

**METODOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE CONSULTORÍA EN
EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS
ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS**

**FABIO ANDREY AFANADOR QUIJANO
JIMMY ALEKSANDR BURGOS BRAVO
JULIAN ANDRES CONTRERAS ARIAS**

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

2013

**METODOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE CONSULTORÍA EN EVALUACIÓN Y
MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES
DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS**

**FABIO ANDREY AFANADOR QUIJANO
JIMMY ALEKSANDR BURGOS BRAVO
JULIAN ANDRES CONTRERAS ARIAS**

**Monografía para optar por el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director: JORGE DUARTE
Msc. en ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS DE INGENIERÍA**

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

2013

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia por llenar mi vida de Bendiciones.

FABIO ANDREY AFANADOR QUIJANO

A mi familia.

JIMMY ALEKSANDR BURGOS BRAVO

A mi vida, porque vivo se dura muy poco y muerto la eternidad.

JULIAN ANDRES CONTRERAS ARIAS

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos agradecimientos a:

A nuestras familias por su incondicional y continuo apoyo brindado durante el desarrollo de la especialización.

Al ingeniero Jorge Duarte por dirigir y asesorar la ejecución de la monografía.

A los ingenieros Javier Alejandro Florez, Jorge Andres Segura Cruz y Jorge Andres Cuadrado por su excelente disposición para transmitir sus conocimientos y experiencia específica en las metodologías RCM y FMECA.

A nuestros amigos y compañeros por su oportuno apoyo durante el desarrollo de la monografía.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1 WOOD GROUP PSN COLOMBIA S.A.	19
1.1 RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA EN COLOMBIA.....	19
1.2 UBICACIÓN DE PROYECTOS.....	20
1.3 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.....	20
1.3.1 Misión.....	20
1.3.2 Visión a 2018.....	20
1.3.3 Organigramas.....	21
1.3.4 Líneas de Negocio	23
2 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO	24
2.1 GENERALIDADES DEL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.....	24
2.2 ESTACIONES DE BOMBEO EN OLEODUCTOS/POLIDUCTOS	26
2.2.1 Sistemas recibo.....	26
2.2.2 Sistema de despacho.....	33
2.2.3 Sistemas auxiliares	37
2.3 TERMINALES MARÍTIMOS	39
2.3.1 Sistemas de recibo y despacho en terminales marítimos por los Oleoductos/Poliductos	39
2.3.2 Sistema de exportación/importación hidrocarburos.....	40
2.3.3 Sistemas auxiliares de apoyo marítimo.....	43
3 MARCO TEORICO.....	45
3.1 MANTENIMIENTO	45
3.1.1 Primera generación	45
3.1.2 Segunda generación	46

3.1.3 Tercera generación:	48
3.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	49
3.2.1 Antecedentes	51
3.2.2 Definiciones.....	52
3.2.3 Conceptos fundamentales para RCM	55
3.2.4 Equipo de trabajo	58
3.2.5 Beneficios del RCM.....	59
3.3 ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD.....	60
3.3.1 Objetivos y requerimientos de información de la metodología FMECA.....	61
3.3.2 Proceso FMECA.....	63
4 MARCO CONCEPTUAL.....	69
4.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	69
4.2 TÉCNICAS DE CONFIABILIDAD	72
4.2.1 Sostenibilidad del Sistema informatizado de gestión del mantenimiento (CMMS)	72
4.2.2 Análisis Causa Raíz (RCA)	72
4.2.3 Mantenimiento Basado en Condición (CBM).....	73
5 MARCO NORMATIVO.....	74
5.1 NORMA SAE JA1011	74
5.2 NORMA SAE JA1012	76
5.3 NORMA ISO 14224	76
5.4 NORMA SAE J1739.....	77
5.5 NORMA BS EN 60812	77
6 METODOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE CONSULTORÍA EN EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS.....	79
6.1 DIAGRAMA DE FLUJO ESPECÍFICO	80
6.2 DETALLE DEL PROCESO DE ANALISIS Y DOCUMENTACION.....	83

6.2.1 Preparación	83
6.2.2 Taller en Campo	90
6.2.3 Consolidación y Simulación.....	104
6.2.4 Equipo de trabajo requerido para desarrollar el taller de campo	111
6.3 DETALLE DEL PROCESO ENTREGA -VALIDACION	117
6.4 DETALLE DEL PROCESO IMPLEMENTACION	118
6.5 INTERACCIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA CON LOS SERVICIOS DE CONSULTORÍA DE SOSTENIBILIDAD CMMS, HAZOP, RCA Y CBM OFRECIDOS POR WOOD GROUP PSN	118
7 CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA.....	126
ANEXOS.....	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz RAM.	70
Tabla 2. Matriz RAM ECOPEPETROL	71
Tabla 3. Documentos requeridos en la fase de preparación y su utilidad.....	84
Tabla 4. Consideraciones para filtrar correctamente los activos objeto de análisis en el árbol de equipos.....	87
Tabla 5. Logística administrativa previa al taller de campo.....	89
Tabla 6. Revisión de la preparación y análisis por parte del líder del área.	89
Tabla 7. Cronograma estándar para la realización del taller.....	91
Tabla 8. Ecuaciones de pérdida.....	93
Tabla 9. Modelo para el cálculo de pérdidas de capacidad de transporte	94
Tabla 10. Modelo para el cálculo de pérdidas de capacidad de transporte	94
Tabla 11. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas correctivas.	106
Tabla 12. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas Preventivas.....	106
Tabla 13. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas Predictivas.....	106
Tabla 14. Entregables de la metodología.	111
Tabla 15. Rol y responsabilidad del líder del proceso.....	112
Tabla 16. Información que debe suministrar el líder de proceso.....	113
Tabla 17. Roles y responsabilidades del equipo facilitador.	114
Tabla 18. Información a preparar por el equipo facilitador.....	114
Tabla 19. Responsabilidades del equipo facilitador en el taller de campo	114
Tabla 20. Responsabilidades del equipo facilitador en la fase de consolidación y simulación.	115

Tabla 21. Información a suministrar el Equipo de sostenibilidad CMMS.	115
Tabla 22. Roles y responsabilidades de los especialistas en las áreas mecánica, eléctrica e instrumentación.	115
Tabla 23. Roles y responsabilidades de los operaciones.	116
Tabla 24. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de sostenibilidad CMMS.	121
Tabla 25. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de HAZOP.....	121
Tabla 26. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de CBM.....	121
Tabla 27 Resultados que entrega la metodología EMPM al grupo de Sostenibilidad CMMS.....	123

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Wood Group PSN en Colombia en el sector Oil and Gas.....	20
Figura 2. Relación de Wood Group PSN Colombia S.A. con Wood Group a nivel mundial.....	21
Figura 3. Organigrama Matricial Gerencial de Wood Group PSN Colombia S.A.....	22
Figura 4. Organigrama del área de negocio CTS.	22
Figura 5. Oleoducto y estación de bombeo de hidrocarburos.....	24
Figura 6. Infraestructura Petrolera en Colombia.	25
Figura 7. Sistema de descargadero Carrotanques.	27
Figura 8. Sistema de medición de Crudo.....	31
Figura 9. Sistema de Exportación de hidrocarburos por medio de la TLU.....	41
Figura 10. Salida de la monoboia hacia los Buque tanques.	43
Figura 11. Matriz de excelencia de mantenimiento.....	51
Figura 12. Principales tipos de mantenimiento.	53
Figura 13. Árbol de decisión RCM	57
Figura 14. Proceso RCM aplicando el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA).....	61
Figura 15. Estandarización de modos de falla según norma ISO 14224.	64
Figura 16. Ejemplo de estandarización de las fuentes fundamentales de fallas según norma ISO 14224.....	66
Figura 17. Matriz de Criticidad.	68
Figura 18. Diagrama de flujo Global de la metodología.	79
Figura 19. Diagrama de flujo específico parte 1 de 2.....	80

Figura 20. Diagrama de flujo específico parte 2 de 2.....	82
Figura 21. Matriz de criticidad combinada.	97
Figura 22. Diagrama de flujo para la evaluación y análisis de equipos y componentes clasificados como críticos y no especiales.	98
Figura 23. Grafica Estándar de Clasificación general de equipos del informe taller.	101
Figura 24. Grafica Estándar de Clasificación de equipos por Criticidad y Sub sistema al que pertenecen.....	102
Figura 25. Grafica Estándar de Clasificación de Componentes analizados por especialidad y descripción de estado.	102
Figura 26. Grafica Estándar de Clasificación de Componentes analizados por especialidad, familia de equipos y descripción de estado.	103
Figura 27. Escenarios a simular.....	108
Figura 28. Servicio Integrado de consultoría en el área de CTS.....	119
Figura 29. Interacción entre la metodología EMPM con los procesos de Sostenibilidad CMMS, HAZOP, CBM y RCA.	120

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plantilla Análisis de Criticidad.....	132
Anexo B. Metodología FMECA y Plantilla Taller.....	133
Anexo C. Material de Soporte Taller.....	173
Anexo D. Diagrama de decisión RCM.....	191
Anexo E. Ecuaciones de pérdida.....	197
Anexo F. Recomendaciones y Rediseño.....	198

RESUMEN

TITULO: METODOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE CONSULTORÍA EN EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS*.

AUTORES: FABIO ANDREY AFANADOR QUIJANO, JIMMY ALEKSANDR BURGOS BRAVO, JULIAN ANDRES CONTRERAS ARIAS**.

PALABRAS CLAVES: ESTACION DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS, PLAN DE MANTENIMIENTO, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de modos de Falla, efectos y criticidad (FMECA).

DESCRIPCION O CONTENIDO: En esta monografía se elaboró una metodología para WOOD GROUP PSN COLOMBIA S.A. relacionada con el servicio de consultoría en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento, aplicable en las estaciones de bombeo de hidrocarburos.

El presente documento expone los sistemas y componentes típicos que conforman las estaciones de bombeo, los fundamentos teóricos de RCM y FMECA, así como algunos lineamientos establecidos en las normas SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224:2006, SAEJ1739 y BS EN 60812 que se tomaron como referencia para diseñar y elaborar la propuesta, la cual se desarrolla en tres (3) procesos globales: Documentación-Análisis, Entrega-Validación y por último la Implementación. Dichos procesos están representados en diagramas de flujos globales y específicos, para estos últimos se establecen los lineamientos, requerimientos y la secuencia que se debe llevar a cabo para realizar el análisis Costo-Beneficio del plan de mantenimiento de cada equipo objeto de estudio.

La implementación de la metodología permitirá analizar de forma sistemática y rápida las alternativas necesarias o requeridas que ayudaran a mejorar el plan de mantenimiento actual.

Finalmente, como complemento de la metodología se define la interacción de la misma con las áreas encargadas de los procesos de Análisis Causa Raíz (RCA), Análisis de Riesgo y Operatividad (HAZOP), Mantenimiento Basado en Condición (CBM) y Sostenibilidad del Software Computarizado de Gestión del mantenimiento (CMMS).

* Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: JORGE DUARTE. Msc. en ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS DE INGENIERÍA

SUMMARY

TITLE: METHODOLOGY FOR CONSULTING SERVICE IN EVALUATING AND IMPROVING PLANS IN HYDROCARBONS PUMPING STATIONS MAINTAINING .

AUTHORS: FABIO ANDREY AFANADOR QUIJANO, JIMMY ALEKSANDR BURGOS BRAVO, JULIAN ANDRES CONTRERAS ARIAS**.

KEYWORDS: Hydrocarbons Pumping Station, Maintenance Plan, Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA).

DESCRIPTION: In this paper a methodology was developed for WOOD GROUP PSN COLOMBIA SA related to consulting service evaluating and improving maintenance plans, applicable in hydrocarbons pumping stations.

This document explains the typical components and systems that conform the pumping stations, the theoretical foundations of RCM and FMECA also some guidelines established in the standards SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224:2006, SAEJ1739 and BS in 60812, which were taken as reference for designing and developing this proposal, which is divided into three (3) global processes: Documentation- Analysis, Delivery-Validation and Implementation. These processes are represented in global and specific flowcharts, for the last one was established guidelines, requirements and the sequence to be carried out to perform cost-benefit analysis of the maintenance plan for each equipment under study.

The implementation of the methodology will allow analyzing systematical and quickly needed or requested alternatives that will help improve current maintenance plan.

Finally, in addition to the methodology defined the interaction of itself with the areas charged of Root Cause Analysis (RCA), Hazard and Operability Study (HAZOP), Condition Based Maintenance (CBM) and Computerized Maintenance Management System (CMMS) Sustainability.

* Monograph.

** Mechanical Engineering Faculty of Physics. Specializing in Maintenance Management. Director: JORGE DUARTE. Msc. in Engineering Business Management.

INTRODUCCION

Wood Group PSN Colombia S.A. como empresa prestadora de servicios de consultoría en la industria del Oil and Gas, ha decidido extender su portafolio hacia la evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento a las estaciones de bombeo de hidrocarburos en Colombia, toda vez que ha podido evidenciar nuevas oportunidades de negocios, al determinar que el nivel de madurez del mantenimiento realizado en las estaciones de bombeo presenta oportunidades de mejora.

En la actualidad, la compañía cuenta con metodologías fundamentadas en conceptos y normativas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA), que son rentables y prácticas cuando están aplicadas sobre un sistema o un equipo, pero no tanto cuando se desea analizar secuencialmente la gran cantidad de componentes y sistemas que conforman una planta de bombeo de hidrocarburos; lo anterior, se debe a que dichas metodologías no tienen definidos lineamientos claros de interacción entre los diferentes procesos técnicos y administrativos de la empresa, generando un alto consumo de recursos financieros, gestión administrativa y horas hombres de análisis, entre otros.

Por lo anterior, el presente documento se realiza con el propósito de plantear una metodología práctica y específica para el servicio de consultoría en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento, en las estaciones de bombeo de hidrocarburos. Dicha metodología se establece tomando de referencia los fundamentos teóricos de RCM y FMECA, junto con los lineamientos que apliquen

(para estaciones de bombeo de hidrocarburos) de la normativa internacional pertinente de la ISO, SAE Y BS^(*).

Es preciso mencionar que el modelo planteado se delimita al control de las fallas físicas que puedan afectar el desempeño de los activos, no busca el control de fallas humanas o derivadas de falencias en la definición o ejecución de los procedimientos de intervención. Además, será aplicable a los activos calificados como críticos, salvo equipos estáticos gestionados mediante análisis de integridad mecánica (tanques, líneas) y equipos que tengan planes de mantenimiento normativo y/o estándar tales como: medición, contra incendio, sistemas de alivio, sistemas de contingencia y aquellos que estén en periodo de garantía.

Durante el desarrollo de la presente monografía, se expone aspectos claves de la metodología propuesta en relación con: Presentación Wood Group PSN; descripción del funcionamiento global de las estaciones de bombeo existentes en Colombia (Estaciones en oleoductos, poliductos y puertos); metodología para la identificación de equipos críticos; definición de funciones y fallas funcionales; modos de falla; efectos; análisis de criticidad de los modos de falla; asignación de tareas de mantenimiento.

Por último, el documento concluye exponiendo como los procesos de análisis de riesgos, manejo de software de mantenimiento, análisis de fallas y tareas de manteniendo basado en condición interactúan con la metodología en cuestión.

^(*) ISO: Organización Internacional de Estandarización; SAE: Sociedad de Ingeniería Automotriz; BS: Estándar Británico.

1 WOOD GROUP PSN COLOMBIA S.A.

1.1 RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA EN COLOMBIA

Wood Group es una empresa prestadora de servicios multinacional que inicia en 1929, cuando William Wood funda una firma de ingeniería marina y reparación de barcos llamada Wood & Davidson.

En 1970, William Wood consolida la empresa Wood Group, gracias al contrato de prestación de servicios de soporte para la industria de hidrocarburos y generación de energía, en la reserva de petróleo del Mar del Norte.

Desde el 2000 hasta el presente Wood Group ha logrado posicionarse como uno de los líderes globales en Ingeniería de aguas profundas, oleoductos submarinos, incremento en la producción de gas y petróleo en campos maduros, reparación y reacondicionamiento de turbinas industriales a gas y soporte a la creación y uso de energías renovables.

La llegada de Wood Group a Colombia se remonta al año 1997, dando soporte en Operación y Mantenimiento a la British Petroleum (hoy en día Equión) en las instalaciones de Cusiana y Cupiagua. Años más tarde, ante la expansión a otros clientes y sectores, y con el fin de dar respuesta a las necesidades eventuales del mercado e incursionar en nuevas industrias, la empresa empezó a prestar servicios de ingeniería y diseño.

En el 2011, la división de Production Facilities de la cual hace parte Wood Group Colombia se fusiona con la compañía PSN (Production Services Network) dando origen a Wood Group PSN Colombia S.A.

1.2 UBICACIÓN DE PROYECTOS

Figura 1. Wood Group PSN en Colombia en el sector Oil and Gas.



Fuente: Autores.

1.3 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

1.3.1 Misión. Somos una empresa que presta servicios, a través de una cultura de innovación con personal comprometido. Operamos con procesos eficientes alineados a las necesidades de nuestros clientes, asegurando la calidad, integridad, seguridad, salud y medio ambiente en todas nuestras operaciones.

1.3.2 Visión a 2018. Ser reconocidos por estar adelante de las necesidades de la industria con base en la competencia de nuestra gente, la permanente

innovación y con nuestros valores como el centro de todo lo que hacemos logrando un desarrollo sostenible.

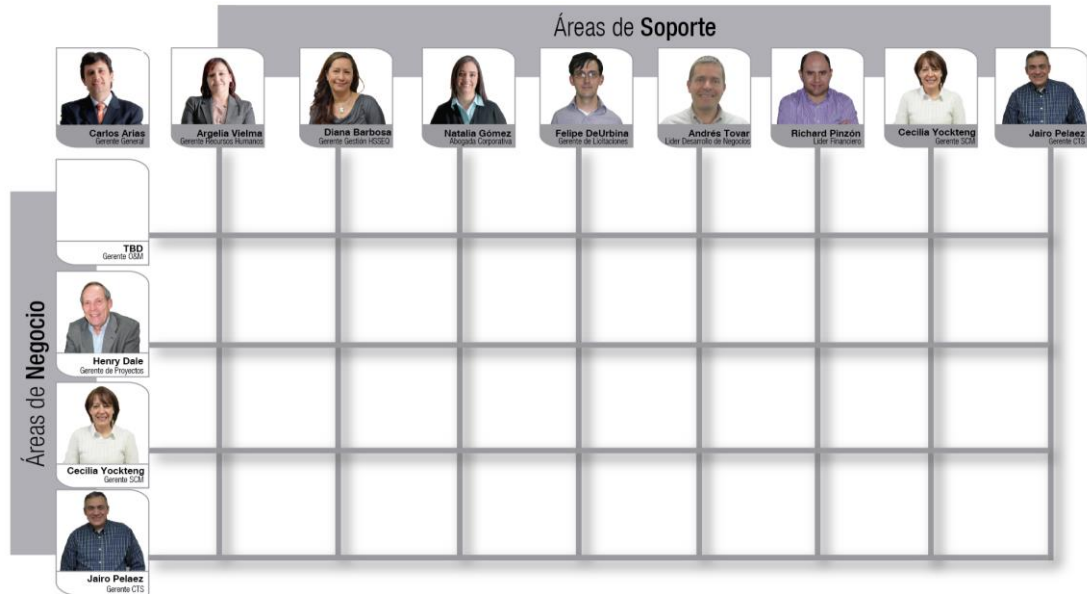
1.3.3 Organigramas. Para lograr una mejor comprensión del sistema organizacional de la empresa, a continuación se muestran los organigramas desde el nivel global hasta las líneas de negocio.

Figura 2. Relación de Wood Group PSN Colombia S.A. con Wood Group a nivel mundial.



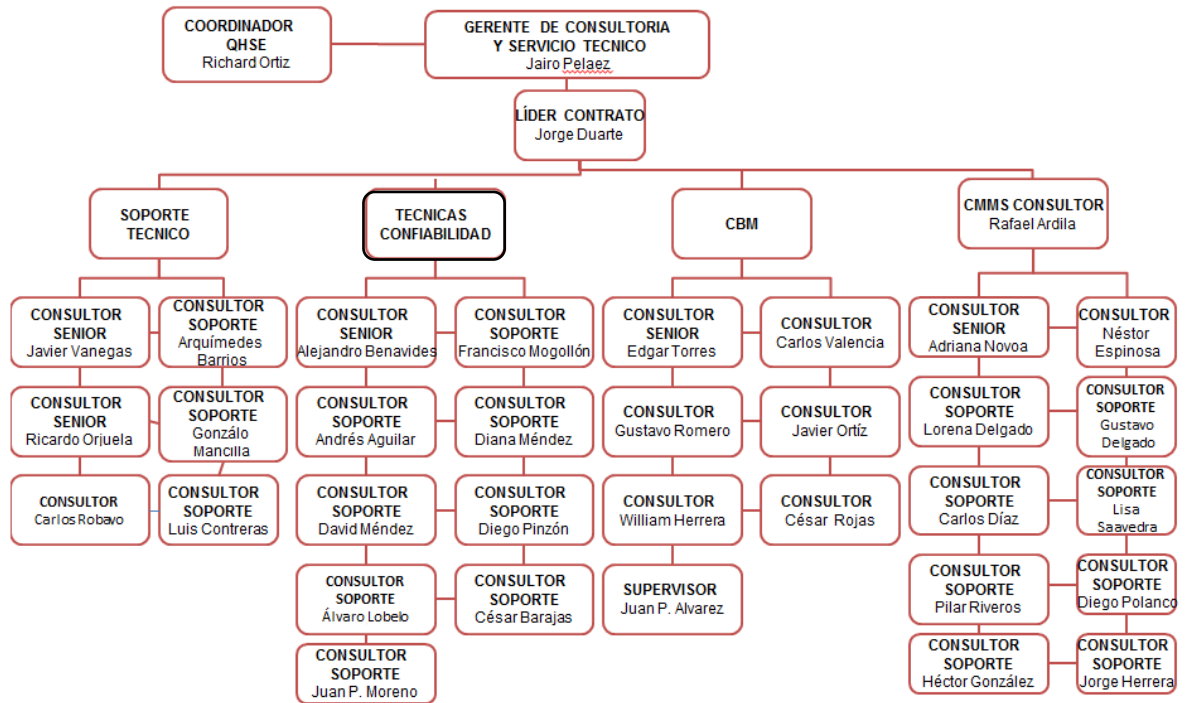
Fuente: Autores.

