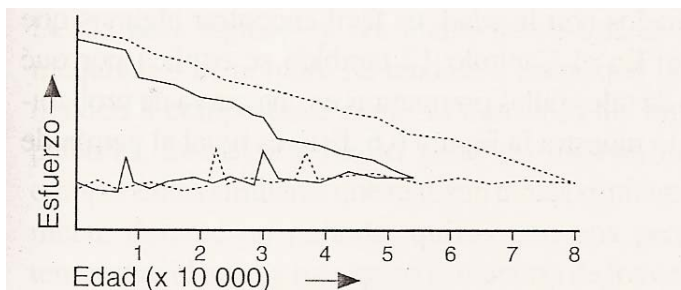
El deterioro es directamente proporcional al esfuerzo aplicado.
El esfuerzo es aplicado consistentemente.

Si esto fuera cierto para todos los activos, seríamos capaces de predecir la vida de los equipos con gran precisión. El punto de vista clásico del mantenimiento preventivo sugiere que esto puede hacerse - todo lo que necesitamos es información suficiente acerca de las fallas. Sin embargo en el mundo real, la situación no es tan precisa. Considerando una situación en la que hay una relación clara entre la edad y la falla.

Fallas relacionadas con la edad

Aún componentes que parecen idénticos varían su resistencia inicial a la falla sutilmente. La tasa a la cual esta resistencia declina con la edad también varía. Además, no hay dos componentes sujetos a idénticos esfuerzos a lo largo de sus vidas. Aún cuando estas variaciones sean muy pequeñas, pueden tener un efecto desproporcionado sobre la edad en la que falla el componente. En la Figura 6.3 se muestra lo que ocurre con dos componentes puestos en servicio con resistencia a la falla similar.

Figura 9.3: Gráfica Edad vs Esfuerzo



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Este punto de vista respecto de fallas relacionadas con la edad es algo simplista, ya que de hecho hay tres maneras en que la probabilidad de falla puede aumentar a medida que un componente envejece. Estas se ven en la Figura 9.4.

Figura 9.4: Fallas relacionadas con la edad



Fuente: Johnn Moubay. Mantenimiento centrado en confiabilidad

La característica que comparten los patrones A y B es que ambos muestran un punto en el que hay un rápido incremento de la probabilidad condicional de falla. El patrón C tiene un incremento constante de la probabilidad de falla, pero no muestra una zona de desgaste definida.

9.3. FALLAS RELACIONADAS CON LA EDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los patrones de falla relacionados con la edad se aplican a componentes muy simples, o a componentes complejos que sufren de un modo de falla dominante. En la práctica, comúnmente se los encuentra bajo condiciones de desgaste directo (mayormente cuando el equipo entra en contacto directo con el producto). También se los asocia con fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

Las características del desgaste ocurren mayormente cuando los equipos entran en contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas con la edad también tienden a estar asociadas con la fatiga, la oxidación, la corrosión y la evaporación.

La fatiga afecta a los componentes especialmente a las piezas metálicas que están sujetas a ciclos de carga que tienen una frecuencia razonablemente alta. La tasa y el grado en que la oxidación y la corrosión afectan a un componente, depende de su composición química, del grado de protección que tenga y del medio en el que está operando. La evaporación afecta a los solventes y a las fracciones más volátiles de los productos petroquímicos.

Bajo ciertas circunstancias, se dispone de dos opciones preventivas para reducir la incidencia de este tipo de modos de falla, estas son las tareas de rea-condicionamiento cíclico y las tareas de sustitución cíclica.

9.4 TAREAS DE RE-ACONDICIONAMIENTO Y SUSTITUCIÓN CÍCLICA

Los modos de falla que conforman los Patrones A o B de la Figura 9.4 son más probables que ocurran después del fin de su vida útil. Si una pieza o componente es uno de los que sobreviven hasta el fin de su vida útil, es posible sacarlo de servicio antes que entre en la zona de desgaste y tomar alguna clase de acción para prevenir que falle, o por lo menos para reducir las consecuencias de la falla. A veces, esta acción implica hacer algo para restablecer la capacidad inicial de un elemento o un componente que ha sido cambiado. Si hacemos estos a intervalos fijos sin intentar determinar la condición de la pieza o componente afectado antes de someterlo al proceso de rea-condicionamiento, la acción se conoce como rea-condicionamiento cíclico. Específicamente:

El rea-condicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento.

Las tareas de rea-condicionamiento cíclico también se conocen como tareas de re-trabajos cíclicos. Incluyen también revisiones o cambios completos hechos a intervalos preestablecidos para prevenir modos de falla específicos relacionados con la edad.

En el caso de algunos modos de falla relacionados con la edad, simplemente es imposible recuperar la capacidad inicial del elemento o del componente una vez que ha alcanzado el fin de su vida útil. En estos casos, la capacidad inicial sólo puede ser restaurada descartándolo y reemplazándolo por uno nuevo. En otros casos, el rea-condicionamiento cíclico de un elemento es técnicamente posible, pero es mucho más costo-eficaz cambiarlo por uno nuevo. En ambos casos; si el elemento o componente se reemplaza por uno nuevo a intervalos fijos sin intentar evaluar la condición del activo viejo, la tarea se conoce como sustitución cíclica.

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento.

Nótese que los términos de rea-condicionamiento y sustitución cíclica muchas veces se pueden aplicar exactamente a la misma tarea, y el término apropiado depende del nivel al cual se lleva a cabo el análisis.

Por esto tendemos a considerar el rea-condicionamiento cíclico y la sustitución cíclica juntos. Pero, la distinción se vuelve importante cuando se considera un modo de falla que puede prevenirse con cualquiera de las dos tareas cuando se las considera al mismo nivel de análisis.

La Frecuencia de Tareas de Rea-condicionamiento y Sustitución Cíclica.

La frecuencia con la que se realiza cada tarea de rea-condicionamiento cíclico está determinada por la vida útil del elemento. En otras palabras:

Nunca existe una correlación perfecta entre el ambiente de prueba y el ambiente de operación. El ensayo de partes que tienen una vida larga hasta la falla es muy costoso y obviamente toma mucho tiempo, por lo general no hay suficiente información como para poder determinar con confianza las curvas de supervivencia.

10. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

10.1 PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE Y PLANTA DE RE-INYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO DE LA SUPERINTENDENCIA DEL RÍO DE ECOPETROL S.A

Se presenta el desarrollo de la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad RCM para la planta de inyección de agua Casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe. A partir de análisis MEI “Efectividad de Mantenimiento de Reducir el Riesgo” páginas 102, 109, 124, para cada planta, se justifica la inversión en las tareas de mantenimiento.

Como se mencionó en el planteamiento del problema, este proyecto desarrolla lo concerniente a las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de las plantas seleccionadas.

10.1.1 Participantes

Operador: Eduardo Carreño, Ricardo León (ECP-SAR)

Especialista Eléctrico: Luís Hernando Forero (SAR-CBE), (SAR-CGO), José V. Cárdenas, Oswaldo Chiquillo (Confipetrol).

Especialista Rotativo: Adrián Villar (SAR-CBE), Alexander Sarmiento (SAR-CGO), Martín N. Almendrales (Confipetrol).

Especialista Instrumentos: Martín Granados (SAR-CBE), Nilo Ramos (SAR-CGO), Vicente J. Solano (Confipetrol).

Preventivos: Eudilson García, Jenny J. Reyes, Mayerlis Navarro (Confipetrol)

Confiabilidad: Guido Bernier M., Charles Ibarra, Andrés López, Leonardo Fajardo. Jose Julián Mantilla. Gabriel Ardila. (Confipetrol)

Cesar Antonio Cote F. (Riskam)

Facilitador: Arnulfo Grandas Rincón

10.1.2 Desarrollo

10.1.2.1 Programación

La reunión RCM se realizó en la sala de juntas de Casabe, el 4 de Julio de 2007 con todo el equipo responsable de la implementación del proceso RCM, para realizar el análisis costo beneficio de las tareas de mantenimiento.

10.1.3 Descripción Del Proceso

10.1.3.1 Objetivos De La Planta De Inyección De Agua De Casabe

El objetivo de la planta es de inyectar agua fresca de la red de captación de agua a los pozos inyectoros a presiones de 2250 Psi y 1950 Psi, a un caudal de 50000 BPD (Barriles Por día).

Con esta agua inyectada se incrementa la producción de los pozos, por lo cual se obtiene 1 barril de crudo adicional por cada 3.6 barriles de agua inyectada.

Se tiene previsto que para el año 2008, la planta va a operar con una capacidad de 50.000 BPD, por lo cual los análisis realizados se basaron con esta capacidad.

Fuentes: Capacidad de la planta determinada por ECOPETROL S.A.

10.1.3.2 Objetivos De La Planta De Re-Inyección De Agua Residual De Cantagallo

El objetivo principal de esta planta es la de tratar las aguas residuales obtenidas en el proceso de deshidratación del crudo del campo Cantagallo y re-inyectarlas a la formación Yari 8, con el fin de minimizar el impacto ambiental debido a los contenidos de elementos contaminantes presentes en el crudo. La capacidad es 10.000 BPD.

Fuente: Capacidad de la planta determinada por ECOPETROL S.A.

10.1.4 Tasa De Cambios Entre Dolares Y Pesos Colombianos

Figura 10.1 Tasa de Cambios

	TRM
02-02-2007	\$/US\$ 2246.06
02-03-2007	\$/US\$ 2246.88
02-04-2007	\$/US\$ 2190.3
02-05-2007	\$/US\$ 2104.16
02-06-2007	\$/US\$ 1885.8
02-07-2007	\$/US\$ 1960.61

Fuente: Diarios económicos.

Se toma de referencia el promedio del ultimo año y su proyección a 2008, de \$2300 / USD

Fuente: diarios económicos según variación y proyección de la tasa representativa del mercado

10.1.5 Costo De Personal

A continuación se presentan los costos estimados totales de mano de obra para las labores de mantenimiento y operación, aplicando el factor de productividad.

Los valores fueron tomados de las tarifas actuales de contratación, utilizando una tasa promedio de cambio representativo de \$2300 por US\$.

Figura 10.2 Costo De Personal

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO TOTAL
Ejecutor de Mantenimiento "Craftsman"	Hora Hombre	US\$ 10,10
Supervisor de Mantenimiento "Staff"	Hora Hombre	US\$ 10,10
Operador de Planta "Operator"	Minuto Hombre	US\$ 0,20

Fuente: Tarifas de contratación de ECOPETROL S.A

10.1.6 Pérdida De Producción.

10.1.6.1 Planta de Inyección de Agua de Casabe

Para la pérdida de producción de la planta de inyección de agua de Casabe, se tomó como capacidad de la misma en 50.000 BPD, la cual es la estimada para el 2008, fecha para la cual el proceso del RCM de estudio debe estar en implementación. Adicionalmente, con base en los datos de producción, se tiene que por cada 3.6 barriles de agua inyectada, se produce un barril de crudo.

10.1.6.2 Planta de Tratamiento y Re-inyección de Aguas Residuales de Cantagallo.

Como se explicó en los objetivos de la planta, el objetivo de la función es minimizar el impacto ambiental, por lo cual las consecuencias por la pérdida de la función de la planta, son sólo ambientales y no de carácter económico.

10.1.7 Resultados

10.1.7.1 Premisas

Las siguientes premisas son el punto de partida para el análisis de RCM, por lo tanto, para este taller 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 auxiliares o 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 esenciales para el mantenimiento deben estar disponibles en bodega.

Según la metodología de ECOPETROL, durante el taller de RCM no se analizan fallas múltiples.

Las fallas en la ejecución de 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. En el evento de tener recurrencia en estas fallas, se definirá una acción para corregir la causa.

RCM no analiza problemas de integridad mecánica, para lo cual la metodología apropiada es el RBI (Risk Based Inspection).

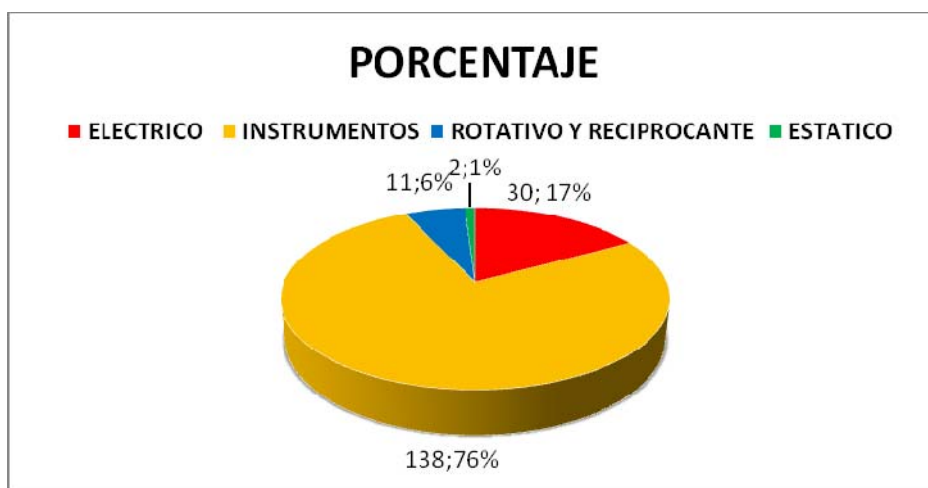
El escenario crítico para cada modo de falla es con base en “cero” mantenimiento. Se busca aumentar confiabilidad y la disminución de costos de mantenimiento.

10.1.8 Equipos Analizados

Para las plantas referenciadas: planta de inyección de agua de Casabe y planta de re-inyección de agua de Cantagallo, realizado el taller de análisis de RCM resultaron 268 equipos con fallas dominantes. Para la planta de inyección de agua de Casabe, se analizaron 181 equipos y para Cantagallo, 87 equipos.

En la figura 10.3 se muestra gráficamente la distribución de los equipos analizados según la especialidad (Eléctrico, Instrumentos, Estático, Rotativo y recíprocante) de la planta de inyección de agua Casabe.

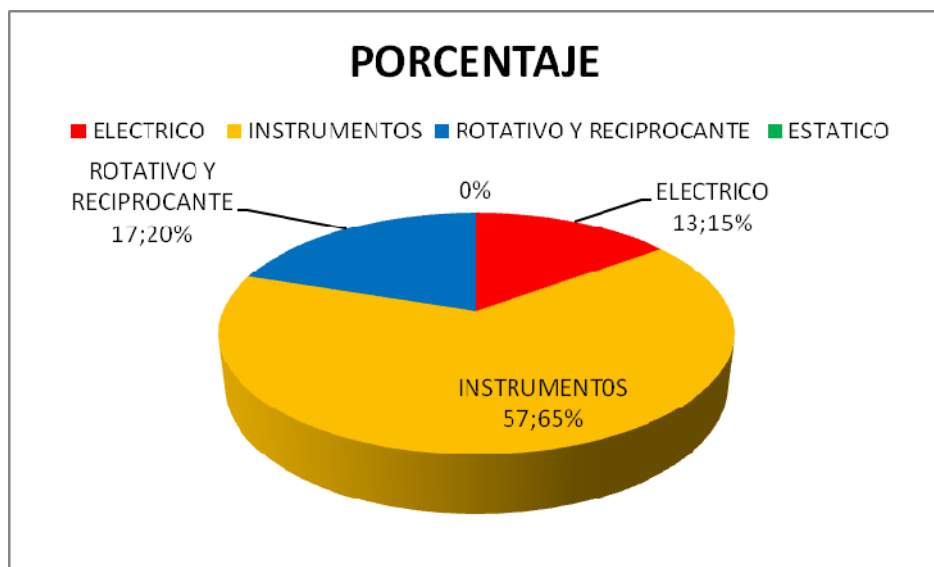
Figura 10.3 Distribución de equipos según la especialidad para la planta de inyección de agua Casabe



Fuente: Autores del Proyecto. Resultado de reunión RCM

En la figura 10.4 se muestra gráficamente la distribución de los equipos analizados según la especialidad (Eléctrico, Instrumentos, Rotativo y Estático) de la planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.

Figura 10.4 Distribución de equipos según la especialidad para la planta de re-inyección de agua Cantagallo



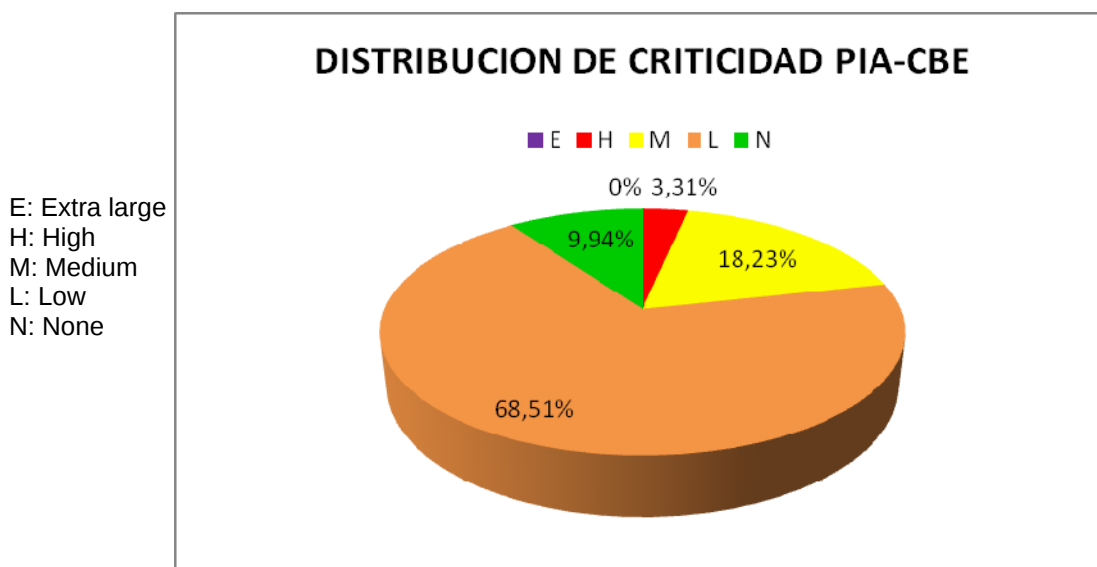
Fuente: Autores de proyecto. Resultado de reunión RCM

10.1.9 Distribución De Los Equipos Por Criticidad

Para visualizar la distribución de criticidad de cada planta, se muestran las figuras 3 y 4 respectivamente, donde se utilizó la matriz RAM del software RRM ver anexo J.