Figura 3. Organigrama Matricial Gerencial de Wood Group PSN Colombia S.A.



Fuente: Autores.

Figura 4. Organigrama del área de negocio CTS.



Fuente: Autores.

1.3.4 Líneas de Negocio. Wood Group PSN Colombia S.A. actualmente tiene cuatro líneas de negocio: Operación y Mantenimiento, Proyectos, Gerencia de Cadena de Suministros (SSM) y Consultoría y Soporte Técnico (CTS). Con una estructura gerencial matricial (Ver figura 3), la empresa busca ser flexible, innovadora, eficiente, modular y expandible.

A continuación se expone qué es el área de Consultoría y Soporte Técnico (CTS) en Wood Group PSN y sus servicios ofrecidos (Ver figura 3), ya que es allí, donde se desarrolla la metodología objeto de este documento^(*).

CTS es el área encargada de prestar servicios de servicios técnicos y de consultoría en todas las etapas del ciclo de vida de un activo. Sus procesos se desarrollan en tres fases principales: Diagnóstico, mejoramiento, acompañamiento, manejo del cambio organizacional.

Los servicios de soporte técnico abarcan desde la conceptualización, la validación económica y social de proyectos, pasando por la dirección y ejecución de los mismos.

Por otra parte, los servicios de consultoría principalmente son: Gestión Organizacional, Preparación operacional, Estrategia de mantenimiento, CMMS, Integridad, Técnicas de Confiabilidad (Ver figura 4).

^(*) La metodología para el servicio de consultoría en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento, se va a desarrollar específicamente para la línea de técnicas de confiabilidad de CTS (Ver figura 3).

2 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

2.1 GENERALIDADES DEL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento de petróleo es su traslado hacia los centros de refinación o los puertos de embarque con destino a la exportación. Para ello se construye un oleoducto, trabajo que consiste en unir tubos de acero a lo largo de un trayecto determinado, desde el campo productor hasta el punto de refinación y/o de embarque.

Figura 5. Oleoducto y estación de bombeo de hidrocarburos.



Fuente: Autores.

En la parte inicial del oleoducto una “estación de bombeo” impulsa el petróleo y, dependiendo de la topografía por donde éste pase, se colocan estratégicamente otras estaciones denominadas de reimpulso o refuerzo, necesarias para que le permitan superar sitios de gran altura, como las cordilleras en Colombia, y transportar el petróleo hasta la estación terminal¹.

De forma similar, hay ductos que cumplen la función de transportar productos refinados hacia los centros de consumo, entre los cuales se encuentra: poliductos para gasolinas, A.C.P.M. y otros derivados, combustoleoductos para combustóleo, etc. En este libro se describen las estaciones de bombeo en Oleoductos,

¹ <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoymundo/transporte2.htm>

Poliductos y terminales marítimas, ya que en Colombia hay un poco más de 60 estaciones de este tipo (Ver figura siguiente)

Figura 6. Infraestructura Petrolera en Colombia.



Fuente: http://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa_infraestructura.htm

2.2 ESTACIONES DE BOMBEO EN OLEODUCTOS/POLIDUCTOS

Las estaciones de bombeo de crudos puros o mezclados, están ubicadas en áreas geográficas estratégicas, donde los productos pueden ser reimpulsados ya sea a estaciones de refuerzo, a terminales de exportación, a refinerías y/o almacenarse. Es decir, el objetivo principal es recibir los productos (ya sea de los carrotanques u otras estaciones de reimpulso o refuerzo), almacenarlos de ser necesario, y finalmente despacharlos por los diferentes sistemas de oleoductos/poliductos hacia donde son requeridos.

La estructura jerárquica y los sistemas que componen las estaciones de bombeo varían considerablemente de acuerdo con: las necesidades operacionales particulares de cada una, la cantidad de líneas de recibo y despacho, el tipo de producto que recibe y despacha entre otros. A pesar de esto, a continuación se expone los sistemas y componentes de una estación de bombeo genérica. El objetivo es englobar las posibles configuraciones y funciones de las estaciones que se puedan encontrar en la industria del petróleo, algunas de estas tendrán todos los sistemas descritos, otras solo algunos.

2.2.1 Sistemas recibo. El sistema de recibo en las estaciones de bombeo de hidrocarburos se divide principalmente en: Descargadero de carrotanques y sistema de recibo por líneas de transporte.

Sistema Descargadero de Crudo^(*): Este sistema se encuentra conformado por “islas” de recibo carro tanque, cada una con su respectiva capacidad para unidades vehiculares. A su vez, las islas de recibo cuentan con equipos de filtración y bombeo al igual que un sistema de medición que permite determinar el volumen de producto recibido. Igualmente el sistema posee tanto líneas directas

(*) El sistema de descargadero generalmente se encuentra en estaciones de bombeo en Oleoductos.

hacia los procesos de mezcla de crudos^(*), como múltiples de recibo por los cuales el fluido puede entrar en los tanques para ser almacenado.

Figura 7. Sistema de descargadero Carrotanques.



Fuente: Autores

Cada uno de los equipos de bombeo que constituyen las líneas de succión para las Islas Descargadero, deben implementar lógicas de enclavamiento definidas como protección en la unidad. Dichas protecciones deben ser verificadas teniendo en cuenta las señales de los respectivos switches de presión, flujo, temperatura, vibración, localizados a la salida del equipo, generando la acción de parada en los motores asociados cuando se requiera.

Para el caso específico de una desviación en el límite superior de la presión de proceso, el múltiple de descarga de las bombas de succión debe tener válvulas de seguridad que permitan aliviar la presión enviando el producto hacia los tanques.

Adicionalmente, las islas descargadero pueden contar con sus propios sistemas de sumidero^(*), los cuales se componen de bombas de recuperación, switches de

^(*) Dependiendo de la densidad del crudo (Grado API) recibido en el sistema de descargadero, se hace necesario que este sea diluido con productos refinados o menos densos.

presión y nivel. Estos últimos pueden tener su propia lógica de control para generar el arranque y apagado automático del motor en la condición de alto y bajo nivel del tanque.

Los sistemas descargadero cuentan con procesos para la medición del producto, los cuales están constituidos principalmente por: “brazos de manipulación”, componentes de filtración, equipo desaireador^(**), turbinas de medición con amplificadores de flujo, transmisores de temperatura, densidad y presión diferencial^(***); estos últimos sirven para conocer el estado de funcionamiento del correspondiente filtro, generando la indicación de alarma por alta a través de los computadores de flujo. Cabe señalar, que las líneas de los procesos de medición también cuentan con válvulas de seguridad para aliviar la presión hacia los tanques cuando sea requerido.

Los componentes principales del sistema de descargadero son: Bombas de piñones, de tornillo y centrifugas; motores eléctricos; reductores de velocidad, Switches de presión, flujo y nivel; Transmisores de temperatura, presión, nivel, flujo y densidad; Válvulas de bola o compuerta de acción motorizada; válvulas de bola o compuerta manuales; Válvulas cheque, Válvulas de seguridad; Filtros; Tanques de recibo con moto-agitadores; Computadores de Flujo; Turbinas de medición con amplificadores de flujo; calibradores de medición y desaireadores entre otros.

^(*) El sistema de sumidero lo conforman todos aquellos equipos que son empleados para el manejo de los drenajes de refinados y crudos.

^(**) Este equipo es el encargado de remover el oxígeno (aire) contenido en el producto (posible causante de la corrosión en tuberías).

^(***) Los sistemas de medición cuentan con transmisores de presión, temperatura y densidad para permitir compensar la medida de flujo por dichas variables físicas.

Sistema de recibo por líneas de transporte en Oleoductos/Poliductos: El presente sistema se encuentra conformado por las etapas de: Trampa de Recibo, Filtración-Medición y Múltiple de Almacenamiento^(*).

Trampas de recibo en Oleoductos/Poliductos: Para lograr controlar las rutas de admisión de flujo de productos a la Estación, en las líneas de entrada se encuentran “Trampas de Recibo”, las cuales son habilitadas por la condición de apertura de válvulas manuales, válvulas de acción motorizada y/o una válvula de Shutdown de emergencia; esta última es empleada en caso de una potencial demanda del riesgo asociado a los procesos de recibo que se manejan para este sistema. Las válvulas motorizadas son comúnmente operadas con sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Entre las válvulas manuales y motorizadas se encuentran transmisores, que permiten monitorear la presión del producto manejado en la línea tanto en operación normal o recibo del raspador, generando alarmas de presión alta o baja al sistema de control.

Por otra parte, la trampa de recibo cuenta válvulas de seguridad, las cuales alivian la presión en la línea enviando los productos hacia los Tanques. Aguas abajo de dichas válvulas se tienen switches de flujo, encargados de generar una alarma al sistema de control si alguna de ellas se activa.

Para saber las condiciones de presión sobre las líneas de recibo aguas abajo de las válvulas de seguridad se cuenta con indicadores, transmisores y switches de presión.

El paso de un raspador por la trampa de recibo es monitoreado a través los sensores indicadores de paso, simultáneamente las líneas también cuentan con indicadores mecánicos de paso con sensores acústicos como medida preventiva

^(*) La ruta de flujo también puede ir directamente hacia los múltiples de despacho sin pasar por los múltiples de almacenamiento con dirección a los tanques.

en caso que los indicadores de paso referenciados presenten falla en su funcionamiento. Cabe señalar que la trampa de raspador debe tener válvulas de seguridad para que drenen el fluido hacia los tanques en caso de presentarse sobrepresión.

En resumen el sistema de recibo cuenta con los siguientes componentes: Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de bola y compuerta de operación manual; Válvulas de seguridad; tanques de relevo; Indicadores y transmisores de presión, temperatura, flujo y posición.

Prefiltrado de productos refinados del petróleo^(*): La etapa de prefiltrado del Sistema generalmente cuenta con líneas en paralelo de manipulación simultánea, las cuales son habilitadas por sus respectivas válvulas de acción motorizada (MOV) con estado de operación “normalmente abiertas”.

Cada línea cuenta a su vez con sus respectivas válvulas de manipulación manual localizadas a la salida de cada componente de filtrado, las cuales solo deben cerrarse cuando se desee sacar a mantenimiento el respectivo filtro.

En cada una de las líneas del sistema, cada componente que la conforma cuenta con transmisores de presión diferencial, los cuales permiten conocer el estado de funcionamiento de los filtros. Adicionalmente, cada componente de prefiltrado tiene su respectiva válvula de alivio, para permitir el drenaje del producto hacia los tanques cuando la presión aguas arriba del filtro supera el SET preestablecido.

Cuando una alarma por alta presión diferencial es generada se debe sacar el respectivo componente de filtrado a mantenimiento y la ruta de flujo se redirecciona hacia los tanques por medio de válvulas.

^(*) El sistema de prefiltrado generalmente se encuentra en estaciones de bombeo en Poliductos.

La etapa de prefiltración se interconecta con el sistema de Filtración y Medición.

El prefiltrado tiene los siguientes componentes: Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de bola y compuerta de operación manual; Válvulas de seguridad; Indicadores y transmisores de presión diferencial; filtros.

Filtrado y medición en Oleoductos/Poliductos: La configuración y componentes del sistema de filtrado generalmente es similar al prefiltrado, la diferencia radica en los indicadores y transmisores de presión que posee el sistema de filtrado a la salida de los brazos de filtración y medición, los cuales generan alarmas de alta y baja presión.

La etapa de filtración se interconecta con el sistema de Medición. Este último cuenta con turbinas de medición y Computadores de Flujo que realizan los cálculos, siendo estos compensadas tanto por Temperatura, como por Presión y por Densidad. Los sistemas de medición generalmente poseen sus propios sistemas de calibración, los cuales pueden ser habilitados accionando las respectivas válvulas (entrada y salida) de acción motorizada en el sistema.

Figura 8. Sistema de medición de Crudo.



Fuente: Autores

Posterior a la etapa de calibración del Sistema de Medición, en el caso específico de las estaciones de bombeo en poliductos, existen lazos de regulación del sistema que cuentan con transmisores de densidad, ubicados antes y después de una placa de orificio, para transmitir la señal que permite la medición del flujo compensado al computador correspondiente. Aguas abajo de la Placa de Orificio se encuentra el lazo de regulación de presión, comandado por unas válvulas reguladoras de presión con indicadores de posición del cierre y apertura.

En cambio, en las estaciones de bombeo en Oleoductos posterior a la etapa de calibración del Sistema de Medición, existen lazos reguladores de presión comandados principalmente a través de las válvulas de control, las cuales toman acción de regulación mediante el Control Lógico Programable (PLC), permitiendo de esta manera que la presión en el sistema de medición permanezca estable durante el cálculo de flujo realizado por el dispositivo de computo.

La salida del sistema de Filtración y Medición cuenta con válvulas de acción motorizadas que permiten dirigir la ruta de flujo hacia otras partes del proceso donde el producto sea requerido.

El sistema de filtrado y medición cuenta con los siguientes componentes: Transmisores de presión, densidad, temperatura; turbinas de medición; computadores de flujo; Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de compuerta y bola manuales; válvulas reguladoras de presión con indicadores de posición; válvulas de seguridad; válvulas cheque y filtros.

Tanques de almacenamiento: Los Tanques de Almacenamiento se pueden emplear para almacenar productos limpios o para manejar productos contaminados.

Los tanques pueden ser llenados de forma individual o al mismo tiempo con otros, según sea la configuración de apertura/cierre de las válvulas de acción motorizada y válvulas manuales involucradas; estas últimas pueden estar conectadas eléctricamente a unos controladores encargados de enviar las señales correspondientes a los sistemas de supervisión de los operadores.

Antes de depositar el producto que llega del Múltiple de recibo en los Tanques, una válvula de seguridad controla la presión a la entrada de los tanques, cuando se supera el SET preestablecido dicha válvula es accionada.

Si el producto almacenado es succionado por las bombas del sistema “Bombas Booster Despacho”, se requiere que las válvulas de acción motorizada ubicada a la salida de los Tanques se encuentren abiertas, de lo contrario el producto se mantendrá almacenado y las Bombas Booster se apagaran.

Los componentes típicamente utilizados en los tanques son: Switches y transmisores de nivel, presión, temperatura; Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de compuerta y bola manuales; válvulas de seguridad; válvulas cheque.

2.2.2 Sistema de despacho. El sistema de despacho cuenta con tres subprocesos: Bombas Booster, filtración y medición de despacho, bombas principales y trampa de despacho.

Bombas Booster: Dependiendo de la configuración realizada en las válvulas de acción motorizada y manual de las líneas de la estación, las unidades de Booster pueden impulsar el producto desde los sistemas de tanques o directamente de las líneas de recibo.

Generalmente, en las estaciones existen varios brazos de bombeo que cuentan con las mismas características técnicas, por esta razón la operación de succión-descarga puede realizarse con cualquiera de los ellos obteniendo el mismo resultado.

La presión en la zona de succión y descarga es controlada por medio de transmisores que generan alarmas de alta y baja reportándolas en los sistemas de supervisión computarizados. Cuando se supera el SET de presión preestablecido a la entrada de la Bomba Booster, las válvulas de seguridad alivian la presión drenando el producto hacia los Tanques correspondientes.

Las Bomba Booster generalmente son de tipo Centrifugas en las estaciones de poliductos y tipo desplazamiento positivo en oleoductos, en ambos casos las bombas están interconectadas a motores eléctricos. Estos últimos pueden tener Relés que se activan para protegerlos cuando se presenta alguna falla eléctrica propia, o del sistema.

Por otra parte, las unidades Booster pueden contar con switches para evaluar y generar alarmas de condiciones anormales de vibración y bajo nivel de producto que pasa por la bomba. De forma similar, se crean alertas en la Sala de Control Local cuando pasados ciertos segundos después de encender la unidad, los switches de flujo no detectan producto en la zona de descarga.

El producto que sale de los brazos de bombeo Booster, se dirige hacia el sistema de Filtración y medición de Despacho.

Los principales componentes las Bombas Booster son: Bombas centrifugas (Poliductos); Bombas de desplazamiento positivos (Oleoductos); motor eléctricos; relés; Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de

compuerta y bola manuales; válvulas de seguridad; válvulas cheque; transmisores e indicadores de presión, nivel y flujo.

Filtración y medición: El subproceso de filtración y medición de despacho cuenta con elementos descritos en el sistema de filtración y medición de recibo, la diferencia principal entre los dos radica en los valores de las alarmas de operacionales.

Bombas principales: Son las encargadas de impulsar el producto hacia la Trampa de despacho y generalmente hay más de dos Bombas Principales, las cuales disponen de un variador, reductor o incrementador que permite tener diferentes presiones de bombeo según la necesidad que se tenga para despachar el producto.

Por configuración del sistema, generalmente está permitido que dos o más unidades de bombeo operen al mismo tiempo.

Dado que en un proceso de bombeo la presión es la variable más importante, las bombas principales cuentan con medidores y transmisores de presión a lo largo de todo el sistema. En la entrada se tienen transmisores que genera alarmas de alta y baja presión. Si alguno de los transmisores de presión genera alarmas en los sistemas de supervisión las unidades principales de bombeo automáticamente se apagarán debido a la falta de condiciones operacionales requeridas.

Las bombas de las unidades principales generalmente son centrifugas de una sola etapa en Poliductos, o multietapas y de desplazamiento positivo en Oleoductos, en ambos casos las unidades son habilitadas en los brazos de bombeo cuando las válvulas motorizadas se abren para succionar y descargar producto. Cuando una de estas válvulas o varias a la vez están cerradas se tiene una condición de

operación no deseable en la unidad de bombeo, razón por la cual se deben apagar automáticamente.

La presión de succión y descarga en las unidades principales es medida y transmitida por indicadores y transmisores de presión, siendo estos últimos quienes generan las alarmas de alta y baja, con su respectivo monitoreo en la Sala de Control Local. Las alarmas generadas por los transmisores en la succión y descarga sacan de línea la unidad para protegerla de sobrepresión o baja presión.

En la zona de succión, se cuenta con válvulas de seguridad que drenan el producto hacia los tanques correspondientes para permitir aliviar la presión en este punto cuando se supera el SET preestablecido.

Las bombas principales pueden tener varias configuraciones entre las cuales típicamente se encuentra: Bomba-Variador de Frecuencia-Motor Eléctrico; Bomba-Incrementador de Velocidad-Motor de combustión interna; Bomba-Reductor de velocidad-Motor eléctrico. Cuando la configuración de la unidad principal es con motor eléctrico, estos cuentan con Relés que se activan para protegerlo cuando se presenta alguna falla eléctrica propia, o del sistema.

Las unidades principales cuentan con sistemas auxiliares de aire, refrigeración y lubricación, conformados por bombas centrifugas o de tornillo, compresores, motores eléctricos, radiadores y transmisores de flujo, temperatura y presión.

Al igual que las Bombas Booster, las unidades principales pueden contar con switches para evaluar condiciones anormales de vibración y bajo nivel de producto que pasa por la bomba, generar alarmas de alta y baja reportándolas a la Sala de Control Local.

Los componentes típicos del sistema de Bombas principales son: Bombas centrifugas y de desplazamiento positivo; motor eléctricos y de combustión interna; incrementadores, variadores de frecuencia y reductores de velocidad; radiadores; relés; Válvulas de compuerta y bola de acción motorizadas; Válvulas de compuerta y bola manuales; válvulas de seguridad; válvulas cheque; transmisores e indicadores de presión, flujo, temperatura y vibración.

Trampa de despacho: El sistema de la trampa de despacho cuenta con elementos similares a los descritos en el sistema de la trampa de recibo, la diferencia principal entre los dos radica en los valores de las alarmas de operacionales.

2.2.3 Sistemas auxiliares. Evidentemente para que poder operar una estación de bombeo de hidrocarburos deben existir sistemas y equipos que soporten la operación, entre los más comunes encontrados se tiene:

- ✓ Sistema de distribución eléctrica: Cuarto de Control de Motores (CCM), Alumbrados, Sub estación eléctrica, moto-generadores.
- ✓ Sistema de aire industrial: Compresores de tornillo, rotativos y reciprocantes acoplados a motores eléctricos y de combustión interna. Adicionalmente cuentan con tanques pulmón que sirven para alimentar el sistema de aire comprimido de instrumentación y control.
- ✓ Sistema de agua industrial: Bombas centrifugas acopladas a motores eléctricos.
- ✓ Sistema de contraincendios: Básicamente los sistemas contraincendios son de agua, de espuma o agente limpio. Los componentes son bombas

centrifugas, reductores de velocidad y motores eléctricos o de combustión interna.