En la figura 10.5 se muestra la misma distribución de criticidad discriminada para los equipos de la planta de inyección de agua de Casabe donde el mayor porcentaje están con criticidades bajas (68.51% con L y 9.94% con N). Criticidades extremas no se encontraron.

Figura 10.5 Distribución de equipos por criticidad equipos de la planta de inyección de agua de Casabe, SAR

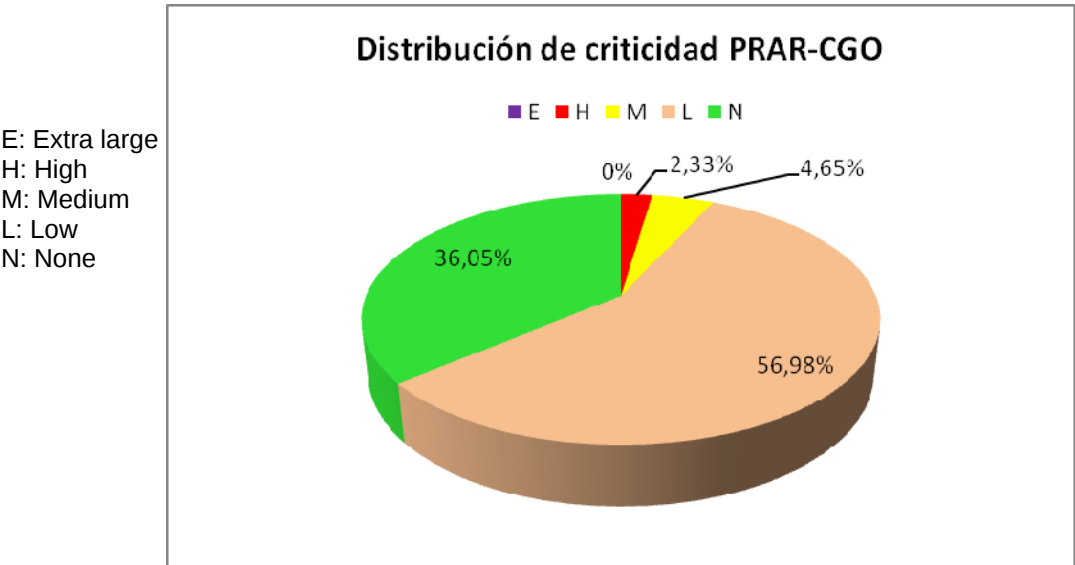


Fuente: Autor del proyecto según análisis de criticidad en la matriz RAM

La criticidad alta [H] es la menos representativa (3,31%), los equipos con estas criticidades corresponden a los motores eléctricos de las bombas de inyección y a los filtros de descarga de los pozos de captación.

Para la planta de re-inyección de agua de Cantagallo, ver figura 10.6, la criticidad alta [H] es la menos representativa (2,33%), y las más representativas las criticidades bajas (56,98% con L y 36.05% con N). Las criticidades altas corresponden al motor y compresor de aire de instrumentación.

Figura 10.6 Distribución de equipos por criticidad para la planta de reinyección de agua residual Cantagallo, SAR



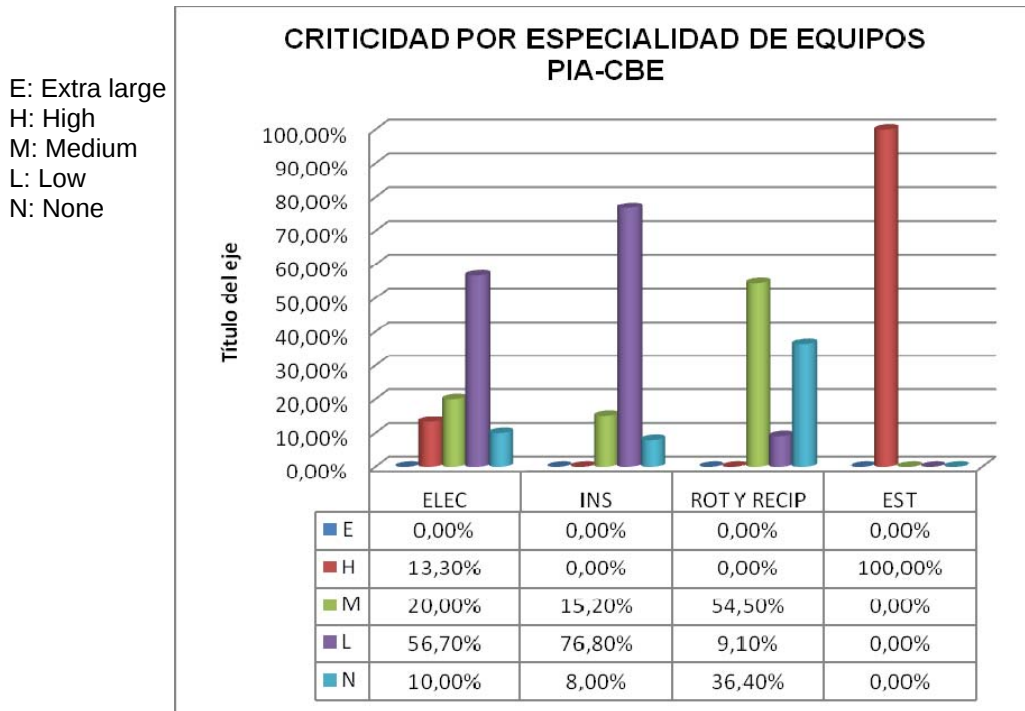
Fuente: Fuente: Autor del proyecto según análisis de criticidad en la matriz RAM

Nos concentraremos en analizar con más detalle, los equipos con criticidades más altas para cada una de las plantas.

10.1.10 Planta de Inyección de Agua de Casabe

Para visualizar gráficamente las criticidades de la planta de inyección de Casabe, se puede observar la Figura 10.7.

Figura 10.7 Criticidad por especialidad para la planta de inyección de Casabe



Fuente: Autor del proyecto según datos arrojados del software RRM

Como se mencionó arriba, la criticidad más alta encontrada fue [H], que corresponde a los cuatro motores eléctricos de las bombas de inyección de agua, y los filtros de captación.

En los motores es debido al modo de falla del sistema a tierra, cuya mayor consecuencia de este modo de falla es por seguridad, debido a las tensiones de paso y de toque. Esto afecta la función de inyección.

El riesgo sin mantenimiento es de \$105.5 KUS, el cual con las tareas de mantenimiento se reduce a \$35.3 KUS.

Fuente: Dato arrojado por RRM

En los filtros de agua es por el taponamiento del mismo, lo que afecta la presión y caudal de las bombas de captación ocasionando la salida de la planta de inyección por baja presión de succión de las bombas principales de la planta. Con las tareas de mantenimiento, el riesgo se reduce de \$46.5KUS a \$2.7 KUS.

Fuente: Dato arrojado por RRM

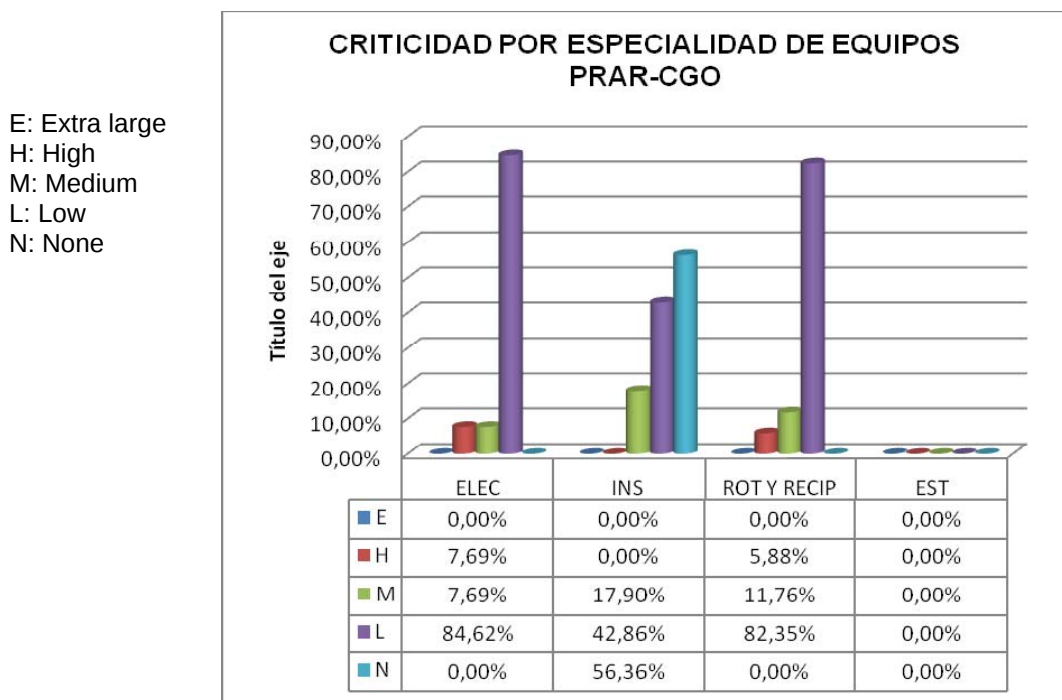
Con criticidades medias [M], se encuentra la falla de baterías del cargador; la falla del circuito de control de los motores de captación, falla en el barraje de los CCM, desconfiguración en el controlador Opto, falla en impulsores, anillos y chumaceras de las bombas de inyección, falla en los internos de las bombas de captación y descalibración en los switches de protección.

10.1.11 Planta de Tratamiento y Re-inyección de Aguas Residuales de Cantagallo.

La figura 10.6 muestra la distribución de criticidad por especialidad de la planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.

Con la criticidad más alta [H], se encontró el conjunto motor-compresor de aire de instrumentos debido a los modos de falla, falla en el control y/o protecciones del motor y falla de internos del compresor. En ambos casos, la planta puede salir de servicio por problemas de instrumentación, ocasionando impacto en el ambiente. Para el caso del control o protecciones del motor, puede ocasionar daño adicional del mismo.

Figura 10.8 Criticidad por especialidad para la planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo



Fuente: Autor del proyecto según datos arrojados del software RRM

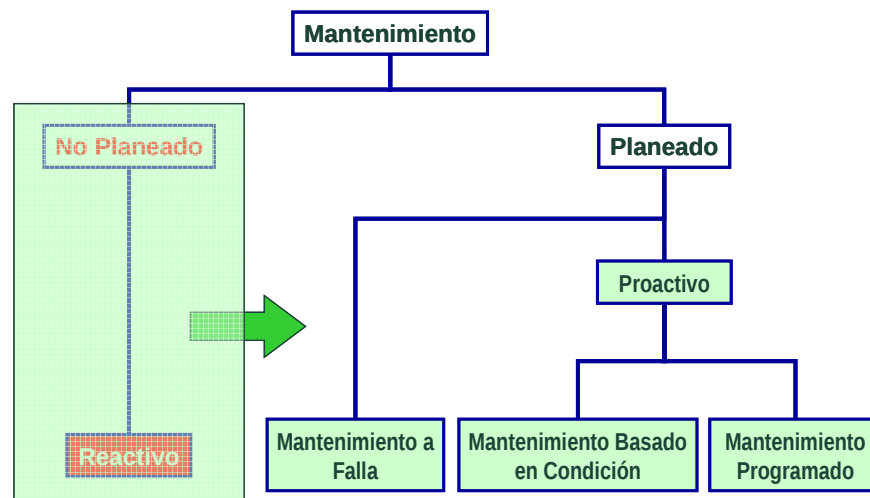
Con criticidades media [M], se encuentran la falla del barraje en los MCC, falla de rodamientos y bobinado del motor del compresor, falla de internos de las bombas reciprocantes de inyección, y des-configuración del sistema de control lógico de la planta.

En el Anexo F, se presenta el listado de equipos en orden de criticidad, para las plantas de Inyección de Casabe y la planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.

10.1.12 Estrategia De Mantenimiento

La estrategia de mantenimiento obtenida por el estudio de RCM de los activos para cumplir la función de las plantas de inyección de agua de Casabe y planta de reinyección de aguas residuales de Cantagallo, se basa en la filosofía de trabajar con un mantenimiento planeado, minimizando el mantenimiento no planeado o reactivo. Ver figura 10.9.

Figura 10.9 Opciones de Mantenimiento



Fuente: Autor del proyecto

El mantenimiento planeado incluye el 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 (tareas tipo TBT) 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 (tareas tipo CBT). En este tipo de tareas también se incluye todas las rutas de monitoreo

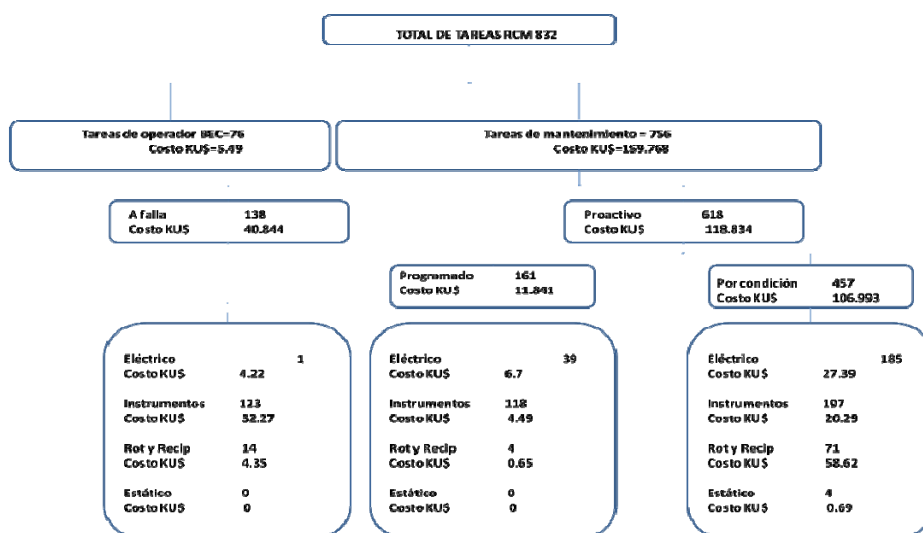
y rutas del operador (tareas tipo CMT) que obedecen a un programa de seguimiento de la condición de los equipos.

Para analizar los datos, lo haremos por separado cada una de las plantas.

10.1.12.1 Planta de Inyección de Agua de Casabe.

La figura 10.9 se muestra la distribución por número de tareas y costos estimados de acuerdo a la estrategia planteada en la figura 10.10

Figura 10.10 Opciones de Mantenimiento planta de inyección de agua de Casabe



Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM

Analizando el resultado de la estrategia de mantenimiento para los equipos de la planta de de Inyección de Agua de Casabe, el 9,13% de las tareas corresponden a actividades del operador, las cuales tienen que asegurarse en las rondas estructuradas de ellos. Estas tareas normalmente son las más costo-efectivas, ya que ayudan a mantener la función del equipo y a mitigar las consecuencias de las fallas o prevención de fallas tempranas no deseadas.

De las tareas ejecutadas por mantenimiento (90.87% del total), el 18,25% (138) corresponde a una estrategia a falla y un 81,75% (618) a una estrategia proactiva.

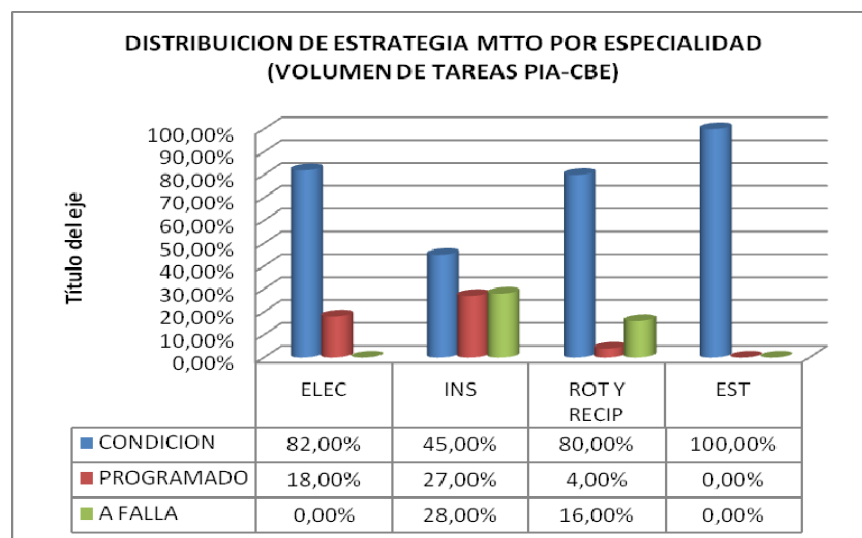
De la estrategia a falla, el mayor volumen corresponde a la especialidad de instrumentos y control, debido a los modos de fallas cuya característica es aleatoria y súbita, por lo cual no es factible tarea y/o su criticidad es baja y no se justifica un mantenimiento proactivo. Este comportamiento es normal en este tipo de equipos.

De las estrategias pro-activas, el mayor volumen de tareas corresponde al mantenimiento por condición con el 60.45% del total de tareas de mantenimiento (161 tareas de las 756), y el programado equivale al 21.30% del total de mantenimiento.

Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM

Para explicar el comportamiento con respecto a las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.11

Figura 10.11 Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)



Fuente: Autor del proyecto según análisis figura 10.10

Analizando los costos estimados de las tareas a falla se detecta que el total de tareas representan el 25,58% de los costos de las tareas de mantenimiento. Este comportamiento es justificable porque los costos de los mantenimientos realizados por falla son superiores a aquellos realizados por condición o programados. Analizando más en detalle, se puede observar que el 79.01% de los costos a falla pertenece a instrumentos por la mayor cantidad de equipos analizados y el

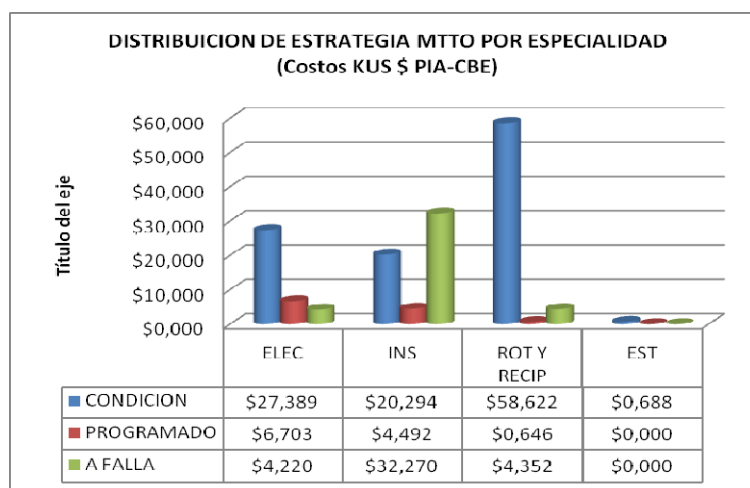
comportamiento arriba mencionado. En equipo rotativo y eléctrico, los costos a falla son similares con 10.6% y 10.3% respectivamente, del total de tareas a falla.

En términos generales, para estos sistemas, la principal estrategia es por condición, en cuanto a número de tareas y costos asociados. El 60,45% de las tareas de mantenimiento es por condición, con un costo del 67,01% del total de mantenimiento. Este porcentaje refleja que para estos sistemas, la principal estrategia es por condición, minimizando los costos de mantenimiento sólo cuando su condición lo requiera.

En cuanto al mantenimiento programado, el 21,30% de las tareas consumen el 7,42% de los costos de mantenimiento. El menor costo en porcentaje refleja que los mantenimientos mayores son por condición.

Para analizar el comportamiento de los costos de las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.12. Se hace claridad que los costos reflejados en este estudio no obedecen a una planeación exacta y son sólo para evaluación costo beneficio.

Figura 10.12 Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)



Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM.

Los mayores costos corresponden al equipo rotativo, US\$ 63,62K del total de costos de mantenimiento, y para los equipos de instrumentación, US\$ 57,06K.

Analizando por estrategia, el mayor valor se refleja en el mantenimiento proactivo, con mayor porcentaje en el mantenimiento por condición con el 60.45% (\$107KUS) del total de los costos estimados en las tareas de mantenimiento.

Por especialidad el mayor impacto es el equipo rotativo, con 54.79% de los costos por condición de la planta.

Detallando, el que más impacta es la estrategia por condición del equipo rotativo, con el 54.79% de los costos por condición de la planta, normal para estos tipos de equipos y por su tamaño y por ser los equipos medulares de la planta.

Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM.

ANALISIS DEL COSTO BENEFICIO GLOBAL

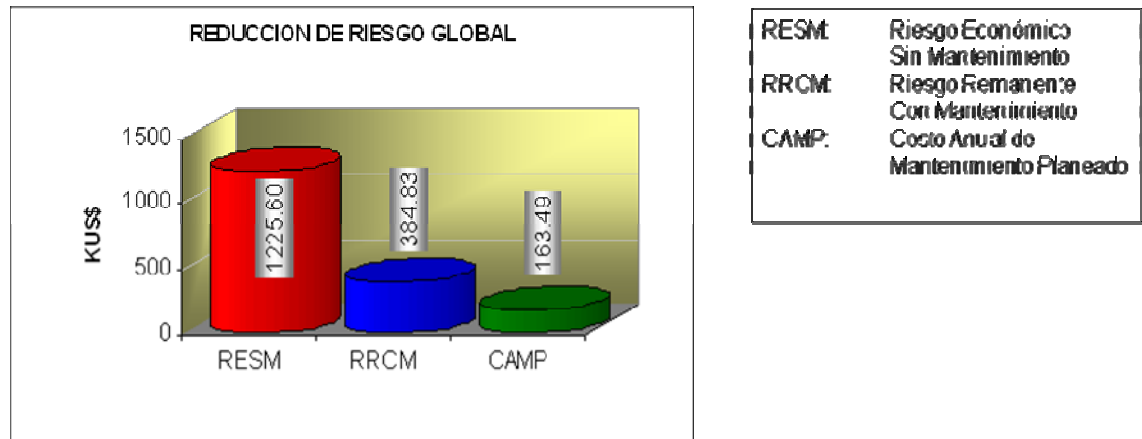


MEI = Efectividad de Mantenimiento en reducir el Riesgo

Fuente: Autor proyecto

Figura 10.13 Análisis del costo beneficio global

PLANTA DE INYECCION DE AGUA CASABE



$$MEI = \frac{\text{Riesgo Sin Mto} - \text{Riesgo Con Mto}}{\text{Costo Mto Anualizado}}$$

$$MEI = 5.14$$

Fuente: Autor de proyecto según resultados software RRM

Figura 10.14 Reducción de riesgo global

Habiendo hecho el análisis de riesgos de pérdida al no tener mantenimiento, teniendo mantenimiento y comparando esto con el costo de llevar a cabo las actividades de mantenimiento para la planta de inyección de agua Casabe nos arroja el un resultado MEI favorable para la implementación de la estrategia de mantenimiento. Esto porque una estrategia de mantenimiento es factible si el valor $MEI > 1$.

La lista detallada de las tareas de Mantenimiento Planeado, definidas para las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de Inyección de Agua de Casabe, se presenta en el Anexo EA. Así como sus respectivos procedimientos se muestran en el Anexo EB

Cada una de las tareas definidas contiene la siguiente información:

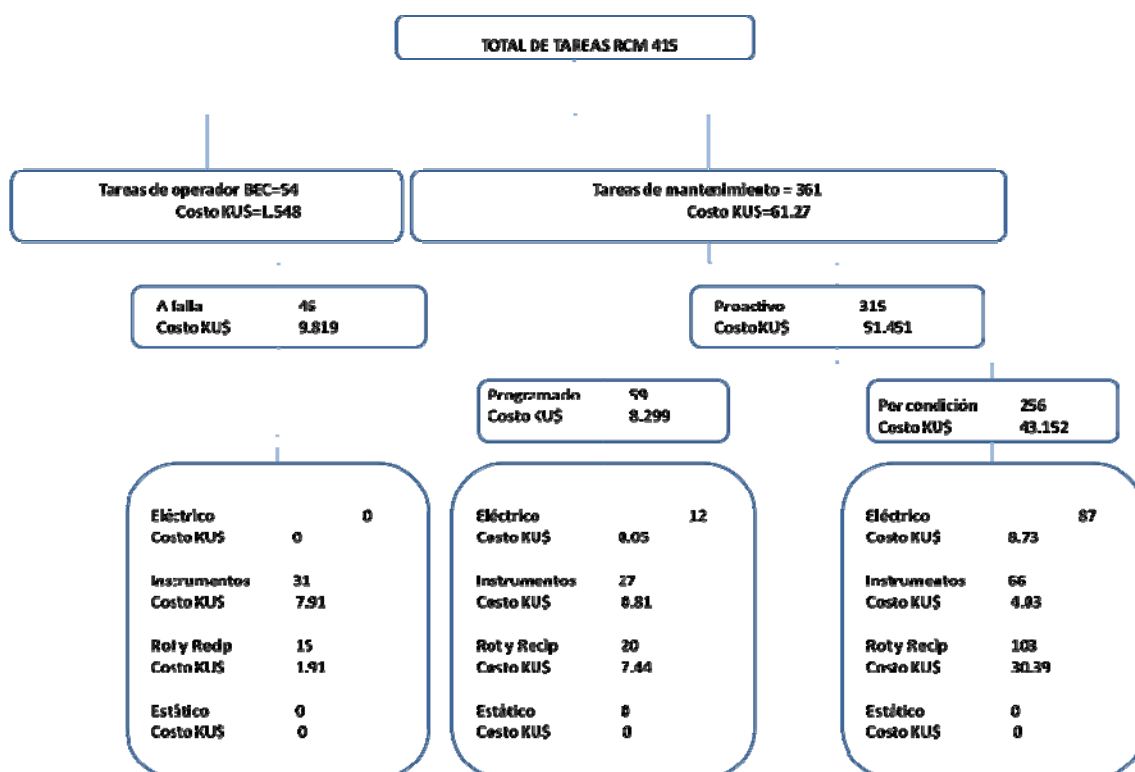
- Tag (Nombre del equipo).
- Tipo de Equipo.
- Modo de Falla.
- Clasificación según matriz de evaluación de riesgos (RAM).
- Tipo de Tarea

- Descripción de la Tarea
- Frecuencia de Ejecución
- Costo anual de la tarea

10.1.12.2 Planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.

La figura 10.12 muestra la distribución en número de tareas y costos estimados de acuerdo a las opciones de mantenimiento.

Figura 10.15: Opciones de Mantenimiento planta de re-inyección de aguas residuales de Cantagallo.



Fuente: Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM

Similar a la planta de inyección de agua de Casabe, analizando el resultado de la estrategia de mantenimiento para los equipos de la planta de de Re-Inyección de Aguas Residuales de Cantagallo, el 13,01% de las tareas corresponden a actividades del operador, las cuales tienen que asegurarse en las rondas estructuradas de ellos. Estas tareas normalmente son las más costo-efectivas, ya

que ayudan a mantener la función del equipo y a mitigar las consecuencias de las fallas o prevención de fallas tempranas no deseadas.

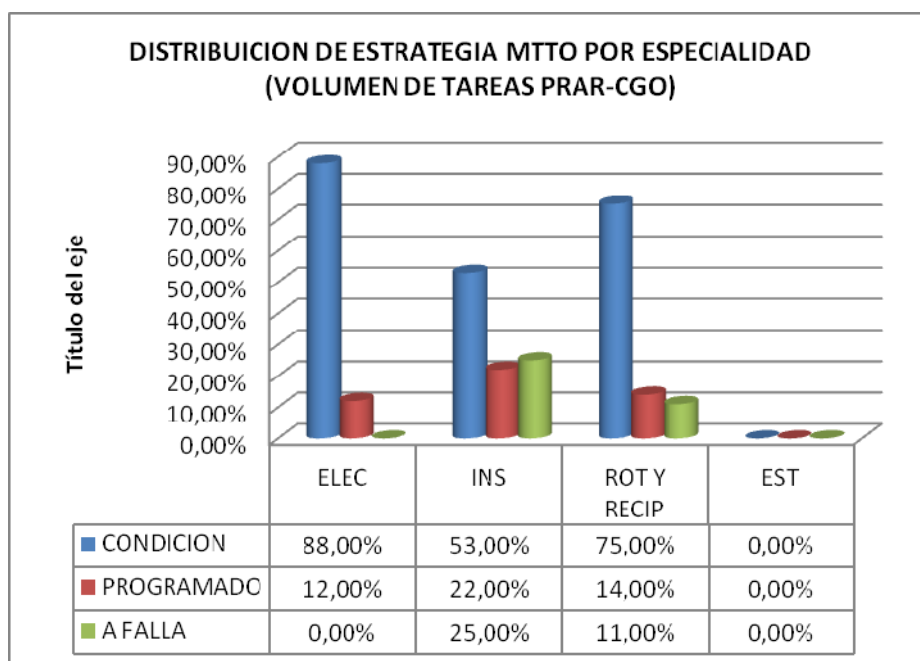
De las tareas ejecutadas por mantenimiento (87% del total), el 12,74% (46) corresponde a una estrategia a falla y un 87,26% (315) a una estrategia proactiva.

De la estrategia a falla, el mayor volumen corresponde a la especialidad de instrumentos y control, debido a los modos de fallas cuya característica es aleatoria y súbita, por lo cual no es factible tarea y/o su criticidad es baja y no se justifica un mantenimiento proactivo. Este comportamiento es normal en este tipo de equipos.

De las estrategias pro-activas, el mayor volumen de tareas corresponde al mantenimiento por condición con el 70.91% del total de tareas de mantenimiento (256 tareas de las 361), y el programado equivale al 16.34% del total de mantenimiento.

Para explicar el comportamiento con respecto a las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.16.

Figura 10.16. Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)



Fuente: Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM.

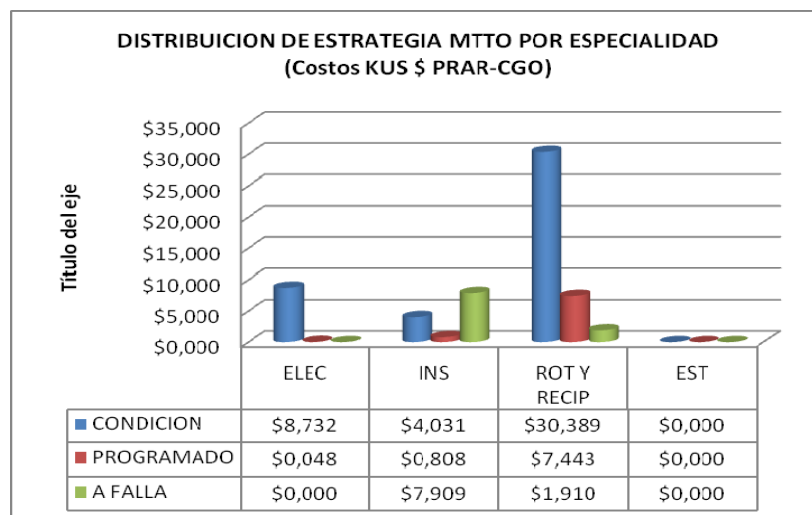
Analizando los costos estimados de las tareas a falla se detecta que el total de tareas (12,74%) representan el 16,03% de los costos de las tareas de mantenimiento. Analizando más en detalle, se puede observar que el 80,55% de los costos a falla pertenece a instrumentos por la mayor cantidad de equipos analizados y el comportamiento arriba mencionado. En equipo rotativo los costos a falla representan 19.45% y para el equipo eléctrico no hay tareas a falla.

En términos generales, para estos sistemas, la principal estrategia es por condición, en cuanto a número de tareas y costos asociados. El 70,91% de las tareas de mantenimiento es por condición, con un costo del 70,43% del total de mantenimiento. Este porcentaje refleja que para estos sistemas, la principal estrategia es por condición, minimizando los costos de mantenimiento sólo cuando su condición lo requiera.

En cuanto al mantenimiento programado, que es el 16,34% de las tareas consumen el 13,54% de los costos de mantenimiento. El menor costo en porcentaje refleja que los mantenimientos mayores son por condición.

Para analizar el comportamiento de los costos de las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.14. Se hace claridad que los costos reflejados en este estudio no obedecen a una planeación exacta y son sólo para evaluación costo beneficio.

Figura 10.17. Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)



Fuente: Fuente: Autor del proyecto según resultados software RRM.

Los mayores costos corresponden al equipo rotativo, US\$ 39,74K del total de costos de mantenimiento, y para los equipos de instrumentación, US\$ 12,75K.

Analizando por estrategia, el mayor valor se refleja en el mantenimiento proactivo, con mayor porcentaje en el mantenimiento por condición con el 70.43% (\$43KUS) del total de los costos estimados en las tareas de mantenimiento.

Por especialidad el mayor impacto es el equipo rotativo de la planta.

Detallando, el que más impacta es la estrategia por condición del equipo rotativo, con el 70,42% de los costos por condición de la planta, normal para estos tipos de equipos y por su tamaño y por ser los equipos modulares de la planta.

Para el equipo eléctrico, igualmente el mayor impacto en costos se refleja en el mantenimiento basado en condición. Para instrumentos, el mayor impacto es a falla, por las características mencionadas arriba.

ANALISIS COSTO BENEFICIO GLOBAL

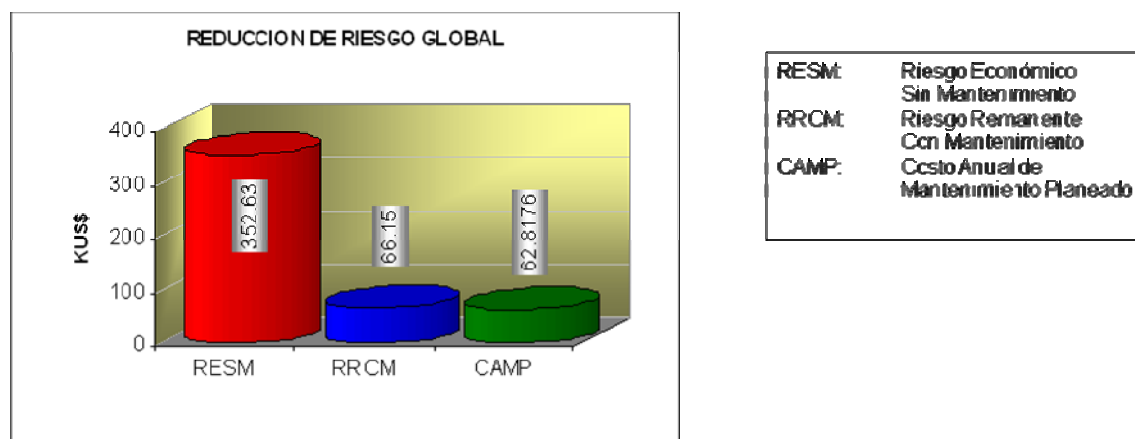


MEI = Efectividad de Mantenimiento en reducir el Riesgo

Fuente: Autor del proyecto

Figura 10.18 Análisis Global

PLANTA REINYECCION AGUA RESIDUAL CANTAGALLO



$$MEI = \frac{\text{Riesgo Sin Mtto} - \text{Riesgo Con Mtto}}{\text{Costo Mtto Anualizado}}$$

$$MEI = 4.56$$

Fuente: Autor de proyecto según resultados software RRM

Figura 10.19 Reducción Global

Habiendo hecho el análisis de riesgos de pérdida, al no tener mantenimiento, teniendo mantenimiento y comparando esto con el costo de llevar a cabo las actividades de mantenimiento para la planta de reinyección de agua residual Cantagallo nos arroja el un resultado MEI favorable para la implementación de la estrategia de mantenimiento. Esto porque una estrategia de mantenimiento es factible si el valor MEI >1.