- ✓ Separador API: El sistema cuenta con una piscina de estabilización y aireación de aguas aceitosas, un tanque sumidero y bombas centrifugas acopladas a motores eléctricos. Generalmente la operación de cada una de estas unidades se controla automáticamente teniendo en cuenta la señal de los switches de nivel; encendido para evacuar el producto hacia el tanque de relevo en caso de una alarma de alto nivel y de parada mediante la indicación de alarma de bajo nivel.
- ✓ Sistema de control operacional: Red de telecomunicaciones, Sistemas de control lógico programable (PLC), Sistema de alimentación interrumpida (UPS), Bancos de baterías, Consolas, Computadores, pantallas, etc.
- ✓ Sistema alivio y medio ambiente: Típicamente compuesto por válvulas de seguridad, válvulas de acción motorizada.
- ✓ Equipos de contingencia ambiental: Aquellos equipos móviles dispuestos para atender emergencias ambientales (derramamientos de crudo) en caso de presentarse, por ejemplo: Motobombas, tanques flotadores, torres de iluminación móvil, desnatadores, barreras de contención, etc.
- ✓ Tanques y bombas de relevo y sumidero: Los Tanques de Relevo son los encargados de almacenar el producto depositado por los sistemas de válvulas de seguridad, trampas de recibo y despacho, disparo de bombas Booster y principales entre otros. El Tanque cuenta con los mismos componentes descritos para los tanques de almacenamiento en el Sistema de recibo. Para que el producto almacenado en el tanque de relevo pueda

ser despachado se cuenta con una bomba centrífuga y/o de tornillo acoplada a un motor eléctrico, los cuales tienen instrumentación de control de presión, temperatura y flujo.

Los tanques de sumidero son empleados para contener en ellos los drenajes de refinados y crudos, respectivamente, provenientes de toda la estación. Cuando se tiene una alarma por alto o alto-alto nivel, se deben encender las Bombas centrífugas y/o de tornillo de sumidero que despachan el producto almacenado hacia los Tanques de Relevo.

2.3 TERMINALES MARÍTIMOS

Los terminales marítimos pueden realizar las siguientes operaciones:

- ✓ Recibo, almacenamiento y despacho de: crudo puros o mezclados, combustóleo, refinados del petróleo (gasolina corriente, gasolina Premium, diésel, combustible Jet, GLP, etc.).
- ✓ Importaciones de refinados del petróleo y exportaciones de crudo a través de las monoboyas o TLU, por sus siglas en inglés (Tanker Loading Unit).

2.3.1 Sistemas de recibo y despacho en terminales marítimos por los Oleoductos/Poliductos. Los sistemas de recibo y despacho por medio de

oleoductos/poliductos en una terminal marítima son semejantes^(*) a los que se exponen en la sección 2.1 de este documento; la diferencia principal aquí respecto a lo anteriormente expuesto, radica en que los sistemas de despacho o recibo de las terminales marítimas pueden conectarse por medio de los ductos submarinos a las monoboyas (TLU) con fines de exportación/importación de hidrocarburos. Los sistemas recibo/despacho de una terminal marítima se pueden resumir en: Trampa de recibo; filtrado y medición recibo, almacenamiento en tanques; Bombas Booster; filtrado y medición despacho; bombas principales; trampa de despacho; sistemas auxiliares.

2.3.2 Sistema de exportación/importación hidrocarburos. Las importaciones de refinados del petróleo y exportaciones de crudo a través de las monoboyas o TLU, por sus siglas en inglés (Tanker Loading Unit), nacen como consecuencia de la necesidad de incrementar la capacidad de transporte del sector y de disminuir los riesgos asociados a sus operaciones.

Una monoboya o TLU es una estructura autoflotante que permite amarrar un buque tanque y al mismo tiempo entregar o recibir cualquier tipo de hidrocarburo, a través de su conexión a tierra por medio de un ducto submarino.

Una monoboya básicamente se compone de una boya circular cuyo diámetro varía de 10 a 17 metros, anclada en el fondo de mar por medio de 6 u 8 cadenas de amarre, las cuales están aseguradas al fondo por anclas o pilotes enterrados.

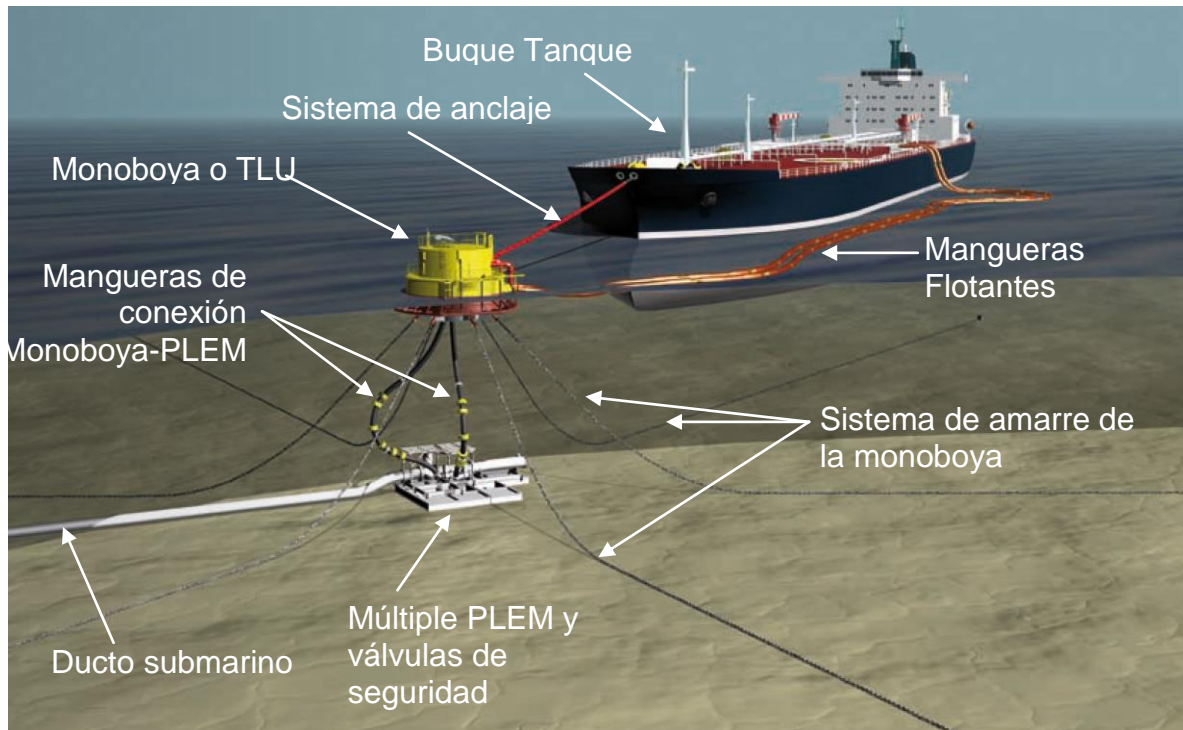
Sobre la boya hay una estructura giratoria montada sobre cojinetes de rodillos que permite la rotación de 360 grados. Esta estructura giratoria está equipada con tuberías, válvulas, conexiones, instrumentos de navegación y control y a ella están conectadas las mangueras flotantes.

En el centro del cuerpo de la boya está el pivote central, componente fundamental para poder transferir el fluido entre las partes fijas y las partes giratorias.

^(*) Es importante resaltar que algunas de las terminales Marítimas tendrán todos los sistemas descritos en la sección 2.1, otras solo algunos.

Las mangueras submarinas bajo la TLU, permiten la conexión entre el cuerpo de la boya y el oleoducto submarino².

Figura 9. Sistema de Exportación de hidrocarburos por medio de la TLU.



Fuente: Autores

La conexión hacia el sistema TLU proveniente de la línea de ON-SHORE se realiza a través del PLEM^(*) localizado en el lecho marino por debajo de la propia terminal. El PLEM cuenta con válvulas hidráulicas manipuladas remotamente, y cuyos estados de operación son “normalmente abiertas”. La posición de cierre de estas válvulas está condicionada únicamente por el evento de Shutdown con el objetivo de aislar las líneas en caso que se presente algún tipo de contingencia.

La línea de salida del PLEM se conecta al pivote central de la monoboya o TLU, y cuenta con transmisores de presión localizados paralelamente a un Switch de alta

² IZQUIERDO GONZÁLEZ, Ricardo. Principios de operación y mantenimiento de estructuras monoboya. En: Congreso COPINAVAL (19: Octubre, 2005: Guayaquil, Ecuador). Memorias. p. 3:2

^(*) PLEM por sus siglas en inglés (pipe line end manifold)

presión, cuyas señales de registro condicionan el evento de Shutdown para el cierre de la válvula hidráulica del PLEM, cuando se genera alarma de alta-alta presión se deben detener simultáneamente las unidades de bombeo ON-SHORE que despachan el producto hacia la monoboya.

La salida de la monoboya o TLU cuenta con dos o más posibles rutas de flujo para despacho a Buque Tanque (Ver figura página siguiente). Al igual que la línea de salida del PLEM, aquí las rutas flujo cuentan con transmisores de presión que generan alarmas de alta presión y el evento de Shutdown para comandar el cierre de la válvula hidráulica del PLEM y la parada de las unidades de bombeo ON-SHORE.

En caso de presentarse sobre-presión en el sistema, las rutas de flujo deben contar con líneas de bifurcación hacia el tanque de relevo localizado internamente en la terminal TLU, las cuales son habilitadas por las válvulas de seguridad por presión.

Los tanques de relevo en mención cuentan con transmisores de nivel y de presión de gas, cuyas señales de registro son empleadas para generar alarma por alto nivel y alta presión respectivamente. Dichas alarmas también condicionan el comando de Shutdown para el cierre de la válvula hidráulica del PLEM y la parada de las unidades de bombeo ON-SHORE.

Cuando la alarma de alto nivel se ha generado, el operador de la brigada de cargue puede dar arranque de forma local a la unidad de bombeo del tanque de relevo, para lo cual debe abrir su respectiva válvula de succión de manipulación igualmente manual, para extraer el producto almacenado despachándolo de esta manera hacia los buques tanque.

Figura 10. Salida de la monoboya hacia los Buque tanques.



Fuente: IZQUIERDO GONZÁLEZ, Ricardo. Principios de operación y mantenimiento de estructuras monoboya. En: Congreso COPINAVAL (19: Octubre, 2005: Guayaquil, Ecuador). Memorias. p. 5:13

2.3.3 Sistemas auxiliares de apoyo marítimo. Remolcador de maniobra y mantenimiento: Ayuda en el alineamiento de las monoboyas y el Buque Tanque. El remolcador de maniobra cuenta con gran potencia, autonomía en combustible y espacio en su cubierta para realizar labores de mantenimiento a los diferentes componentes de las monoboyas.

Adicionalmente el remolcador cuenta con equipos como barreras de contención, tanques de dispersante químico para ser usados en el momento que se presente un derrame o una emergencia.

Remolcador menor de bahía: Es el encargado de permitir la operación de conexión de las mangueras flotantes al buque tanque e igualmente sirve como apoyo en caso de emergencias.

Bote de transporte de personal: Permite la movilización de trabajadores desde la bahía hasta el buque tanque, la monoboya o las mangueras.

Entre los equipos auxiliares están las mangueras, tanques de almacenamiento de dispersante, equipos de dispersión química monitores y sistema contra incendios, todos estos se pueden movilizar en el remolcador y el remolcador menor.

3 MARCO TEORICO

3.1 MANTENIMIENTO

En la historia del mantenimiento encontramos hechos relevantes que incidieron en la evolución del mismo a lo largo del pasado siglo XX y que han determinado los objetivos, tendencias, expectativas, estándares de calidad, seguridad y medio ambiente que actualmente se observan en la materia. No obstante, es preciso documentar este proceso del mantenimiento desde la primera hasta la tercera generación, toda vez que es una herramienta explicativa que nos ayuda a establecer, comprender e interiorizar los argumentos de los cambios conceptuales en los procesos de mejoramiento de los planes de mantenimiento.

3.1.1 Primera generación. Este periodo se extiende hasta la primera guerra mundial³, donde la función de mantenimiento parece originarse en la era de la industrialización con la construcción y puesta en marcha de aparatos robustos y sencillos.

En esta generación era normal que existieran fallas en los equipos por el uso de las máquinas en la producción industrial, las cuales se solucionaban sobre la marcha, por medio de un mantenimiento correctivo donde no se consideraban los tiempos de paradas; ni la efectividad del negocio; el riesgo; la seguridad; la integridad del medio ambiente; el uso eficiente de la energía; la calidad de producto y el servicio al cliente.

³ MOUBRAY, John. Introducción al mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Reliability-centered maintenance. 2 ed. New York, Industrial Press, 1997. p. 2.

La prioridad del área de producción era solamente elaborar o generar productos^(*) y la gestión de mantenimiento estaba orientada sólo a la máquina, recibiendo órdenes directas de producción sin ser considerado como un área de servicio y soporte.

Según el libro *Mantenimiento Industrial Efectivo* de Luis Alberto Mora⁴, en la primera etapa aparecen los elementos iniciales que se requieren para sostener la función de los equipos tales como: órdenes de trabajo, herramientas, utensilios, almacenes de repuestos e insumos de mantenimiento, surgen las primeras informaciones que posteriormente se constituyeron en las bases de datos y luego en el sistema de información, se desarrollan las técnicas y las tecnologías propias de cada empresa en particular, etc.; en general se dan las bases para que el área de mantenimiento funcione.

3.1.2 Segunda generación. Un aumento exponencial de la demanda de bienes posterior a la segunda guerra mundial incentivo la mecanización, la complejidad y cantidad de todo tipo de máquinas y equipos en la industria. En las décadas de 1960 y 1970 los sectores productivos comenzaron a ver con gran preocupación los tiempos de parada de las máquinas en falla^(**), ya que disminuían considerablemente la capacidad productiva de las empresas; limitando los volúmenes de producción, aumentando los costos operativos e interfiriendo con el servicio a clientes.

Bajo este marco, nace el primer concepto de Mantenimiento Preventivo (PM), basado en la creencia intuitiva de que las fallas en los equipos están directamente relacionadas con el desgaste y edad de las máquinas.

(*) Este argumento se sustenta en que la demanda de productos era mayor que la oferta, todo lo que se producía se vendía.

⁴ MORA GUTIERREZ, Alberto. *Evolución de Mantenimiento y Producción*. En: *Mantenimiento Industrial Efectivo* 2 ed. Medellín, Coidi, 2012. p.26.

(**) La preocupación nace con la nueva y alta dependencia de producción con las máquinas y equipos.

Esta percepción de la realidad llevo al personal de mantenimiento a establecer y realizar tareas de reemplazo de componentes o intervenciones programadas sobre los equipos^(*) pretendiendo evitar, reducir o eliminar las fallas para asegurar la máxima confiabilidad y seguridad de los equipos.

La implementación del concepto PM incremento considerablemente los costos asociados a mantenimiento^(**) respecto a otros costos de funcionamiento y operación, en respuesta a este escenario económico, los empresarios comenzaron a exigir al área la implementaron sistemas de control costos y de planificación en todas sus actividades.

En la etapa II las actividades mínimas de gestión son: El plan maestro de mantenimiento, la generación y documentaciones órdenes de trabajo, el sistema de manejo y recolección de datos incluyendo el asunto de los repuestos.

Cabe señalar que en este período el área de mantenimiento recibe las órdenes de trabajo del área de producción; lo anterior demuestra el grado de dependencia de la primera con la segunda⁵.

^(*) Cabe resaltar que en la etapa III del mantenimiento se descubre que muchas fallas no pueden ser prevenidas en forma efectiva con este tipo de actividades, sin importar cuan intensamente sean realizadas.

^(**) Los costos de mantenimiento que cobraron relevancia son: Costos por perdidas de calidad, costos de capital, perdidas de energía, perdidas de mercado, pérdidas de producción, depreciación acelerada, exceso de actividades, mano de obra, materiales y repuestos.

⁵ Ibid.

3.1.3 Tercera generación. La fuerte competencia junto con la alta oferta de bienes y servicios respecto a la demanda, generaron nuevos retos en la industria en la década del setenta, donde surgieron nuevos conceptos e investigaciones que caracterizan la tercera generación, entre las cuales se destacan:

- ✓ La satisfacción del cliente es prioridad porque estos reconocen y premian la calidad con su fidelidad; la alta oferta de bienes y servicios hace que los clientes puedan ser selectivos.
- ✓ El tema del medio ambiente y seguridad es de obligatorio cumplimiento y se tornó en algo más que en un tema de discusión, sencillamente está reglamentado.
- ✓ La disponibilidad y confiabilidad son factores claves para mantenimiento; se reconoce que el alto grado de automatización y mecanización de la industria puede hacer que una pequeña falla haga parar toda una planta.
- ✓ Se buscan metodologías que determinen donde son necesarias las tareas preventivas según la criticidad y las consecuencias de las fallas.
- ✓ Se desarrollan nuevas herramientas que buscan cero defectos en los productos finales y cero fallas en los equipos.
- ✓ Nuevas investigaciones cambiaron los conceptos del mantenimiento preventivo rutinario y se demuestra que la mayoría de los equipos no son más propensos a fallar cuando envejecen; se revela que son seis patrones de falla los que ocurren en la práctica⁶ y no dos como se creía en la primera y segunda generación. En conclusión, se determina que la gran mayoría de las restauraciones o reemplazos a intervalos fijos, hacen poco o nada a

⁶ MOUBRAY. Op. Cit., p. 4.

favor de la confiabilidad y seguridad de equipos complejos a menos que tengan un modo de falla dominante.

- ✓ Nace el enfoque de justo a tiempo y calidad total.

En la tercera generación se reconoce la importancia de la medición de resultados, del registro de datos de forma sistemática y estructurada, del desarrollo objetivo, lógico y organizado del conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican; en general, se implementan sistemas de gestión, información y control de las actividades de mantenimiento que permiten orientar los esfuerzos y los recursos, así como reducir los costos y el riesgo asociado a la actividad productiva.

El objetivo principal de producción en esta etapa es maximizar la explotación y la combinación de sus factores productivos, en tanto que mantenimiento se constituye como una unidad independiente de producción, de apoyo logístico a operación y manufactura⁷.

3.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Existen varias herramientas de análisis que contribuyen a mejorar la confiabilidad operacional de los equipos y sistemas dentro de las organizaciones, entre las más relevantes se encuentran: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)^(*), Mantenimiento Productivo Total (TPM), TPM & RCM Combinados, Reactivo, Proactivo, Clase Mundial, Centrado en Objetivos y RCM Scorecard entre otros. Se resalta que ninguna herramienta antes mencionada es buena, mala o mejor que otra, cada una es

⁷ MORA GUTIERREZ. Op. Cit., p.28.

^(*) P.M.O. se define como una metodología diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento preventivo basado en el análisis de la información histórica. La herramienta utiliza información estadística para identificar las oportunidades de optimización con el objetivo de hacer un mantenimiento con valor agregado.

beneficiosa en la medida que sea la más adecuada para las expectativas, circunstancias, el tiempo y nivel de desarrollo que viva la empresa donde se implementa.

El presente documento profundizará en la metodología RCM en la presente sección y en la metodología FMECA (Análisis de modos de falla, efectos y criticidad) en la sección 3.3, no es de interés ni objeto de éste ahondar en cada una de las herramientas anteriormente mencionadas por lo siguiente:

- ✓ En Colombia existe una alta la demanda de servicios de consultoría en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento, que deben estar referenciados en conceptos de RCM y FMECA para las estaciones de bombeo de hidrocarburos.
- ✓ El nivel de madurez del mantenimiento realizado en las estaciones de bombeo de actualmente presenta oportunidades de mejora.
- ✓ La matriz de la excelencia califica a la metodología RCM como una práctica de mantenimiento denominada 'lo mejor de su clase', lo cual hace deseable la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en esta metodología, en las organizaciones donde se realicen auditorías de mantenimiento. (Ver figura página siguiente).

Figura 11. Matriz de excelencia de mantenimiento.