La lista detallada de las tareas de Mantenimiento Planeado, definidas para las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta planta de re-inyección de Aguas Residuales de Cantagallo, se presenta en el Anexo EC. Así como sus respectivos procedimientos se muestran en el Anexo ED

Cada una de las tareas definidas contiene la siguiente información:

- Tag (Nombre del equipo).

- Tipo de Equipo.
- Modo de Falla.
- Clasificación según matriz de evaluación de riesgos (RAM).
- Tipo de Tarea
- Descripción de la Tarea
- Frecuencia de Ejecución
- Costo anual de la tarea

10.1.13 Recomendaciones

Se hace necesario tener un punto focal a nivel de la Superintendencia para hacer seguimiento al plan de implementación, el cual debiera estar en el portal de seguimiento de objetivos de la VPR-SAR. Esto le permitirá hacer un seguimiento detallado a la implementación de las estrategias y premisas definidas por la metodología de RCM.

En el anexo No G, se presenta la lista de acciones que se deben ejecutar para las plantas de inyección de agua de Casabe y re-inyección de aguas residuales de Cantagallo. El listado contiene el nombre de las dependencias responsables de liderar su ejecución. Es de vital importancia la gestión de estas acciones de acuerdo al plan de implementación del RCM, y que se retroalimente el programa del RRM para cerrarlas una vez se ejecuten y asegurar la información y validación en algunos casos de la criticidad e impacto de las fallas y tareas para prevenirlas.

Es imprescindible recordar que para que esta estrategia de mantenimiento funcione adecuadamente es necesario cumplir con las premisas fundamentales, como la política de repuestos, el stand by disponible y la implementación de las tareas de acción.

La Estructura de control de gestión, debe hacer seguimiento a la implementación de las estrategias de mantenimiento definidas por el RCM y a las tareas de acción definidas en él.

Para las dos plantas, la estrategia principal es por condición, por lo cual se debe asegurar las rutas de monitoreo de la condición y sus análisis efectivos de acuerdo a los modos de falla, y la ejecución oportuna para restaurar la condición de falla encontrada en los análisis.

Es importante realizar una planeación detallada, y una programación adecuada, con el objetivo de minimizar el tiempo de parada de todo el sistema, y realizar la gestión necesaria a un nivel superior para controlar y cumplir con el tiempo de mantenimiento, estableciendo indicadores de resultado.

10.2 Estación 2 De Recolección Y Tratamiento Casabe

10.2.1 Participantes

Operador: José Sandoval, Jairo Vila Villamizar, Ricardo León (ECP-SAR)
Especialista Eléctrico: Luís Hernando Forero (SAR-CBE), Fredy A. Ruiz (SAR-CGO), José V. Cárdenas (Confipetrol), Oswaldo Chiquillo (Confipetrol).
Especialista Rotativo: Adrián Villar (SAR-CBE), Alexander Sarmiento (SAR-CGO), Martín N. Almendrales (Confipetrol).
Especialista PCP: Oscar Buitrago (Especialista PCP Weatherford)
Especialista BES: Alvaro Leon (Especialista BES Schlumberger)
Especialista Instrumentos: Martín Granados (SAR-CBE), Nilo Ramos (SAR-CGO), Vicente J. Solano (Confipetrol).
Preventivos: Eudilson García (Confipetrol)
Confiabilidad: Guido Bernier M., Andrés López, Leonardo Fajardo, Jose Julián Mantilla, Gabriel Ardila (Confipetrol) Cesar Antonio Cote F. (Riskam)
Facilitador: Arnulfo Grandas Rincón.

10.2.2 Desarrollo

10.2.2.1 Programación

La reunión RCM se realizó en la sala de juntas de Casabe, el 4 de Julio de 2007 con todo el equipo responsable de la implementación del proceso RCM, para realizar el análisis costo beneficio de las tareas de mantenimiento.

10.2.3 Descripción Del Proceso

10.2.3.1 Objetivos De La Estación 2 De Recolección Y Tratamiento De Crudo De Casabe

El objetivo de la estación 2 de Casabe es recolectar y tratar el crudo antes de ser enviado por la estación de bombeo CONDOR a refinería.

El tratamiento que recibe el crudo en la estación es básicamente el proporcionar separación de gas, realizar la remoción de agua libre, y favorecer la coalescencia

de partículas de agua atrapadas para cumplir con especificaciones en el crudo de entrega a refinería.

Esta estación tiene una producción promedio de 2.100 BOPD(Barrel Oil Per Day), fue diseñada para manejar una carga normal de 3.770 BOPD (110GPM); y 34.286BWPD (Barrel Water Per Day), (1000GPM) y una carga máxima de 4.300 BOPD (125 GPM) y 36.000 BWPD (1.050 GPM). El crudo llega a esta estación con un BSW del 80% y sale con un BSW del 0,5%. BSW(cantidad de agua en solución con el petróleo).

A esta Estación llegan 4 cabezales de varios y cuatro de prueba. El de varios es una línea que generalmente inicia con 4" y termina con 6", la cual recoge la producción de los pozos a lo largo de su recorrido hasta llegar a la Estación.

Fuentes: Capacidad de la planta determinada por ECOPETROL S.A

10.2.4 Tasa De Cambios Entre Dolares Y Pesos Colombianos

	TRM
02-02-2007	\$/US\$ 2246.06
02-03-2007	\$/US\$ 2246.88
02-04-2007	\$/US\$ 2190.3
02-05-2007	\$/US\$ 2104.16
02-06-2007	\$/US\$ 1885.8
02-07-2007	\$/US\$ 1960.61

Se toma de referencia el promedio del ultimo año y su proyección a 2008, de \$2300 / USD

Fuente: diarios económicos según variación de la tasa representativa del mercado

10.2.5 COSTO DE PERSONAL

A continuación se presentan los costos estimados totales de mano de obra para las labores de mantenimiento y operación, aplicando el factor de productividad.

Los valores fueron tomados de las tarifas actuales de contratación, utilizando una tasa promedio de cambio representativo de \$2300 por US\$.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO TOTAL
Ejecutor de Mantenimiento "Craftsman"	Hora Hombre	US\$ 10,10
Supervisor de Mantenimiento "Staff"	Hora Hombre	US\$ 10,10
Operador de Planta "Operator"	Minuto Hombre	US\$ 0,20

Fuente: Fuente: Tarifas de contratación de ECOPETROL S.A

10.2.6 Pérdida De Producción.

10.2.6.1 Estación 2 de Casabe

Para definir la pérdida de producción de la estación 2 de Casabe, se tomó como producción promedio normal en 2.100 BPD, precio de crudo: \$40US por barril y costo por hora por la salida de la estación \$3500 US / hora.

10.2.7 Resultados

10.2.7.1 Premisas

Las siguientes premisas son el punto de partida para el análisis de RCM, por lo tanto, para este taller 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 auxiliares o 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 esenciales para el mantenimiento deben estar disponibles en bodega.

Según la metodología de ECOPETROL, durante el taller de RCM no se analizan fallas múltiples.

Las fallas en la ejecución de 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. En el evento de tener recurrencia en estas fallas, se definirá una acción para corregir la 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 el RBI.

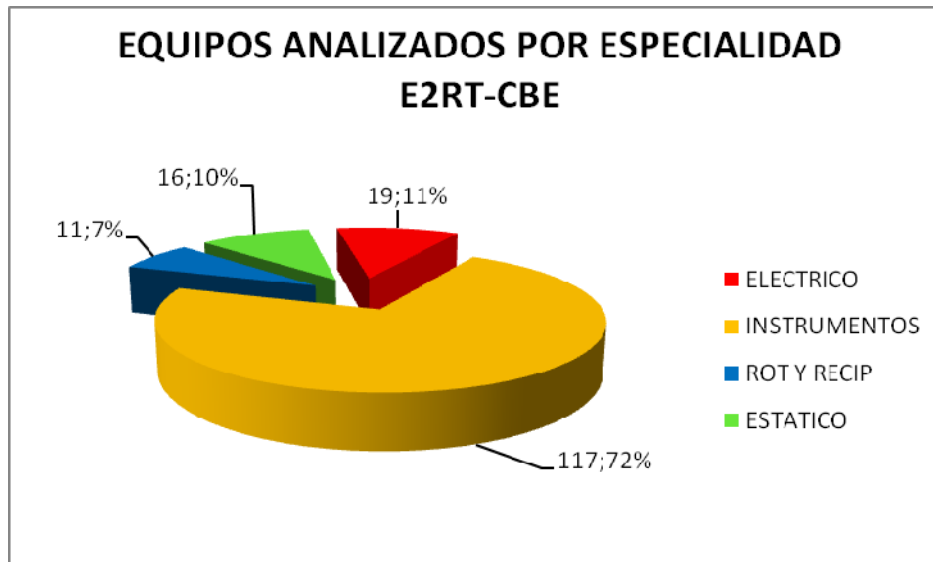
El escenario crítico para cada modo de falla es con base en “cero” mantenimiento. Se busca aumentar confiabilidad y la disminución de costos de mantenimiento.

10.2.8 Equipos Analizados

Para el sistema referenciado: Estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe, se analizaron 151 equipos.

En la figura 10.20 se muestra gráficamente la distribución de los equipos analizados según la especialidad (Eléctrico, Instrumentos, Rotativo y Estático) de la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe.

Figura 10.20 Distribución de equipos según la especialidad para la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe.



Fuente: Autores del Proyecto. Resultado de reunión RCM

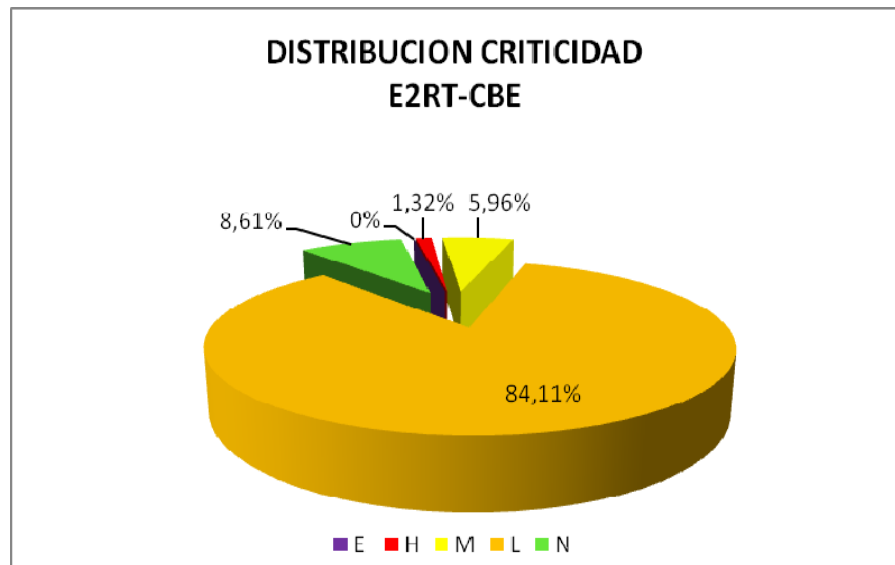
10.2.9 Distribución De Los Equipos Por Criticidad

Para visualizar la distribución de criticidad de cada planta, se muestran las figuras 10.21 y 10.22 respectivamente, donde se utilizó la matriz RAM del software RRM. Ver anexo D

En las figura 10.21 se muestran la misma distribución de criticidad discriminada para los equipos de la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe donde el mayor porcentaje están con criticidades bajas (84,11% con L y 8,61% con N). Criticidades extremas no se encontraron.

Figura 10.21. Distribución de equipos por criticidad equipos de la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe, SAR.

E: Extra large
H: High
M: Medium
L: Low
N: None



Fuente: Autores del Proyecto

La criticidad alta [H] es la menos representativa (1,32%), los equipos con estas criticidades corresponden a la bomba de cavidad progresiva 1049D y al separador general de crudo.

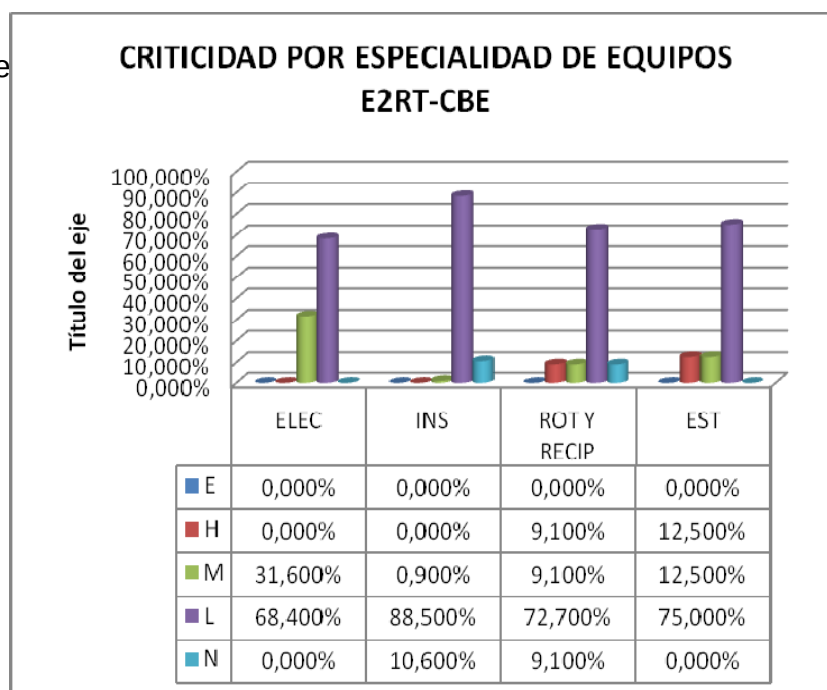
Nos concentraremos en analizar con más detalle, los equipos con criticidades más altas para cada una de las plantas.

10.2.10 Estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe

Para visualizar gráficamente las criticidades de la estación 2 de Casabe, se puede observar la Figura 10.22.

Figura 10.22 Criticidad por especialidad para la estación 2 de recolección y tratamiento de Casabe

E: Extra large
H: High
M: Medium
L: Low
N: None



Fuente: Autores del Proyecto según datos arrojados del software RRM

Como se mencionó arriba, la criticidad más alta encontrada fue [H], que corresponde a la bomba de cavidad progresiva 1049D y al separador general de crudo de agua, gas y arena

La bomba de cavidad progresiva 1049D debido al modo de falla de prensa-empaques puede ocasionar la parada de producción del pozo y adicionalmente puede presentar contaminación del área por fuga. Para esta bomba, las tareas técnicamente factibles para su mantenimiento pro-activo, obligarían a parar el

pozo por lo cual no son costo-efectivas, es por esto que su criticidad da tan elevada.

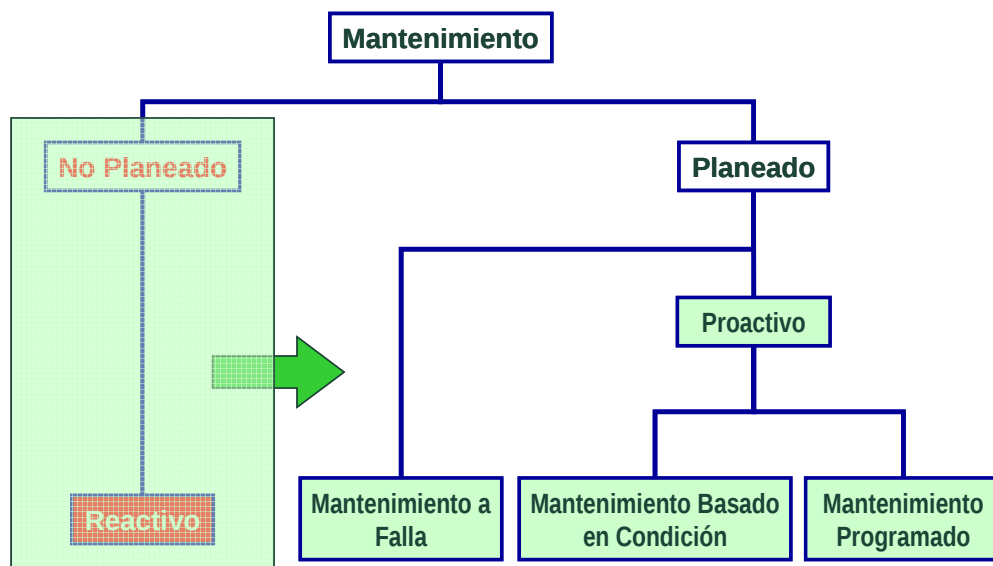
El separador de prueba, debido a la falla de performax (filtros), por el taponamiento por la arena, se pierde retención de arena y laminaridad del flujo afectando la función del separador, se afecta la calidad de crudo aguas abajo por presencia de mayor agua y arena.

Con criticidades medias [M], se encuentra falla de control y/o protecciones de los motores de las bombas de transferencia; falla de cojinete de la bomba P103 envía crudo al separador general; falla distribuidor y falla platina de impacto del separador general; falla del switch de presión descarga PCP 264R; obstrucción de boquillas del tratador recibe crudo despacha tratado al TK101A.