CLASS	ESTRATEGIA	ADMINISTRACION DEL RECURSO HUMANO	PLANEACION & PROGRAMACION	TACTICAS DE MANTENIMIENTO	MEDIDAD DEL DESEMPEÑO	TECNOLOGIA DE LA INFORMACION Y USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	ANÁLISIS DE PROCESOS
WORLD CLASS	ESTRATEGIA CORPORATIVA DE MANTENIMIENTO	TECNICOS INDEPENDIENTES MULTI-DISCIPLINARIOS	INGENIERIA DE MANTTO Y PLANEACION A LARGO PLAZO (MIN 3 AÑOS A LA VISTA)	TODAS LAS TACTICAS DERIVADAS DE UN ANÁLISIS ESTRUCTURADO	EQUIPOS EFECTIVOS, BENCHMARKING, EXCELENTE BASE DE DATOS DE COSTOS	BASE DE DATOS TOTALMENTE INTEGRADA	EQUIPOS DE TRABAJO AUTONOMOS	PROGRAMA TOTAL DE CONFIABILIDAD (PREDICCIÓN Y AJUSTE ESTRATEGIA MANTTO CON BASE EN "R")	REVISION REGULAR DE LOS PROCESOS DE COSTO, TIEMPO Y CALIDAD. CERTIFICACION ISO 9001 PROCESOS DE MANTTO
BEST IN CLASS	PLAN DE MEJORAMIENTO A LARGO PLAZO	ALGO DE MULTI-DISCIPLINA	BUENA PLANEACION DEL TRABAJO, PROGRAMACION, SOPORTE DE INGENIERIA DE MANTTO	CBM FORMAL, DANDO RESULTADOS PPMs CON BASE EN RCM.	MTBF / MTRR, DISPONIBILIDAD, COSTOS DE MANTENIMIENTO INDEPENDIENTES	CONVENCIONAL, LIGADA A MATERIALES Y FINANCIERO	EQUIPOS DE MEJORAMIENTO CONTINUO	MODELAMIENTO DE CONFIABILIDAD	ALGUNAS REVISIONES DE PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE MANTTO (ADVOS, TACTICOS Y OPERATIVOS)
AWARNESS	PLAN ESTRATEGICO DE MANTTO A UN AÑO	GRUPOS DESCENTRALIZADOS DE DIFERENTES DISCIPLINAS	GRUPOS DE PLANEACION E INGENIERIA DE MANTTO ESTABLECIDOS	ALGO DE CBM, INSPECCIONES BASADAS EN EL TIEMPO, ALGO DE NDT	TIEMPO DE PARADA CON CAUSAS, COSTOS DE MANTENIMIENTO DISPONIBLES	CONVENCIONAL NO LIGADA A OTROS SISTEMAS	COMITES DE MEJORAMIENTO FORMALES	BUENA BASE DE DATOS DE FALLA BIEN USADA, RCPA & FMEA	REVISIONES PERIODICA DE PROCESOS TECNICOS POR DISCIPLINAS
UNSATISFACTORY	PLAN DE MEJORAMIENTO DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS	ALGUNAS DISCIPLINAS PARCIALMENTE DESCENTRALIZADAS	SOPORTE PARA DETECCION DE FALLAS, PROGRAMACION	ISNPECCIONES BASADAS EN EL TIEMPO	ALGUNOS REGISTROS DE PARADAS, COSTOS DE MANTENIMIENTO NO SEGREGADOS	ALGUNOS PROGRAMAS Y REGISTROS DE REPUESTOS	ALGUNAS REUNIONES DE MEJORAMIENTO EN SEGURIDAD	REGISTRO DE FALLAS POCO USADO	PROCESOS TECNICOS DEMANTENIMIENTO O REVISADOS UNA VEZ.
INNOCENSE	REACTIVO A FALLAS	ALTAMENTE CENTRALIZADO POR DISCIPLINAS	NO PLANEACION, PEQUEÑA PROGRAMACION, NO INGENIERIA	PARADAS ANUALES DE INSPECCION UNICAMENTE	NINGUNA APROXIMACION SISTEMATICA COSTOS DE MANTENIMIENTO (NO DISPONIBLES)	MANUAL O SISTEMAS AD HOC	SOLO REUNIONES EXORADICAS, DEL SINDICATO O SOCIALES	SIN REGISTRO DE FALLAS	NUNCA REVISADOS

Fuente: ACUNA Manuel y MORALES Ronald. Modelo Para El Mantenimiento De Los Equipos Del Distrito De Producción Espinal. Tesis de Especialista En Gerencia De Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2004. p. 23.

3.2.1 Antecedentes. Al final de los 50's la aviación comercial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues, 2 accidentes por día (con aviones de 100 pasajeros o más), 2/3 causados por fallas en los equipos (40 por millón).

Entre 1950 y 1960, la alta tasa de accidentalidad conectada con el auge de los viajes aéreos, condujo a la industria aeronáutica a investigar los resultados reales de las prácticas de mantenimiento existentes, especialmente el mantenimiento preventivo. Como resultado de los estudios realizados surgió un nuevo enfoque lógico de análisis para el diseño de programas de mantenimiento, el cual fue denominado RCM.

Posterior a la implementación de los programas de mantenimiento basados en el enfoque RCM, las aerolíneas sufren menos de 2 accidentes por millón de despegues, 1 accidente cada 3 ó 4 semanas en el mundo, 1/6 causados por fallas en los equipos (0.33 por millón).

Al igual que en la aviación civil, el proceso RCM se puede implementar en la industria del petróleo con un nivel de éxito considerable.

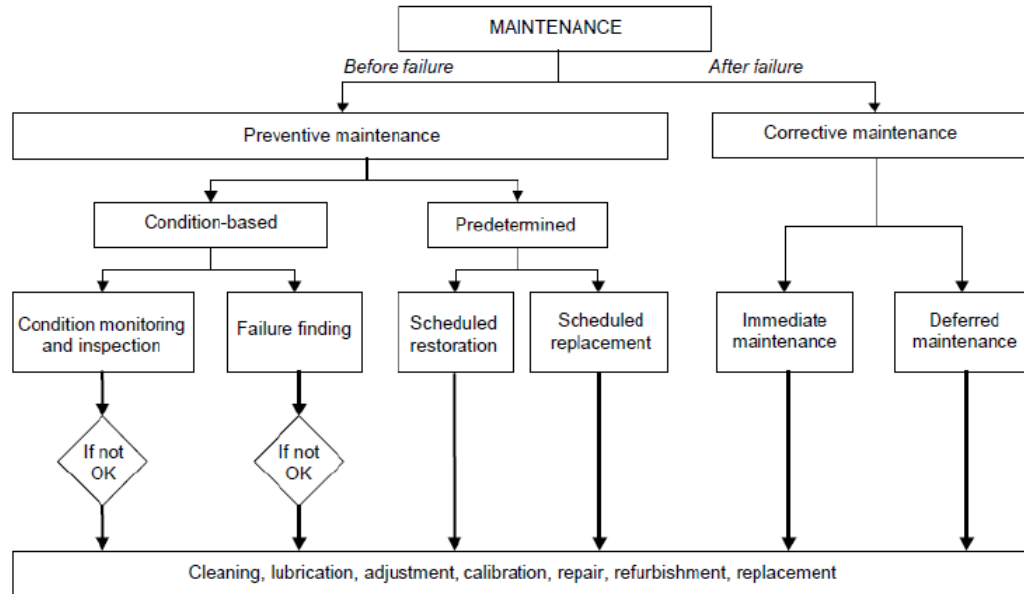
A continuación se expone detalladamente lo que es un proceso RCM; desde las definiciones básicas, pasando por los conceptos fundamentales, hasta la descripción tanto del equipo de trabajo, como los beneficios más relevantes ofrecidos por la metodología.

3.2.2 Definiciones. Mantenimiento: Es asegurar que todo activo físico continúe desempeñando las funciones deseadas por los usuarios.

Las tareas de mantenimiento se dividen en dos grandes grupos, el preventivo y el correctivo. El primero comprende todas aquellas tareas ejecutadas sobre los equipos antes que la falla ocurra y permite la planeación de las actividades, mientras que en el segundo, las tareas son llevadas a cabo tras el reconocimiento de las fallas, con la intención de poner el equipo en un estado en el que este pueda realizar la función requerida.

Los principales tipos de mantenimiento se pueden observar en la siguiente figura:

Figura 12. Principales tipos de mantenimiento.



Fuente: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION Dependability management - Part 3-11 Application guide -Reliability Centred Maintenance. IEC 60300-3-11: 2009. p.15.

Mantenimiento predictivo o tareas a condición: Consiste en realizar la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar la falla antes de que ocurra. Estas tareas incluyen: Inspecciones, monitoreos (Vibraciones, ultrasonido, etc.), chequeos (nivel de aceite, temperatura, etc.), de acuerdo con la condición medida y si existen síntomas claros se toma la decisión de que acción de mantenimiento correctivo basado en condición realizar.

Mantenimiento preventivo: Son aquellas tareas de sustitución o reacondicionamiento hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. En este tipo de mantenimiento, se debe tener especial cuidado en no confundir una tarea que se puede hacer con una tarea que conviene hacer. Es decir, siempre se debe estar alineado con el análisis Costo-Beneficio.

Mantenimiento Correctivo: Ocurre cuando no se realiza ninguna tarea proactiva (predictiva, preventiva ^(*)) para manejar una falla, sino que la reparación se realiza paralelamente o al mismo tiempo en que ocurre la falla. Este tipo de mantenimiento es recomendable hacerlo cuando el costo/riesgo de la falla (directos e indirectos) es menor que el costo/riesgo de la prevención, o cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño en el equipo.

Mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas: Consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos puedan brindar la protección requerida cuando sean necesarios. Por ejemplo, arrojar humo a un detector contra incendios es una tarea de mantenimiento detectivo.

RCM según la norma SAE JA1011⁸: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se define como un proceso utilizado para definir las políticas que deben ser funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional.

RCM según John Moubray en su libro RCM II⁹: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se define como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

RCM según otros autores: a) Es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. b) Es un enfoque sistémico para diseñar programas de mantenimiento que aumenten la confiabilidad operacional de un sistema con un

(*) Según la metodología RCM estos tipos de mantenimiento comprenden las Tareas Proactivas.

⁸ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. SAE JA1011. Warrendale: 1999. p. 5.

⁹ MOUBRAY. Op. Cit., p. 7.

mínimo costo y riesgo. c) Es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial.

Con base a las definiciones básicas mantenimiento y RCM expuestas, es importante resaltar que el verdadero objetivo de mantenimiento es la conservación del estado de funcionalidad de los equipos, más no preservar su confiabilidad inherente o capacidad de diseño. En otras palabras, la función desempeñada por una máquina es lo que interesa desde el punto de vista productivo y de mantenimiento; esto implica que no se busca tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones costo-efectivas suficientes para realizar bien su función.

3.2.3 Conceptos fundamentales para RCM. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las 7 preguntas básicas de RCM son¹⁰:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

¹⁰ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING. Op. Cit., p.10.

7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Las respuestas relacionadas con las preguntas desde la 1 hasta la 5, son discutidas en la sección 3.3 del presente documento, donde se expone la herramienta metodológica FMECA.