10.2.11 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

La estrategia de mantenimiento obtenida por el estudio de RCM de los activos para cumplir la función de la estación 2 de recolección y tratamiento Casabe, se basa en la filosofía de trabajar con un mantenimiento planeado, minimizando el mantenimiento no planeado o reactivo. Ver figura 10.23

Figura 10.23 Opciones de Mantenimiento



Fuente: Autores del Proyecto

El mantenimiento planeado incluye el 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 (tareas tipo TBT) 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

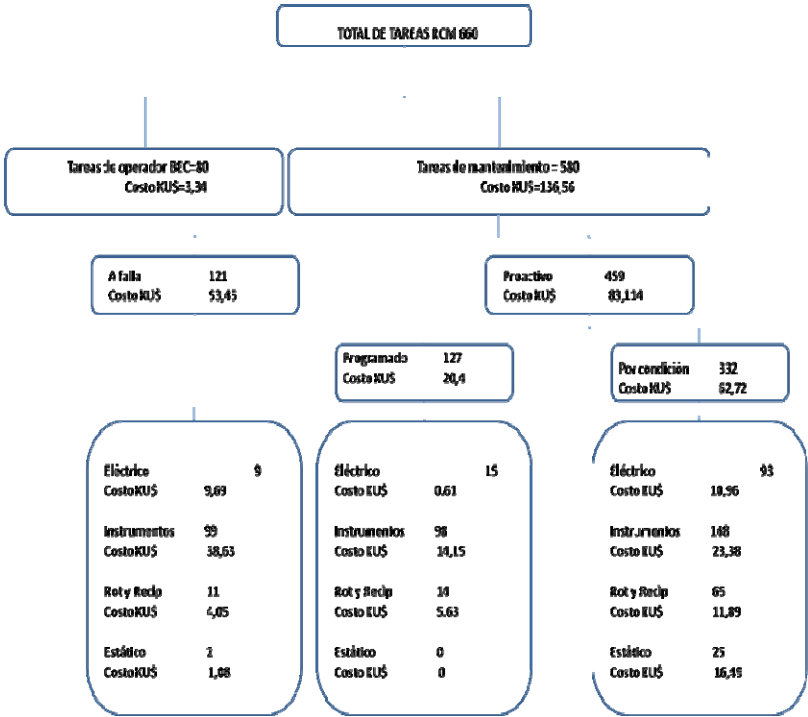
Mantenimiento por Condición: Incluye las tareas que se deben ejecutar una vez se ha realizado un análisis de la información de un monitoreo de la condición (tareas tipo CBT). En este tipo de tareas también se incluye todas las rutas de monitoreo y rutas del operador (tareas tipo CMT) que obedecen a un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

Para analizar los datos, lo haremos por separado cada una de las plantas.

10.2.11.1 Estación 2 de Recolección y Tratamiento de Casabe.

La figura 10.24 se muestra la distribución por número de tareas y costos estimados de acuerdo a la estrategia planteada en la figura 10.18

Figura 10.24 Opciones de Mantenimiento Estación 2 de Recolección y Tratamiento de Casabe



Fuente: Autores del Proyecto según resultados del software RRM

Analizando el resultado de la estrategia de mantenimiento para los equipos de la estación 2 de Casabe, el 12,12% de las tareas corresponden a actividades del operador, las cuales tienen que asegurarse en las rondas estructuradas de ellos. Estas tareas normalmente son las más costo-efectivas, ya que ayudan a mantener la función del equipo y a mitigar las consecuencias de las fallas o prevención de fallas tempranas no deseadas.

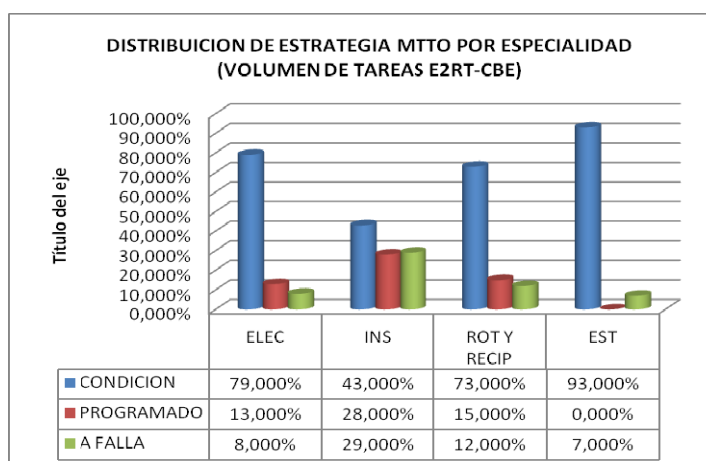
De las tareas ejecutadas por mantenimiento (87.88% del total), el 20,86% (121) corresponde a una estrategia a falla y un 79,14% (459) a una estrategia proactiva.

De la estrategia a falla, el mayor volumen corresponde a la especialidad de instrumentos y control, debido a los modos de fallas cuya característica es aleatoria y súbita, por lo cual no es factible tareas de mantenimiento y/o su criticidad es baja y no se justifica un mantenimiento pro activo. Este comportamiento es normal en este tipo de equipos.

De las estrategias pro activas, el mayor volumen de tareas corresponde al mantenimiento por condición con el 57,24% del total de tareas de mantenimiento (332 tareas de las 580), y el programado equivale al 21.90% del total de mantenimiento.

Para explicar el comportamiento con respecto a las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.25

Figura 10.25 Distribución de la estrategia de mantenimiento (volumen tareas)



Fuente: Autores del Proyecto según análisis figura 10.24

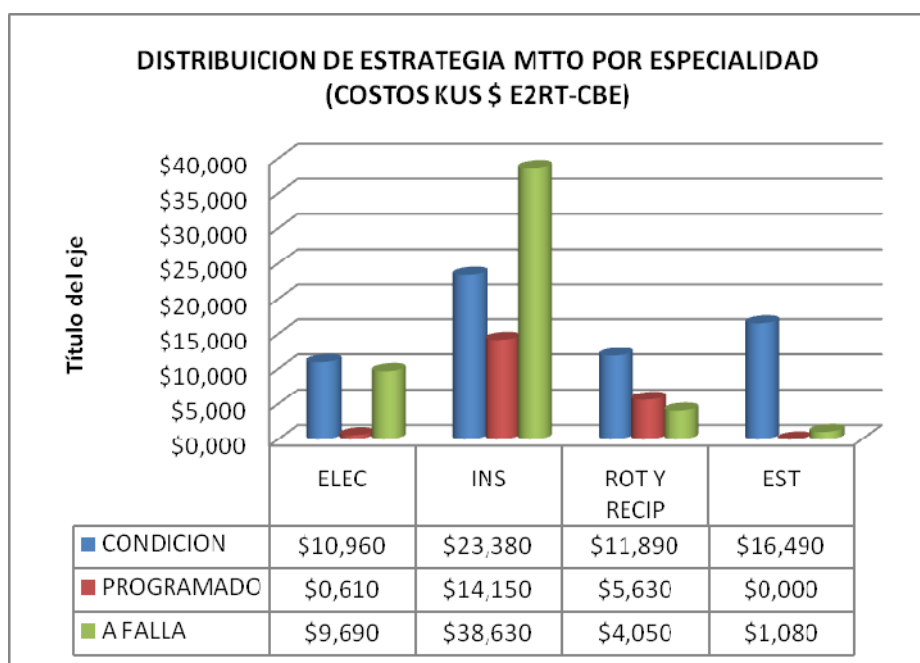
Analizando los costos estimados de las tareas a falla se detecta que el total de tareas representan el 39,14% de los costos de las tareas de mantenimiento. Analizando más en detalle, se puede observar que el 72,27% de los costos a falla pertenece a instrumentos por la mayor cantidad de equipos analizados y el comportamiento arriba mencionado. En equipo rotativo y eléctrico, los costos a falla son 7,58% y 18,14% respectivamente, del total de tareas a falla.

En términos generales, para estos sistemas, la principal estrategia es por condición, en cuanto a número de tareas y costos asociados. El 57,24% de las tareas de mantenimiento es por condición, con un costo del 45,93% del total de mantenimiento. Este porcentaje refleja que para estos sistemas, la principal

estrategia es por condición, minimizando los costos de mantenimiento sólo cuando su condición lo requiera.

En cuanto al mantenimiento programado, el 21,90% de las tareas consumen el 14,93% de los costos de mantenimiento. El menor costo en porcentaje refleja que los mantenimientos mayores son por condición.

Figura 10.26 Distribución de la estrategia de mantenimiento (costos)



Fuente: Autores del Proyecto según resultados software RRM

Para analizar el comportamiento de los costos de las estrategias de mantenimiento podemos observar la figura 10.21. Se hace claridad que los costos reflejados en este estudio no obedecen a una planeación exacta y son sólo para evaluación costo beneficio.

Los mayores costos corresponden al equipo instrumentos, US\$ 76,15K del total de costos de mantenimiento, seguido por eléctrico y rotativo con un costo similar de US\$ 21,27K y US\$ 21,57K respectivamente.

Analizando por estrategia, el mayor valor se refleja en el mantenimiento proactivo, con mayor porcentaje en el mantenimiento por condición con el 45.93% (\$62,72KUS) del total de los costos estimados en las tareas de mantenimiento.

Por especialidad el mayor impacto es instrumentos, con un 72,27% de los costos a falla de la planta (39,14%), por la mayor cantidad de equipos analizados y el comportamiento arriba mencionado.

Para el equipo rotativo y eléctrico, el mayor impacto se refleja en el mantenimiento basado en condición.

Para el equipo estático, representa un impacto económico del 26,29% del costo del mantenimiento basado por condición.

Fuente: Autores del Proyecto según resultados software RRM

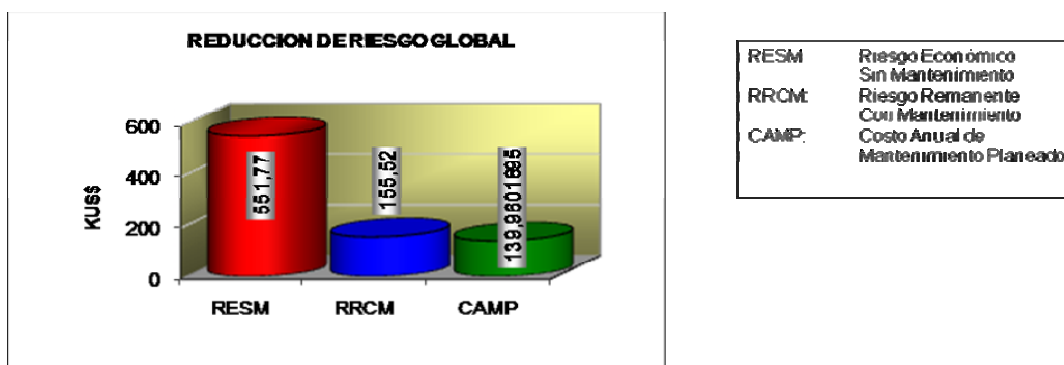
ANALISIS COSTO BENEFICIO GLOBAL



Fuente: Autor del proyecto

Figura 10.27 Análisis Costo Beneficio

ESTACION DOS DE RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE



$$MEI = \frac{\text{Riesgo Sin Mtto} - \text{Riesgo Con Mtto}}{\text{Costo Mtto Anualizado}}$$

$$MEI = 2,83$$

Fuente: Fuente: Autores del Proyecto según resultados software RRM

Figura 10.28 Reducción Global

Habiendo hecho el análisis de riesgos de pérdida al no tener mantenimiento, teniendo mantenimiento y comparando esto con el costo de llevar a cabo las actividades de mantenimiento para la Estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe nos arroja el un resultado MEI favorable para la implementación de la estrategia de mantenimiento. Esto porque una estrategia de mantenimiento es factible si el valor MEI >1.

La lista detallada de las tareas de Mantenimiento Planeado, definidas para las bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la estación 2 de recolección y tratamiento de crudo Casabe, se presenta en el Anexo E. Así como sus respectivos procedimientos se muestran en el Anexo EA.

Cada una de las tareas definidas contiene la siguiente información:

Tag (Nombre del equipo).
Tipo de Equipo.
Modo de Falla.
Clasificación según matriz de evaluación de riesgos (RAM).
Tipo de Tarea
Descripción de la Tarea
Frecuencia de Ejecución
Costo anual de la tarea

10.2.12 Recomendaciones

Se hace necesario tener un punto focal a nivel de la Superintendencia para hacer seguimiento al plan de implementación, el cual debiera estar en el portal de seguimiento de objetivos de la VPR-SAR. Esto le permitirá hacer un seguimiento detallado a la implementación de las estrategias y premisas definidas por la metodología de RCM.

En el anexo No G, se presenta la lista de acciones que se deben ejecutar para la Estación 2 de recolección y tratamiento de crudo de Casabe y la Planta de Deshidratación de Cantagallo. El listado contiene el nombre de las dependencias responsables de liderar su ejecución. Es de vital importancia la gestión de estas acciones de acuerdo al plan de implementación del RCM, y que se retroalimente el programa del RRM para cerrarlas una vez se ejecuten y asegurar la información y validación en algunos casos de la criticidad e impacto de las fallas y tareas para prevenirlas. Como punto importante y para asegurar la confiabilidad operacional, se recomienda la estructuración de un plan de capacitación al personal de operaciones en el proceso de arrancada de los tratadores térmicos y calentadores.

Es imprescindible recordar que para que esta estrategia de mantenimiento funcione adecuadamente es necesario cumplir con las premisas fundamentales, como la política de repuestos, el stand by disponible y la implementación de las tareas de acción.

Asegurar que todas las tareas definidas por esta metodología y que deban ser ejecutadas por el personal de Producción, sean incluidas e implementadas como rondas estructuradas.

La Estructura de control de gestión, debe hacer seguimiento a la implementación de las estrategias de mantenimiento definidas por el RCM y a las tareas de acción definidas en él.

Para la planta, la estrategia principal es por condición, por lo cual se debe asegurar las rutas de monitoreo de la condición y sus análisis efectivos de acuerdo a los modos de falla, y la ejecución oportuna para restaurar la condición de falla encontrada en los análisis.

Es importante realizar una planeación detallada, y una programación adecuada, con el objetivo de minimizar el tiempo de parada de todo el sistema, y realizar la gestión necesaria a un nivel superior para controlar y cumplir con el tiempo de mantenimiento, estableciendo indicadores de resultado.

CONCLUSIONES

1. Se capturó y preparó en su totalidad la información de los activos físicos que fueron sometidos al proceso RCM mediante el formato de clasificación y creación de equipos para ECOPETROL S.A, realizando la captura de información en campo de los equipos seleccionados, incluyendo las características técnicas y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional, como parte del primer criterio de evaluación dentro del proceso RCM. Ver anexo B para la planta de inyección de agua Casabe y Planta de reinyección de agua residual. Ver anexo B para la estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe
2. Mediante las reuniones RCM con el grupo de especialistas en los activos físicos se identificaron y definieron ventanas operacionales, funciones de los activos, fallas funcionales, modos de falla, análisis de efectos y criticidad, tareas de mantenimiento y frecuencias de las tareas para mitigar los modos de falla, además de los costos de mantenimiento y pérdidas de producción, de los cuales se obtuvo el análisis costo beneficio global de mantenimiento arrojando una respuesta positiva, que le da la aceptación a la estrategia de mantenimiento diseñada. Ver páginas 111-126 para la Planta de inyección de agua Casabe y Planta de reinyección de agua residual Cantagallo. Ver páginas 88-110 para la Estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe.
3. Se constituyeron en su totalidad las tareas a seguir para mitigar los modos de falla de los activos físicos que se determinaron en las reuniones RCM, donde se establecieron, los activos a los cuales se les realiza la tarea, tipo de tarea (MST'S, Standard Jobs,), ejecutor de la tarea, frecuencia con la cual se debe hacer la tarea, para optimizar la distribución de los recursos destinados a mantener los activos físicos de las plantas. Ver anexo EA, EC para las plantas de inyección de agua Casabe y planta de reinyección de agua residual Cantagallo respectivamente. Ver anexo E para estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe.
4. Se establecieron los procedimientos de las tareas de mantenimiento según la norma ISO 9001 versión 2000, para garantizar la calidad en el servicio de mantenimiento y la disminución de la probabilidad de cometer errores al ejecutar la tarea. Ver anexo EB y ED para la planta de inyección de agua Casabe y planta de reinyección de agua residual Cantagallo. Ver anexo EA para estación dos de recolección y tratamiento de crudo Casabe.

ANEXOS

PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE (PIA-CBE), PLANTA DE REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO (PRAR-CGO)

Anexo A Instructivo estandarizado por ECOPETROL para desarrollar RCM
Anexo B Equipos Planta Inyección y Reinyección Agua Casabe.
Anexo C. Diagramas de proceso de las plantas de inyección de Casabe (PIA-CBE) y re-inyección de Cantagallo (PRAR-CGO)
Anexo D. Matriz RAM
Anexo EA. Listado de tareas (PIA- CBE)
Anexo EB. Procedimientos para tareas (PIA-CBE)
Anexo EC. Lista de tareas (PRAR-CGO)
Anexo ED. Procedimientos para tareas (PRAR-CGO)
Anexo F. Criticidad de Equipos (PIA-CBE) & (PRAR-CGO)
Anexo G. Lista de acciones (PIA-CBE)& (PRAR-CGO).
Anexo H. RCM Glosario
Anexo I Screen Shoots software RRM
Anexo J Instructivo Uso Anexo Tareas

ESTACIÓN 2 DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE (E2RT-CBE)

Anexo A Instructivo estandarizado por ECOPETROL para desarrollar RCM
Anexo B Equipos Estación 2 Casabe.
Anexo C. Diagrama de proceso de la planta de recolección y tratamiento de crudo Casabe (E2RT-CBE).
Anexo D. Matriz RAM
Anexo EA. Listado de Tareas (E2RT-CBE)
Anexo EB Procedimientos para tareas (E2RT-CBE).
Anexo F. Criticidad de equipos (E2RT-CBE)
Anexo G. Lista de Acciones (E2RT-CBE)
Anexo H. RCM Glosario
Anexo I Screen Shoots software RRM
Anexo J Instructivo Uso Anexo Tareas

BIBLIOGRAFIA

- 1) MOUBRAY, Jhonn. Mantenimiento. Centrado en Confiabilidad RCM. Lllington. USA: Edwards Brothers, 2004.
- 2) Instructivo para Realización de Talleres de Análisis de RCM en ECOPETROL S.A: Órgano de difusión de ECOPETROL S.A. Versión 00 (julio 6.2006).
- 3) Sistema de Información de Mantenimiento – Siglas Matriz RAM: Órgano de difusión de ECOPETROL S.A, 2007.
- 4) Formato Básico de Creación de Equipos GRMM – SAR para ECOPETROL S.A: Órgano de difusión de ECOPETROL S.A. 2007.
- 5) ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN. ISO 9001:2000 - Sistemas de Gestión de la Calidad. Edición 2000. Ginebra Suiza.2000.

ANEXO A

1 OBJETO

Asegurar la aplicación de una metodología estandarizada de ECOPETROL S.A., para la realización de los estudios de análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM.

2 ALCANCE

Este instructivo cubre desde el proceso de preparación de información de los activos de la planta a realizar análisis de RCM hasta la entrega de informe de resultados con las tareas de mantenimiento óptimas definidas.

3 GLOSARIO

Ver Anexo 1, Glosario

4 DOCUMENTOS DEROGADOS

ECP-GCB, Manual de Metodología Talleres RCM de la GCB, Nov 19 de 2004.

5 CONDICIONES GENERALES

5.1 METODOLOGIA DEL PROCESO RCM

Para el desarrollo del estudio de análisis de RCM, se debe realizar de acuerdo a: Manual para aplicación de metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Para el seguimiento a la implementación del proceso RCM, se debe tener en cuenta:

Instructivo de seguimiento del proceso de RCM en ECOPETROL S.A.

5.2 PREMISAS DEL 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 antes de implementar esta metodología.

- Los equipos auxiliares o stand-by deben estar disponibles y probados.
- Los repuestos esenciales para el mantenimiento deben estar disponibles en bodega.
- Según la metodología de RCM, durante el estudio de análisis no se analizan fallas

múltiples.

- Las fallas en la ejecución de procedimientos de mantenimiento y montaje, inadecuada especificación o selección de equipos no son tenidas en cuenta en el análisis de RCM. Si se presenta en la planta que se está analizando, puede generar una acción de remediación o rediseño (Lista de Acciones).
- 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 (RBI).
- El escenario crítico para cada modo de falla es con base en “cero” mantenimiento.
- Se busca aumentar confiabilidad, la optimización de costos de mantenimiento y optimización de activos.

5.3 EQUIPO DE TRABAJO

5.3.1 Conformación del Equipo de Trabajo

La conformación de un buen equipo de trabajo es el éxito para el desarrollo de un estudio

de RCM. El nombramiento de los integrantes del equipo debe ser realizado por la Gerencia de Producción o Superintendencia de la respectiva Vicepresidencia donde se

realice el estudio, mediante memorando oficial

Los integrantes básicos para el desarrollo del estudio son:

- Facilitador
- Supervisor de Operaciones o Producción
- Especialistas de Planeación de cada disciplina
- Especialistas de Mantenimiento de cada disciplina
- Especialistas de Confiabilidad de cada disciplina
- Otros especialistas (HSE, ADIN, Proceso), a demanda.

A continuación se detallan los perfiles y responsabilidades de cada uno de estos integrantes.

5.3.2 Facilitador

Profesional con experiencia en el mantenimiento de plantas de proceso del petróleo y

conocimientos en:

- Metodologías de Gestión del Riesgo y Confiabilidad, RRM
- Modos de Falla y TMEF.
- Mejores Prácticas
- Habilidades con el Software de RRM

- Habilidades con las Personas

Responsabilidades:

- Administración del Software: Cargar información básica antes de inicio del estudio.

Control de acceso de datos completos, reales, lógicos y estandarizados. Copiar análisis similares a equipos comunes para agilizar el trabajo. Realizar depuración de datos, backup permanente y una copia adicional al finalizar cada sesión diaria.

- Orientar el análisis de acuerdo con la pérdida real de la función de proceso, dentro del marco de la metodología RCM.
- Mantener el ritmo del estudio de análisis, evitar discusiones no productivas.
- Orientar la discusión de Modos de Falla basados en los documentos propios de ECOPETROL y/o estándares de mejores prácticas.
- Identificar la Lista de Acciones (Action List) enfocadas hacia al rediseño necesario o maduración de proyectos y registrarlas adecuadamente en el software.
- Tener presente las metodologías de RBI e IPF para diferenciar los Modos de falla que serán cubiertos por RCM.
- Propiciar un análisis de sensibilidad para optimizar las tareas de mantenimiento preventivo una vez finalizado cada análisis.
- Llevar una lista de clasificación activa del estado de los análisis de los equipos para control de avance y seguimiento.
- Llevar un registro y control de las preguntas surgidas durante una sesión y direccionar su respuesta con la persona o grupo indicado.
- Acompañar a los especialistas en el levantamiento de la información.
- Realizar el Informe final y Presentación de resultados del estudio.

5.3.3 Especialista Operaciones o Producción.

Supervisor u operador con amplia experiencia en la operación de la planta. Con ascendencia sobre el equipo de trabajo de la planta y habilidad de trabajo en equipo.

Responsabilidades:

- Revisar y depurar el Inventario de Equipos de la planta para análisis.
- Recopilar los P&ID actualizados de la Planta
- Participar en la definición de las funciones operacionales de la planta y las ecuaciones de pérdida de producción
- Presentar al equipo de trabajo la función o funciones básicas de la planta
- Participar de forma activa en la realización de los análisis, siguiendo la metodología expuesta por el facilitador.
- Estar atento a identificar oportunidades para incluirlas en la Lista de Acciones.
- Suministrar consumos y costos de insumos tales como químicos, catalizadores y de servicios auxiliares como el vapor.
- Listas de rutinas de cuidado básico del equipo (BEC) operativas actuales, con sus frecuencias.

- Suministrar los manuales de operación de la planta.

5.3.4 Especialista de Planeación

Persona de la especialidad respectiva (Rotativo, Eléctrico, Instrumentos, Estático), con experiencia en planeación y programación, y habilidades de trabajo en equipo.

Responsabilidades:

- Recopilación de la información sobre costos y tiempo de mantenimiento.
- Participar de forma activa en la realización de los análisis, siguiendo la metodología expuesta por el facilitador, con énfasis en la planeación de las tareas de mantenimiento.
- Traer al taller de análisis de RCM la información básica (Horas Hombre, Costos, Materiales y Otros) sobre los programas de Mantenimiento proactivos existentes, así como de las inspecciones de rutina y monitoreos.
- Llenar información
- Estar atento a identificar oportunidades para incluirlas en la Lista de Acciones.
- Consultar en Ellipse cuando se requiera, toda la información necesaria durante los análisis Falla Funcional de cada equipo.

5.3.5 Especialista de Mantenimiento en ejecución.

Persona de la especialidad respectiva (Rotativo, Eléctrico, Instrumentos, Estático), con experiencia en la ejecución del mantenimiento de los equipos de la Planta y habilidad de trabajo en equipo.

Responsabilidades:

- Participar de forma activa en la realización de los análisis, siguiendo la metodología expuesta por el facilitador, con énfasis en las actividades propias de la ejecución del mantenimiento de su especialidad.
- Estar atento a identificar oportunidades para incluirlas en Lista de Acciones.
- Conocer y transmitir las experiencias de los modos de falla y mantenimientos de los equipos de la planta.

5.3.6 Especialistas de Confiabilidad.

Persona de la especialidad respectiva (Rotativo, Eléctrico, Instrumentos, Estático), con experiencia en inspección, monitoreo, diagnóstico de fallas y gestión de indicadores de confiabilidad, con habilidad de trabajo en equipo.

Responsabilidades:

- Recopilación de la información necesaria por especialidad.
- Conocer a fondo modos de falla, tiempos medios de falla y tareas de mantenimiento para los diversos equipos de su especialidad.

- Tener conocimiento y la capacidad de explicar los mecanismos de falla que ocurren en los equipos de su especialidad.
- Participar de forma activa en la realización de los análisis, siguiendo la metodología expuesta por el facilitador.
- Estar atento a identificar oportunidades para incluirla en la Lista de Acciones.
- Asegurar el registro adecuado de los equipos en Ellipse.

6 DESARROLLO

6.1 PREPARACION DEL ESTUDIO DE RCM

6.1.1 Entrenamiento

Responsable: Facilitador

El facilitador debe realizar una inducción en la metodología a utilizar y el alcance del

estudio de RCM a cada uno de los participantes, para facilitar y garantizar la calidad de

los resultados del estudio.

El entrenamiento deberá ser orientado en lo posible por dos facilitadores del equipo de

implementación, quienes deben poseer conocimientos y experiencia en la teoría RCM, su

software de aplicación y habilidades en la orientación del equipo de trabajo. El entrenamiento se enfocará en los siguientes temas:

- Información general sobre Confiabilidad Operacional, detallando el camino que conduce al proceso RCM.
- Generalidades sobre mantenimiento indicando su evolución histórica, las opciones de mantenimiento y el concepto de mantenimiento óptimo.
- Presentación sobre conceptos de confiabilidad como las fallas relacionadas con la edad, las fallas aleatorias, periodo de desarrollo de las fallas
- Presentación sobre RCM. Qué es?, Objetivo, Funciones y Fallas Funcionales, Modos de Falla, Efectos de las fallas, Consecuencias de las fallas, Tareas para prevenir las fallas de acuerdo a las características de las mismas, tareas a falta de, acciones de mitigación, efectividad del mantenimiento.

• Las presentaciones estándar son:

- o ECP RCM MANTENIMIENTO GENERAL.PPT
- o ECP RCM CONFIABILIDAD GENERAL.PPT
- o ECP RCM METODOLOGIA GENERAL.PPT

Durante la sesión de entrenamiento, se define la planta con sus límites a la cual se le hará los análisis de RCM, identificando sus funciones y poder posteriormente calcular las ecuaciones de pérdida de cada una de ellas. Adicionalmente, se presenta y ajusta el programa de trabajo para el estudio de RCM. Para la elaboración del programa de trabajo durante las sesiones de análisis.

6.1.2 Información Requerida para el Inicio del estudio de RCM

6.1.2.1 Ecuaciones de Pérdida de Producción

Responsable:

Jefe de Departamento de planeación de la producción o el negocio (VRP).

Jefe de Departamento de Programación y Control (VIT)

Jefe de Departamento de Producción (VPR)

Las Ecuaciones de Perdida de las diferentes funciones de la Planta deben quedar claramente definidas para el inicio del estudio de RCM, de tal forma que no sean modificadas en el transcurso del mismo, ya que cualquier cambio implicará la necesidad

de revisar todos los análisis realizados hasta la fecha, por lo tanto esta ecuaciones deben

ser validadas, aceptadas y entregadas al equipo de trabajo RCM por el Jefe de Departamento de la respectiva Planta.

Debe ser definida por una persona que conozca ampliamente el proceso de la planta y su

interacción con los demás procesos productivos. Debe estar actualizado en pronósticos

de producción y costos.

- La definición de las ecuaciones de perdida de producción se realiza verificando las

perdidas económicas que se generan por la falla funcional de cada sección de la unidad. Las pérdidas económicas deben incluir, parada total de la planta o sistema, disminución de la carga o producción o la degradación de productos si se realiza.

- Revisar para valores de cero perdida ya que las fallas no serán consideradas críticas.

- Definirlas en la condición más probable teniendo en cuenta estadísticas.

- Debe tener en cuenta los productos intermedios.

- Debe ser revisada y aprobada por el Jefe de Departamento y coordinador de la unidad respectiva.

6.1.2.2 Inventario de Equipos

Responsable: Especialista de confiabilidad.

El funcionario de confiabilidad debe recolectar el inventario de equipos de la planta de la

especialidad respectiva. Los datos obligatorios del inventario son:

Tag Number : Número de registro del equipo

Asset Description : Descripción funcional del equipo

Equipment Type : Tipo de equipo de acuerdo a nomenclatura estándar del software

RRM

Prep RCM : Esta columna debe llevar el valor -1, para que el software lo incluya en el análisis.

La lista final de equipos y sus datos básicos respectivos deben ser recopilados en el

formato estándar establecido para este fin, ya que se exporta directamente al software, en

caso de que algún dato esté vacío el software RRM no importa ese equipo. Estas tablas

son parte del documento de Recopilación de Información.

El listado inicial de equipos puede generarse a partir de Ellipse por medio de un reporte a

través de MimsVu y exportarse a un archivo de Excel.

En la asignación de TAGs, tener presente en hacerlo al ítem físico requerido para cumplir

una función específica, asociado a una especialidad (Rotativo, Eléctrico, Estático, Instrumentos). Varios TAGs pueden cumplir una función (Ej: Motor, Celda, Bomba).

6.1.2.3 Malos Actores

Responsable: Especialista de confiabilidad.

Es necesario tener una única lista de malos actores por especialidad de acuerdo con la

metodología de definición de malos actores del proceso de eliminación de defectos, con el

fin de garantizar que todos estos equipos fueron analizados detalladamente por la metodología RCM.

Este listado debe ser validado, aceptado y entregadas al equipo de trabajo RCM por el

funcionario de confiabilidad de la especialidad respectiva, antes del inicio de cada estudio

de RCM.

6.1.2.4 Costos de Mantenimiento

Responsable: Especialista de planeación.

Para garantizar una buena productividad y calidad de los análisis de RCM, se debe contar con los costos de las tareas de mantenimiento y reparación que se ejecutan para los equipos de las plantas (H-H y materiales), al igual que los costos desglosados de la última parada de planta. La anterior información puede ser tomada del sistema Ellipse, consultando trabajos estándar (Standard Jobs) y ordenes de trabajo para los tipos de equipo respectivos (Equipment Type) y los Modos de Falla Típicos.

6.1.2.5 Clasificación de equipos

Responsable: Especialista de confiabilidad

Se requiere clasificar de acuerdo a ciertos parámetros los equipos de cada especialidad para poder mejorar la productividad de los análisis de falla funcional.

6.1.3 Preparación del Software

Responsable: Facilitador

El facilitador asignado al estudio de RCM es responsable, antes del inicio del estudio, de

la alimentación de los datos al software que consiste en llenar los datos correspondientes

a la planta (Unit Selection) y de inventario (Assets Inventory). Esta última se realiza

mediante importación de datos de la tabla de Excel para cada especialidad de equipo, de acuerdo al programa de trabajo. Ver más detalles en el manual del software "User Manual 1,5.PDF".

Se debe definir el tiempo entre paradas de la planta para modificar los valores de frecuencia de tareas de mantenimiento del software, en la opción "Estándar Data".

El grupo de trabajo debe acompañar al facilitador durante esta etapa del estudio de RCM.

Adicionalmente se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Uso de Plantilla en Español:

El software utiliza una plantilla "templet.mdb" la cual contiene los modos de falla, las tareas

de mantenimiento y otras tablas en español, radicada en el directorio de los archivos del

sistema, la original de software viene en inglés, para usar la de español copie la plantilla

templete(e).mdb, en este directorio, luego borre la original y renombre la plantilla copiada

por templete.mdb.

- Actualización de Tablas de Modos de Falla y Tareas de Mantenimiento:

Cada archivo de trabajo (*.rrm) actualiza las tablas de modos de falla y tareas de mantenimiento, para actualizar la plantilla que se copio en el directorio de archivos del

sistema para que en la próxima planta no tengan que ser vuelto a crear, se actualizan las

siguientes tablas en la plantilla que se encuentran en el archivo de trabajo usando Access:

- Table RCM failure modes
- Table RCM Jobs
- Table RCM Jobs by equipment type
- Table common equipment types
- Actualización de Tablas:

La actualización de las tablas, después de un cambio realizado con la opción "Standard

Data", se puede lograr presionando la tecla F9.

6.1.4 Programación del estudio de RCM

Responsable: Facilitador

El estudio se inicia desde el momento del nombramiento del equipo de trabajo y la asistencia de los participantes se realiza de acuerdo con un programa establecido por

especialidades.

La duración del estudio puede variar de acuerdo a la cantidad de equipos en cada planta.

Se han estimado las siguientes actividades y tiempos promedios para cada una de las

etapas del estudio.

Preliminares: 1 día

- Conformar el equipo de trabajo
- Reunión de arranque
- Inducción de metodología a participantes

Recopilación de información: 15 - 20 días

- Definir ecuación(es) de pérdidas
- Recoger información de inventario de equipos
- Consecución de P&ID, PFD, Unifilares.
- Consecución de costos de reparación (HH, Materiales, etc.)
- Preparación de software.

Realización del estudio de RCM: 15 – 25 días.

- Apertura del estudio de RCM (presentación resumida de metodología).
- Presentación del proceso de la unidad
- Definición de Funciones y Fallas Funcionales

- Identificar equipos por función
- Realizar Análisis de Falla Funcional
- Selección de las tareas de mantenimiento

Entrega de resultados: 10 días

- Preparación de informe de resultados
- Preparación de presentación
- Realización de presentaciones
- Retroalimentación de presentaciones
- Instalar plan de implantación en portal de Seguimiento de Objetivos.

6.1.5 Infraestructura y Logística Requerida

Responsable: Facilitador / Líder RCM del sitio

Para asegurar el efectivo desarrollo del estudio se debe contar con los siguientes recursos:

- Un salón de reuniones de acuerdo con el número de participantes. El lugar escogido debe tener facilidad para recepción de la red de ECOPETROL S.A., con el fin de poder consultar el MIMS-Ellipse durante el estudio.
- Dos pápelo-grafos (para registrar los modos de falla y las tareas de mantenimiento preventivo existentes, en forma separada y simultánea).
- Dos computadores (uno con el software de S-RRM y otro con acceso al MIMSEllipse).
- Un proyector de video de buena resolución de tiempo completo y una pantalla de presentación.
- Extensiones eléctricas para los PC y proyector de video.
- Refrigerio para los participantes o café, si es posible y permitido.
- Un radio de comunicaciones (para comunicación con la planta y los ingenieros de

6.2 DESARROLLO DEL ESTUDIO DE RCM

A continuación se detallan las recomendaciones en cada uno de los pasos que se deben

seguir durante el desarrollo del estudio de RCM. El facilitador debe procurar la estandarización de los datos que están cargados en el software a fin de evitar la repetición de datos con diferentes nombres o presentaciones. Es importante realizar una

reunión de apertura con todos los participantes, donde se refresquen conocimientos de la

metodología, el proceso de la planta, los principales problemas y la demás información

que el equipo de trabajo estime conveniente.

6.2.1 Funciones y fallas funcionales.

Responsable: Equipo de análisis

Se realiza una explicación concisa sobre el proceso, en lo posible bajo un esquema de diagramas de bloque para identificar las funciones que se deben cumplir y las fallas funcionales de estos sistemas, asignando la ecuación de pérdida correspondiente.

6.2.2 Modos de Falla

Responsable: Equipo de análisis.

Una vez cargados los datos estándar, los equipos, haber descrito las funciones y las fallas funcionales, y asignado los equipos a cada función, se realiza el Análisis de Falla Funcional; para esto se realiza una lluvia de ideas del equipo de trabajo, con el fin de determinar los modos de falla y las tareas de mantenimiento proactivo. El primer listado se genera con todos los modos de falla posibles de ocurrir y luego se definen cuales son

Dominantes. Los modos de falla no dominantes no son analizados.

Se determina si el modo de la falla es Relacionado con la edad o se presenta al azar

(Aleatorio).

Se deben consultar y analizar los listados estándar de Modos de Falla por tipo de equipo, generados por estudios anteriores en los diferentes negocios de ECOPETROL S.A.

6.2.3 Identificación de Tareas de Mantenimiento actuales

Responsable: Equipo de análisis.

Se enuncian las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente para cada tipo de equipo. El facilitador debe propiciar la participación activa de los especialistas en la

definición de las tareas de mantenimiento preventivo que se ejecutan o se “deben” ejecutar para mitigar los modos de falla.

Se debe confirmar que para cada modo de falla dominante, exista al menos una tarea de mantenimiento, y que cada tarea este relacionada al menos a un modo de falla (razón de la tarea).

6.2.4 Definición del escenario de Falla

Responsable: Equipo de análisis.

Para cada modo de falla, el facilitador promueve la definición de un escenario de falla, el cual se enuncia bajo el supuesto de qué le pasaría al equipo con cero mantenimiento. El escenario en lo posible no debe incluir datos específicos de un equipo ya que esta

descripción se puede copiar en equipos similares. Para definir el escenario se utilizan

preguntas claves como:

- Cómo se manifiesta la falla?
- Que le pasa al equipo cuando ocurre el modo de falla?
- Tiene stand by?, es de igual capacidad?
- Que componentes o equipos afecta?
- Qué efectos sobre HSE se tiene? Hay posibilidad de incendio?; posibilidad de derrames?; Hay emisiones que pueden transgredir normas ambientales?.
- Que efectos funcionales tiene: se para el equipo?, arranca stand by?; se para la planta?; se reduce la capacidad de la planta?; se afectan productos?, se afecta el negocio?
- El operador detecta la falla?, Si o No, Como?
- La falla se detecta bajo demanda?
- Si detecta la falla, puede manejar la contingencia?

Con base en el escenario, se define si el modo de falla es Revelado, Oculto o Mandatario.

Además, se definen cuales son los efectos para cada modo de falla, seleccionando los

que existen en el software. El facilitador debe estandarizar los códigos de los Efectos de la Falla.

6.2.5 Análisis de Criticidad

Responsable: Equipo de análisis.

- La probabilidad de falla (ETBF - Tiempo estimado entre falla) se define con base en cero mantenimiento (Nadie atiende el equipo).
- Se deben analizar los tres tipos de consecuencias: Económicas, Salud/Seguridad y Ambientales.
- En las consecuencias económicas se deben en cuenta los costos generados por: lucros cesante (tiempo total de parada), penalizaciones, degradación de productos, re-procesos, labor, materiales y otros.
- Si hay consecuencias sobre salud, seguridad o ambiente, es importante tener información sobre de toxicidad, composición del producto y ayudarse del detalle que ofrece la herramienta informática.

6.2.6 Estrategia de Mantenimiento

Responsable: Equipo de análisis.

Cuando se trasladen las tareas de mantenimiento al software se deben realizar en el siguiente orden:

Tareas que realiza el operador

Tareas de monitoreo de condición

Tareas según condición y finalmente las más costosas como las tareas programadas para

T/As, overhaules.

Cuando existe una tarea de Mantenimiento por condición siempre debe tener su respectiva tarea de inspección o monitoreo.

Se define el estatus de la tarea, si existe, es modificada, nueva o debe ser eliminada (en el caso que exista actualmente y no se valide).

Se determina la frecuencia a la cual se debe realizar la tarea.

Se asigna la disciplina responsable de generar la tarea de mantenimiento preventivo, de acuerdo con la lista del software

Se define el POC (Price of Conformance) de cada tarea con base en los costos de material y mano de obra. Sólo se costean las tareas de mantenimiento proactivo.

Las tareas correctivas no se costean, a no ser que se decida realizar mantenimiento a falla.

Se define el ETBC (Tiempo estimado entre consecuencias) el cual es la posibilidad de ocurrencia del modo de falla analizado si se realizan las tareas de mantenimiento que se definieron anteriormente, basado en la vida de diseño de la planta, o sistema, por ejemplo, para una refinería es de 25 años.

Se analiza el indicador de efectividad (MEI) con el fin de determinar si la tarea es costo efectiva. Si el $MEI < 1$, la tarea no es costo efectiva, se analizan tres posibilidades:

o Revisar todas las tareas para optimizarlas

o Validar las tareas y aprobar manualmente en pro de la Confiabilidad

o Eliminar todas las tareas y reparar a falla, requiriendo aprobación manual

Se analiza el indicador de efectividad (MEI) con el fin de determinar si la tarea es costo efectiva.

6.2.7 Definición de Lista de Acciones (Action List)

Responsable: Equipo de análisis.

El objetivo básico de una Lista de Acciones es reducir el Riesgo Económico remanente, mediante una acción específica.

En el informe final de RCM debe indicarse el Potencial Total de Ahorro, producto de la implementación de la Lista de Acciones (Action List).

En la Lista de acciones, “!” se deben incluir los estudios o cambios recomendados indicando: la unidad productiva, el equipo, indicar que pertenece a RCM, los potenciales económicos, la descripción de la recomendación, criticidad, quien es el responsable y cuando se realizaría. Al final del estudio, todas las actividades se priorizan de acuerdo con el potencial.

6.3 ESTRUCTURA DEL INFORME FINAL

Responsable: Facilitador

El informe final de un estudio de RCM en ECOPETROL S.A., debe contener:

1. PRELIMINARES

- Objetivos
- Alcance
- Participantes

2. DESARROLLO

- Programación
- Descripción del Proceso
- Costos de Personal
- Ecuaciones de Pérdida de Producción

3. RESULTADOS

- Premisas
- Equipos Analizados
- Distribución de los Equipos por Criticidad
- Estrategia de Mantenimiento
- Riesgo Estimado de la Planta
- Recomendaciones Generales
- Lista de Equipos Analizados por Especialidad.
- Lista de las tareas y estrategias de Mantenimiento Planeado.
- Lista de Acciones.
- Programación Detallado del Estudio.

7 SEGUIMIENTO Y CONTROL

No Aplica

8 REGISTROS

No Aplica

9 CONTINGENCIAS

No Aplica

10 BIBLIOGRAFÍA

Shell, Risk and Reliability Management (RRM) Software Manual, Versión 1.5

Shell, Risk and Reliability Management (RRM) Manual, Sep. 1999.

A2. Abreviaciones

ACR Análisis de Causa Raíz de Falla

AIM (S) Asset Information Management (System)

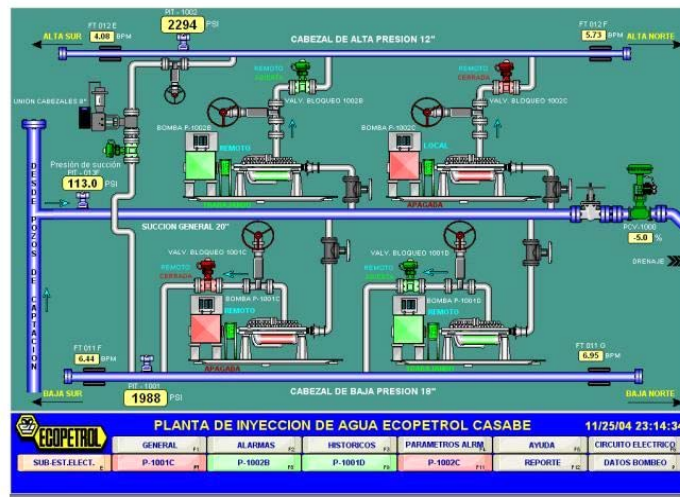
ALARP As Low As Reasonably Practicable

API American Petroleum Institute
 BEC Basic Equipment Care (Cuidado Básico del Equipo)
 BLEVE Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
 CA 1 – Criticality Analysis
 2 – Corrosion Allowance
 CBM Condition Based Maintenance
 CBT Condition Based Task [Tarea Basada en Condición]
 CMT Condition Monitoring Task [Tarea de Monitoreo de Condición]
 CL Corrosion Loop
 CM 1 – Condition Monitoring [Condición de Monitoreo]
 2 – Corrosion Rate
 DCS Distributed Control System
 ECG Estructura de Control de Gestión
 EIS Executive Information System
 ESD Emergency Shut Down
 ETBC Estimated Time Between Consequences
 ETBF Estimated Time Between Failures
 ELLIPSE Versión de MIMS. Herramienta informática para la administración del Mantenimiento.
 FFA Functional Failure Analysis [Análisis de Falla Funcional]
 FMEA Failure Modes & Effects Analysis
 FRED Fire Release Explosion Dispersion
 HAZOP HAZard & OPerability
 HSE Health Safety Environment
 IPF Instrumented Protective Function
 IPS Instrumented Protective System
 MBO Maintenance by Operators
 MEI Maintenance Effectiveness Factor [Factor de Efectividad de Mantenimiento]
 MIMS Mincom Information Management.
 MMS Maintenance Management System
 MTBF Mean Time Between Failure [Utilizar TMEF]
 NDT Non Destructive Testing
 PD Mantenimiento Predictivo [Maintenance Predictive]
 PEFS Process Engineering Floe Scheme
 PFD Probability of Failure on Demand
 PFS Process Flow Scheme
 PID Plan Integrity Database
 P&ID Piping & Instrument Diagram
 PM 1 – Planned Maintenance
 2 – Proactive Maintenance
 POC Price Of Conformance [Costo del Mantenimiento Planeado]
 PONC Price Of Non Conformance [Costo en el escenario de cero mantenimiento]
 PV Mantenimiento Preventivo

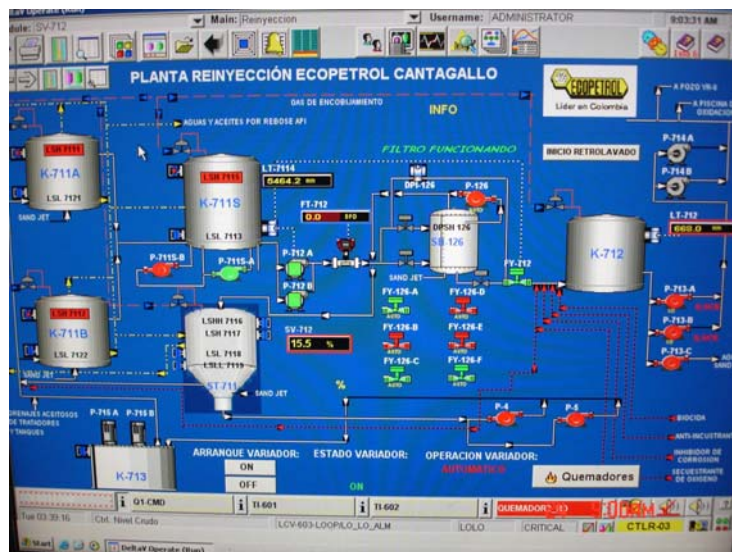
QRA Quantitative Risk Assessment
RAM Risk Assessment Matrix [Matriz de Evaluación de Riesgos]
RBI Risk Based Inspection [Inspección Basada en el Riesgo]
RCA Root Cause Analysis. (Utilizar la sigla ACR: Análisis de Causa Raíz de Falla)
RCM Reliability Centred Maintenance [Mantenimiento Centrado en Confiabilidad]
RRM Risk & Reliability Management
RTF Run To Failure [Tarea a Falla]
SIL Safety Integrity Level
RBI Risk Based Inspection
RCM Reliability Centred Maintenance
TBT Time Based Task. [Tarea Basada en Tiempo]
T/A Turn Around [Parada General de Planta para Inspección]
VCE Vapor Cloud Explosion [Nube de Vapor Explosiva]

ANEXO C

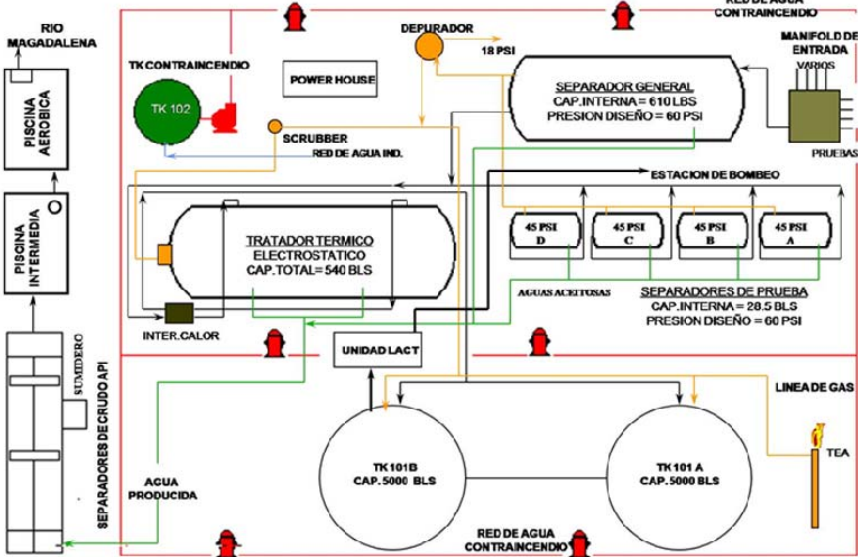
PLANTA DE INYECCION CASABE



PLANTA DE REINYECCION CANTAGALLO



ESTACION DE RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE CRUDO



ANEXO D

ANÁLISIS DE RIESGO PARA					
COLOR	RIESGO	TOMAR DECISIONES	PRIORIZAR ÓRDENES DE TRABAJO Y CONTRATACIÓN	INVESTIGAR INCIDENTES	EJECUTAR TRABAJOS
VH	Muy Alto	Intolerable. Busque alternativa y decide la Dirección	Iniciar inmediatamente trabajo. En Elipse prioridad 00	Equipo investigador nombrado por el Director, liderado por Jefe de Unidad diferente área afectada. Participa Profesional DRI de la Regional. Notificar a DRI y PAR en las siguientes 8 horas	Buscar alternativas de ejecución. Si se decide hacer el trabajo la Gerencia de Negocio o su equivalente define el equipo para el ATS y lo aprueba
H	Alto	Deben buscarse alternativas que tengan menor riesgo. Si se decide ejecutar la actividad se requiere demostrar cómo se controla el riesgo. La Dirección o los Jefes de Unidad aprueban la decisión			Buscar alternativas. Si se decide hacer el trabajo el Jefe de Departamento o su equivalente define el equipo para el ATS y lo aprueba
M	Medio	No son suficientes los sistemas de control establecidos. Se deben tomar medidas que mitiguen el riesgo.	Trabajo a planear y programar en el próximo periodo (14 días) En Elipse prioridad 02	Equipo Investigador nombrado por el Jefe de Unidad. Liderado por el Coordinador diferente al área afectada. Notificar al Director en las 24 horas siguientes	Equipo para elaborar ATS es definido por el coordinador y lo aprueba
L	Bajo	Se debe discutir y gestionar una mejora a los sistemas de control establecidos (procedimientos, EPP, roles, protocolos, etc.)	Trabajo a planear y programar de acuerdo a disponibilidad de recursos En Elipse prioridad 03	Equipo Investigador nombrado por el Coordinador se debe reportar al Jefe de Unidad	Efectuar 3 QUES: operadores, personal de mto.
N	Ninguno	Riesgo muy bajo. Usar los sistemas de control y calidad establecidos (permisos, Procedimientos, EPP, etc.)		Análisis del incidentes liderado por responsable del área o laboratorio. Reportar a Coordinador.	

Para mayor información ver "Procedimiento OPT-09-PR-009 para uso de la matriz RAM"

MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS - RAM					PROBABILIDAD PARA OTRAS APLICACIONES				
COMO EVALUAR EL RIESGO 1. Defina claramente el escenario a evaluar 2. Determine cual es la consecuencia potencial en las personas (de 0 a 5) 3. Determine para esa consecuencia en personas la probabilidad de ocurrencia en términos de frecuencia o de probabilidad de falla (de A hasta E) 4. Repita los pasos 2 y 3 para las consecuencias en Economía, Ambiente e Imagen 5. Determine cual es el riesgo mas crítico. 6. Interprete de acuerdo al cuadro en el reverso					Gestión de Riesgo e Iniciativas				
					Virtualmente Imposible 1%	Conoeble pero muy improbable 5%	Inusual pero Posible 30%	Muy Posible 60%	Se espera que Occurra 100%
					PROBABILIDAD PARA ÓRDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO				
					Actividades de Mantenimiento Programado (PV, PD)				
					Equipo fallaría después de 6 meses	Equipo fallaría entre 2 y 6 meses	Equipo fallaría entre 4 y 8 semanas	Equipo fallaría entre 2 y 4 semanas	Equipo fallaría en 2 semanas
CONSECUENCIAS POTENCIALES					PROBABILIDAD				
					No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces por año en la Empresa	Sucede varias veces por año en el Area
Personas	Económica (en dólares)	Ambiental	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
Una o más fatalidades	Catastrófica > 10 Millones	Masivo	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente parcial o total	Grave 1-10 millones	Mayor	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temp. > 1 día	Severo 100 mil - 1 millón	Localizado	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor no incapacidad	Importante 10 mil-100 mil	Menor	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve primeros auxilios	Marginal < 10 mil	Leve	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

ANEXO F

IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO					
RCM SAR-VPR: EQUIPOS DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE CASABE					
ANEXO F. CRITICIDAD DE EQUIPOS, RCM SAR-VPR					
Unidad	Crit. #	Criticidad RAM	TAG equipo RCM	Disciplina	Descripcion Equipo
CBE-PIA	3	M	CBEP1AP1001C	R	BOMBA P1001C PIA- SUMINISTRA AGUA A LOS POZOS IN
CBE-PIA	3	M	CBEP1AP1001D	R	BOMBA P1001D PIA -INYECTAR AGUA A LOS POZOS INYECT
CBE-PIA	3	M	CBEP1AP1002B	R	BOMBA P1002B PIA - SUMINISTRA AGUA A LOS POZOS IN
CBE-PIA	3	M	CBEP1AP1002C	R	BOMA P1002C PIA -INYECTAR AGUA A LOS POZOS INYECTO
CBE-PIA	3	M	CBEP1APP10	R	BOMBA CAPTACION DE AGUA POZO 10 - SUMINISTRO DE AG
CBE-PIA	3	M	CBEP1APP12	R	BOMBA CAPTACION AGUA POZO 12 - SUMIN. AGUA A PIA
CBE-PIA	2	L	CBEP1APP14	R	BOMBA ELECTROSUMERGIBLE POZO 14 - SUMINISTRO DE AG
CBE-PIA	1	N	CBEP1APL01C	R	BOMBA LUBRICADORA P1001C PIA - INYECCIÓN PROGRAMAD
CBE-PIA	1	N	CBEP1APL01D	R	BOMBA LUBRICADORA P1001D PIA - INYECCIÓN PROGR
CBE-PIA	1	N	CBEP1APL02B	R	BOMBA LUBRICADORA P1002B PIA - INYECCIÓN PROGRAMAD
CBE-PIA	1	N	CBEP1APL02C	R	BOMBA LUBRICADORA P1002C PIA - DE INYECCIÓN PROG

IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO					
RCM SAR-VPR: EQUIPOS DE LA PLANTA DE RE-INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE CANTAGALLO					
ANEXO F. CRITICIDAD DE EQUIPOS, RCM SAR-VPR					
Unidad	Crit. #	Criticidad RAM	TAG equipo RCM	Disciplina	Descripcion Equipo
CGO-PRAR	4	H	CGOPDCOM	R	COMPRESOR DE AIRE PTA. SUMINISTRA AIRE A INSTRUMEN
CGO-PRAR	3	M	CGOPRPFWI1	R	BOMBA PFWI1 INYECTAN AGUA A LOS CABEZALES PTA. RE
CGO-PRAR	3	M	CGOPRPFWI2	R	BOMBA PFWI2 INYECTAN AGUA A LOS CABEZALES PTA. RE
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP711A	R	BOMBA P711A DE RECIRCULACIÓN QUÍMICO TANQUE STAGE
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP711B	R	BOMBA P711B DE RECIRCULACIÓN AGUA TANQUE STAGE
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP712A	R	BOMBA P712A AGUAS ACEITOSAS AL FILTRO Y TANQUE DE
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP712B	R	BOMBA P712B AGUAS ACEITOSAS AL FILTRO Y TANQUE DE
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP713A	R	BOMBA P713A BOOSTER LA SUCCIÓN DE LAS BOMBAS DE I
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP713B	R	BOMBA P713B BOOSTER A LA SUCCIÓN DE LAS BOMBAS D
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP713C	R	BOMBA P713C BOOSTER A LA SUCCIÓN DE LAS BOMBAS D
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP715A	R	BOMBA P715A PEERLESS RETORNO AGUAS CLARIFICADAS
CGO-PRAR	2	L	CGOPRP715B	R	BOMBA P715B PEERLESS RETORNO AGUAS CLARIFICADAS

CGO-PRAR	2	L	CGOPRPF711	R	BOMBA PF711 PEERLESS RETROLAVADO FILTRO WENKO REIN
CGO-PRAR	2	L	CGOPRPPUL1	R	BOMBA4 NEUMATICA DE AGUA DEL DECANTADOR DE SOLIDOS
CGO-PRAR	2	L	CGOPRPPUL2	R	BOMBA5 NEUMATICA DE LODOS DEL DECANTADOR DE SOLIDO
CGO-PRAR	2	L	CGOPRRED1	R	REDUCTOR CESTARI 1 PTA. REINYECCIÓN
CGO-PRAR	2	L	CGOPRRED2	R	REDUCTOR CESTARI 2 PTA. REINYECCIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO BASADAS EN CONFIABILIDAD					
RCM SAR-VPR: EQUIPOS DE LA ESTACIÓN 2 DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO DE CASABE					
ANEXO F. CRITICIDAD DE EQUIPOS, RCM SAR-VPR					
Unidad	Crit. #	Criticidad RAM	TAG equipo RCM	Disciplina	Descripcion Equipo
CBE-E2R	4	H	CBE1049D	R	BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA 1049D
CBE-E2R	3	M	CBEE2APIP103	R	BOMBA P103 ENVÍA CRUDO AL SEPARADOR GENERAL
CBE-E2R	2	L	CBEE2APIP104	R	BOMBA P104 ENVIA H2O TRATADA AL RÍO
CBE-E2R	2	L	CBEE2IAP105	R	BOMBA P105 SIST CONTRAINCENDIO INYECTORA DE AGUA
CBE-E2R	2	L	CBEE2IAP106	R	BOMBA P106 E2 INYECTA AGUA AL SEPARADOR GENERAL
CBE-E2R	2	L	CBEE2IAP107	R	BOMBA P107 INYECTA AGUA AL TRATADOR TÉRMICO
CBE-E2R	2	L	CBEE2P101A	R	BOMBA P101A

					DESPACHA CRUDO DE E2 A EST. CONDOR
CBE-E2R	2	L	CBEE2P101B	R	BOMBA P101B DESPACHA CRUDO DE E2 A EST. CONDOR
CBE-E2R	2	L	CBEE2UCCOM1	R	COMP 1 INYECTA AIRE A LÍNEAS DE INSTRUMENTACIÓN
CBE-E2R	2	L	CBEE2UCCOM2	R	COMP 2 INYECTA AIRE A LÍNEAS DE INSTRUMENTACIÓN
CBE-E2R	1	N	CBEE2P102	R	BOMBA P102 RECIRCULACIÓN DE CRUDO

H : HIGH
M : MEDIUM
L: LOW
N : NONE
R: ROTATIVO Y RECIPROCANTE

ANEXO G

LISTA DE ACCIONES E2RT DE CRUDO CASABE ANEXO G			
Unidad	DESCRIPCION	PRIORIDAD	Fecha de acción
CBE-E2R	BOMBA DE RECIRCULACION DE CRUDO Evaluar uso operacional para determinar su utilidad, de lo contrario sacarla de servicio de la estación, para disminuir costos asociados de mantenimiento.	Normal	12-Sep-07
CBE-E2R	SEPARADOR PRINCIPAL Asegurar programa de limpieza e inspección anual para evitar pérdida por producto fuera de especificaciones.	Normal	01-Dic-07
CBE-E2R	CONTROL DE PRESIÓN SEPARADORES DE PRUEBA Cambiar lazo de control de neumático a electrónico.	Normal	31-Dic-07
CBE-E2R	CAPACITACIÓN Estructuración de un plan de capacitación para asegurar procedimiento en el proceso de arrancada de los TTE y calentadores	Normal	01-Dic-07
CBE-E2R	TUBERÍA DE AIRE Asegurar procedimiento de soplando de la tubería de aire para retirar sedimentos al finalizar las paradas de la estación o planta y así disminuir fallas en instrumentación.	Normal	12-Sep-07
CBE-E2R	RESPALDO BOMBAS P103A/B Y P104A/B Recuperar la funcionalidad de las bombas de respaldo del sumidero y de lagunas aeróbicas para minimizar impacto al ambiente.	Normal	01-Dic-07
CBE-E2R	UNIDAD LAC Instalar manguera flexible entre el manómetro y el proceso para evitar rotura de la tubería y daño en el equipo.	Normal	12-Sep-07

LISTA DE ACCIONES PIA CBE & PRAR-CGO ANEXO G				
Ítem	Unidad	DESCRIPCION	PRIORIDAD	Fecha de acción
1	CBE-PIA	SISTEMA PUESTA A TIERRAS CBE-CGO. En la primera ronda de revisión del sistema, corregir los problemas para establecer una frecuencia anual de revisión.	Normal	01-Dic-07
2	CBE-PIA	BOMBAS DE AGUA PTA INYECCION Para evitar rotura de los enfriadores de aceite por alta presión de agua, evaluar opción de regular esta presión mediante control o válvula de alivio. Evita daño en chumaceras por emulsión de aceite	Normal	01-Dic-07
3	CBE-PIA	FILTRO SUCCION BOMBAS DE AGUA Revaluar cambio en el filtro de succión. Volver al sistema de malla o tamiz. Ganancia: Evitar daño en impulsores por paso de elementos sólidos que actualmente dejan pasar la platina perforada.	Normal	01-Dic-07
4	CBE-PIA	TRANSMISORES Evaluar configuración en el sistema de monitoreo y control, para el caso de daño en el transmisor, poder by-pasear el transmisor. POTENCIAL DE PERDIDAS: Parada de planta de Inyección	Normal	01-Dic-07
5	CBE-PIA	SWITCH EN LINEAS DE DESCARAGA Asegurar que esten configurados en el sistema OPTO 22.	Normal	01-Dic-07
6	CBE-PIA	SWICHE DE SUCCIÓN DE BOMBAS Adecuar facilidad cambiando válvula bloqueo con drenaje de swiche de succión de las bombas e instruir al operador para prueba funcional del swiche.	Normal	07-Dic-07
7	CGO-PRAR	BOMBAS CENTRIFUGAS Asegurar procedimiento de lavado de las bombas cuando salen de servicio, para evitar problemas de internos de la misma.	Normal	01-Dic-07
8	CGO-PRAR	BOMBAS RECIPROCANTES Instalar manómetro para verificar presión de nitrógeno en los amortiguadores, para detectar problemas en el sistema de amortiguamiento. Se evita daños en internos de la bomba y tubería	Normal	01-Dic-07

ANEXO H GLOSARIO

Término	Definición
Activo (Asset)	Los edificios, planta, maquinaria y otros ítems permanentes requeridos por el usuario para producir y suministrar un producto
Availability	Ver Disponibilidad
Característica de falla	Propiedades generales (patrón de falla y comportamiento) de un modo de falla o número de modos de fallas
Causa de Falla	Circunstancia durante el diseño, manufactura o uso que conlleva a una falla.
Componente	Una de las partes que hacen un ítem. Un componente puede ser hardware o software, y puede ser subdividido en otros componentes
Condition Based Maintenance (CBM)	Mantenimiento Basado en Condición. Mantenimiento proactivo realizado de acuerdo a la necesidad producto de un monitoreo de condición. También se conoce como Mantenimiento Predictivo.
Condition Monitoring	Monitoreo de Condición. La medición continua o periódica y la interpretación de la información que indica la condición de un ítem y determinar la necesidad de su mantenimiento.
Confiabilidad	La probabilidad que un ítem pueda desempeñar una función requerida bajo unas condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
Consecuencia de falla	Daño o daño potencial de una falla de una planta para la seguridad, economía o ambiente.
Criticidad	Medición del riesgo anual de un ítem bajo las siguientes asunciones: i) no mantenimiento, ii) independiente de inspección, y iii) considerando la falla no revelada de la función de protección.
Defecto	Condición anormal que puede causar una reducción o pérdida de la capacidad de un ítem de realizar una función requerida.
Disponibilidad	La habilidad de un ítem para estar en un estado de desempeñar una función requerida bajo unas condiciones dadas en un instante o intervalo dado de tiempo, asumiendo que los recursos externos requeridos son suministrados.
Estimated Time Between Failures without maintenance (ETBF)	Tiempo Estimado Entre Fallas si no se realiza mantenimiento (esto es sin observaciones humanas e intervención).
Estimated Time Between Consequences with maintenance (ETBC)	Tiempo Estimado Entre Fallas con realización de tareas de mantenimiento preactivas. Refleja la efectividad del mantenimiento proactivo para prevenir la ocurrencia de una falla inesperada.
Estrategia de Mantenimiento	La política adoptada en un plan de mantenimiento para poder lograr los objetivos del negocio. Resulta en las opciones de mantenimiento para un ítem en particular.
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	Un método cualitativo de análisis de confiabilidad el cual involucra el estudio de los modos de falla que pueden existir en cada componente de un ítem y la determinación de los efectos de cada modo de falla sobre otros componentes y sobre la función requerida

Falla Funcional		La terminación de la habilidad de un ítem para realizar una función requerida, o su comportamiento no está de acuerdo con los
		requerimientos específicos.
Falla No Revelada		Cualquier falla cuya ocurrencia puede ser solo detectada por falla a una función en demanda, o por inspección, o por una prueba. También se conoce como Falla Oculta, Durmiente o Encubierta
Falla Revelada		La ocurrencia de la falla es obvia por la terminación de la habilidad de ítem afectado para realizar su función requerida. También se conoce como falla evidente
Función		Un propósito específico de una entidad o su acción característica.
Functional Analysis (FFA)	Failure	Análisis de Falla Funcional. Un método analítico para valorar cualitativa y cuantitativamente los efectos de falla de cada modo de falla identificado en un sistema de proceso.
Inspección		Actividades tales como medición, exámenes, pruebas, cálculos de una o más características de un producto o servicio y compararlos con los requerimientos específicos para determinar una conformidad.
Integridad		Integridad técnica de un sistema existe cuando bajo unas condiciones de operación específica, no hay riesgo posible que su falla afecte las personas, el ambiente o el valor del activo.
Ítem		Unidad de hardware o software, o ambos, capaz de cumplir un propósito específico (recipiente, bomba, IPF). También se conoce como ítem de equipo.
Maintenance Effectiveness Index (MEI)	Index	Índice de Eficiencia de Mantenimiento. Relación entre la reducción del riesgo económico anualizado y los costos de la reducción (costos iguales al POC anualizado de las tareas de mantenimiento proactivo).
Mantenimiento		Combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas, incluyendo acciones de supervisión, para retener o restaurar un equipo a un estado en el cual pueda realizar una función requerida.
Mantenimiento en Condición	Basado	Ver Condition Based Maintenance (CBM)
Mantenimiento	No	Mantenimiento llevado a cabo sin un plan predeterminado

Planeado	
Mantenimiento Planeado	El mantenimiento organizado y ejecutado con un plan predeterminado previamente preparado, controlado y registrado.
Mantenimiento Predictivo	Mantenimiento proactivo realizado de acuerdo a la necesidad producto de un monitoreo de condición.
Mantenimiento Proactivo	El mantenimiento planeado llevado a cabo a un intervalo predeterminado o correspondiente a criterio establecido (condición) y con la intención de reducir la probabilidad de falla o la degradación del desempeño de un ítem. También se conoce como la agrupación del mantenimiento preventivo y predictivo.
Mantenimiento Programado	Mantenimiento preventivo realizado de acuerdo con un tiempo establecido. En ciertas instancias, de acuerdo a una estadística llevada como, horas de operación, distancia recorrida, etc.
Mantenimiento Reactivo	Mantenimiento realizado después de que una falla ha ocurrido y se intenta restaurar un ítem a un estado en el cual puede desempeñar su función. También conocido como Mantenimiento Correctivo, a Rotura o basado en fallas.
Matriz de Riesgos	Representación gráfica de la matriz como una combinación de la probabilidad y consecuencia, usada como una base para la determinación cualitativa del riesgo. Las consideraciones para la evaluación de la probabilidad son mostradas en un eje. Las consideraciones para la evaluación de la consecuencia son mostradas en el otro eje. La intersección de las dos consideraciones en la matriz, da una estimación del riesgo.
Mean Time Between Failure (MTBF)	Ver Tiempo Medio Entre Falla (TMEF).
Mecanismo de Falla	Proceso físico, químico u otro, que resulta en una falla.
Mitigación	Hacer una consecuencia menos severa o aliviarla.
Modo de Falla	Una descripción cualitativa de cómo un ítem puede fallar (Ej: fuga por sello, filtro taponado, rodamiento pegado, etc.)
Modo Dominante de Falla	Modo de falla con alta posibilidad de ser responsable de una falla funcional bajo consideración
Non-intrusive inspection	Ver Inspección No Intrusiva.
Price Of Conformance (POC)	Precio de Conformidad. Cuantificación de costos (anualizados) del mantenimiento proactivo y las tareas de inspección para prevenir la ocurrencia de un modo de falla específico.
Price Of Non-Conformance (PONC)	Precio de No Conformidad. Cuantificación de los costos (anualizados) de un modo de falla específico en términos de pérdida de producción, labor y materiales.

Probabilidad de Falla	La medida de la posibilidad de ocurrencia de una falla. Dependiendo de la metodología usada, los términos más específicos
	son: Susceptibilidad a Fallar (RBI), ETBF (RCM), Rata de Demanda (IPF).
Probabilidad de Falla en Demanda	La probabilidad de que un ítem falle para responder a una demanda. Adimensional.
Prueba	Operación técnica que consiste en la determinación de una o más características de un producto, proceso o servicio dado, de acuerdo a un procedimiento específico.
Riesgo.	Combinación de la probabilidad o frecuencia de la ocurrencia de un peligro definido y la magnitud de la consecuencia de lo ocurrido.
Riesgo, Valoración	El análisis integrado del riesgo inherente en un producto, sistema o planta y su importancia en un contexto apropiado.
Riesgo, Clasificación	Un valor del riesgo relativo de un peligro. La Matriz de Riesgos (RAM) puede ser usada para determinar este valor.
Risk Matrix	Ver Matriz de Riesgos
Risk & Reliability Management (RRM)	Gestión del Riesgo y la Confiabilidad, RRM. Método de Shell para integración de S-RBI, S-RCM e IPF.
Run To Failure (RTF).	Una opción de mantenimiento que es seleccionada para ítems que no se justifica el mantenimiento proactivo o inspección, es decir, ítems con criticidad despreciable y donde el mantenimiento proactivo no es considerado costo efectivo.
Shell-Reliability Centred Maintenance (S-RCM)	Versión de Shell del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, como un proceso estructurado y soportado en una decisión

SCREEN SHOTS RRM ANEXO I