En relación a las respuestas de las preguntas 5, 6 y 7 cabe resaltar lo siguiente:

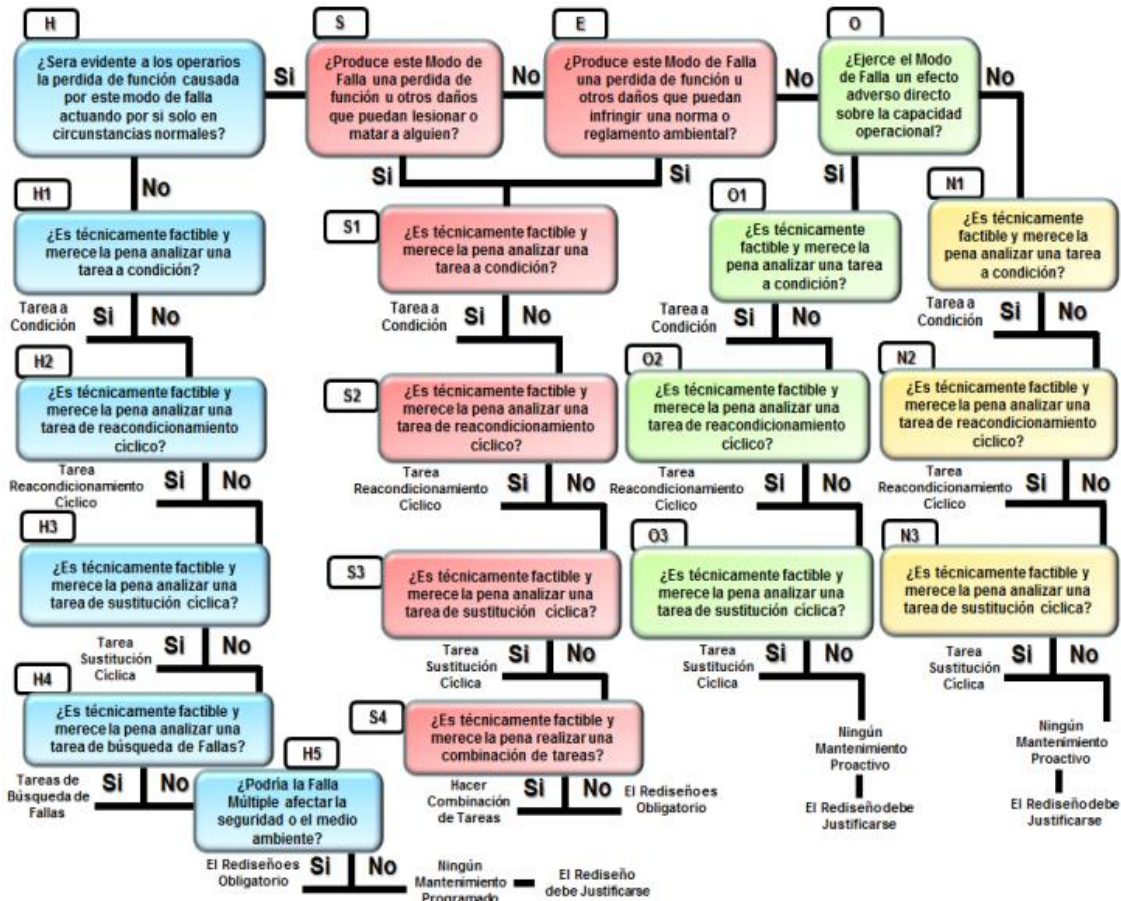
Pregunta No. 5: Con el fin de no tener confusiones en entre consecuencias y efectos de falla, es preciso determinar sus diferencias. El efecto de una falla es una descripción de qué pasa cuando una falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica ese efecto en una de 5 categorías según el impacto de la falla.

El proceso de categorización¹¹ comienza clasificando previamente las fallas entre: Fallas ocultas y fallas evidentes. Posteriormente, el orden en que se evalúan es Seguridad, Medio ambiente, Operacionales y no Operacionales.

Pregunta No. 6: Una vez identificadas las causas, efectos y consecuencia de falla, se debe considerar si es conveniente prevenir dichas fallas, lo anterior fundamentado en un análisis Costo-Beneficio; si en dicho análisis nos resulta conveniente prevenir dicha falla, se entra a la etapa de seleccionar el mantenimiento o la medida más adecuada para su prevención, con ayuda de los árboles lógicos de decisión de RCM (Ver figura página siguiente).

¹¹ Ibid., p. 11.

Figura 13. Árbol de decisión RCM



Fuente: HERNANDEZ Pedro. Revisión de la Estrategia Actual de Mantenimiento Para la Flota de Compresores Centrífugos de Reinyección De Gas Usados En Las Facilidades De Cupigua Casanare. Tesis de Especialista En Gerencia De Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011. p. 70.

Con el anterior diagrama se puede asentar las preguntas formuladas y en función de dichas respuestas registrar¹²:

- ✓ Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, la frecuencia de ejecución y quien lo hará.

¹² Moubray, John. El diagrama de Decisión RCM. En: Reliability-centered maintenance. 2 ed. New York, Industrial Press, 1997. p. 202.

- ✓ Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- ✓ Casos en los que se toma la decisión de dejar que las fallas ocurran.

Pregunta No. 7: En relación a este interrogante se debe pensar en el rediseño del equipo o en su plan de mantenimiento a falla, siempre y cuando se tenga en cuenta las consecuencias de falla y la relación costo beneficio.

3.2.4 Equipo de trabajo. La conformación de un equipo de trabajo es fundamental para el desarrollo adecuado de un estudio RCM. A continuación se relaciona el equipo mínimo o básico para dicho estudio.

Facilitador: Su función primaria es ayudar a la aplicación de la metodología RCM, efectuando talleres o preguntas al equipo de personas que han sido seleccionadas por su conocimiento del activo o un proceso específico, a efectos de asegurar que el grupo tenga consenso en las respuestas y registrando las mismas. La habilidad del facilitador influye en gran parte en la calidad final del análisis.

Especialista de operaciones o producción: Su función principal es participar en la definición de las funciones operacionales y de proceso de la planta; presentar al equipo de trabajo la función básica de la planta y de sus equipos; suministrar los manuales de operación de la planta; socializar al equipo posibles fallas o perturbaciones en el proceso o la planta.

Especialistas de planeación y programación: Son responsables de: recopilar la información de los costos de mantenimiento; analizar la metodología expuesta por el facilitador, con énfasis en la planeación y control de las tareas de mantenimiento; brindar la información básica de análisis (Horas hombre, costos, materiales) así como de las inspecciones de rutina y monitoreos; controlar el listado de acciones y fallas funcionales de cada equipo.

Especialistas de confiabilidad, técnicos electricistas, mecánicos, instrumentistas: El grupo confiabilidad está encargado de abordar los temas de modos de falla, tiempo medio de falla, fallas recurrentes y las diversas tareas para los equipos de mantenimiento; deben explicar o diagnosticar los mecanismos de falla que ocurren en los equipos.

Representante del área de Ingeniería: Revisar y/o presentar alternativas de diseño en donde se requiere hacer un rediseño.

3.2.5 Beneficios del RCM. La metodología provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir sistemáticamente que tarea es técnicamente viable o posible en cualquier situación. Otro beneficio importante del RCM radica la priorización de las tareas realizada durante el desarrollo de la metodología, porque esto ayuda a definir y aplicar las tareas que son técnica y económicamente factibles.

A continuación se resume en lo que se logra de un RCM según el libro RCM II de John Moubrey¹³:

- ✓ Mayor seguridad e integridad ambiental. Considera las implicaciones ambientales y de seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en la operación. Al incorporar la seguridad y medio ambiente en 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 la importancia de los diferentes tipos de mantenimiento y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta forma, se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico.

¹³ MOUBRAY. Op. Cit., p. 19.

- ✓ Mayor costo-eficacia del mantenimiento. RCM centra su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desarrollo de la planta, por lo cual ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener mejores resultados.
- ✓ Mayor vida útil de componentes costosos. Debido al cuidado énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.
- ✓ Mayor motivación del personal. Especialmente en las personas relacionadas con el proceso de revisión, lo anterior lleva a un mejor entendimiento general del activo en su contexto operacional junto con un sentido de pertenencia.
- ✓ Mejor trabajo en equipo. RCM provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga relación con el mantenimiento ofreciendo un mayor entendimiento en lo que el mantenimiento puede y no puede lograr y que debe hacerse para lograrlo.

3.3 ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD

FMECA es un proceso combinado de Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA) y Análisis de Criticidad (CA), el cual se aplica para identificar, examinar y clasificar por orden de importancia las funciones de un sistema o equipo, sus fallas funcionales, modos de falla y efectos. En otras palabras, el FMEA analiza todos modos de falla y sus efectos en el sistema, mientras que el CA clasifica y prioriza el efecto más grave de un modo de falla de acuerdo al nivel de severidad. El proceso de clasificación de la CA se puede lograr mediante la utilización de datos de fallas existentes o por un procedimiento de clasificación subjetiva, realizada por un equipo de personas con una comprensión del sistema¹⁴.

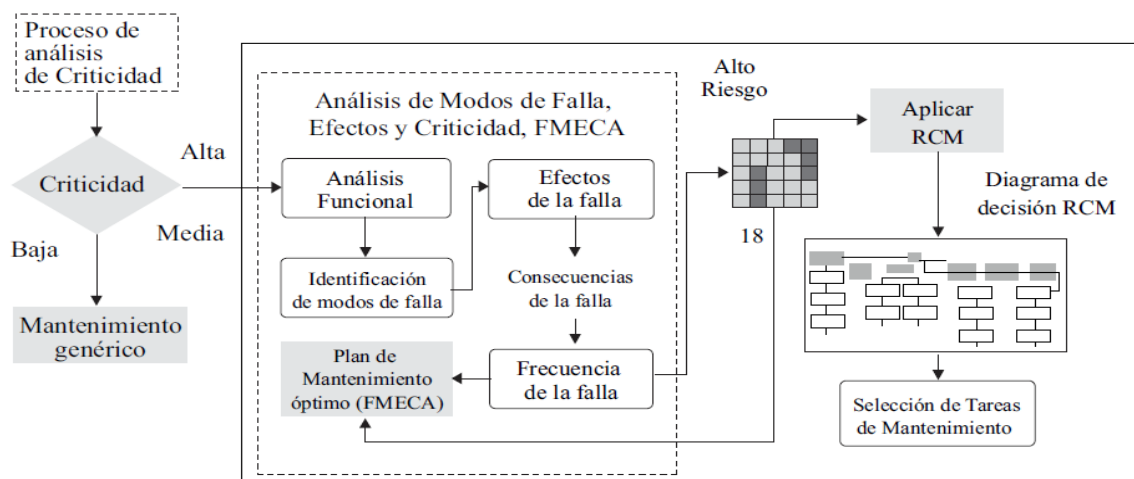
La herramienta FMECA es acogida por la metodología RCM (Ver figura página siguiente) con el fin de asegurar la identificación de TODOS los modos de falla

¹⁴ Headquarters, Department of the Army. Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities, 29 September 2006. TM 5-698-4.

potenciales y reales de los equipos objeto del estudio. Las primeras cinco preguntas básicas del análisis RCM pueden ser resueltas con este proceso.

El tiempo para elaborar un FMECA totalmente nuevo puede ser muy extenso, sin embargo, este puede reducirse teniendo en cuenta los análisis anteriormente realizados. En otras palabras, una vez construido un FMECA para un componente o sistema este se puede utilizar, particularizar y mejorar^(*) en un nuevo proceso con características similares, lo cual constituye un esfuerzo en tiempo y recursos mucho menor que hacer el análisis desde de cero.

Figura 14. Proceso RCM aplicando el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA).



Fuente: AGUILAR Jose R., TORRES Rocío y MAGAÑA Diana. Failure mode and effects and criticality analysis (FMECA) for maintenance planning using risk and safety criteria. En: Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ). 2010. vol. 25 No. 1, p. 15-26.

3.3.1 Objetivos y requerimientos de información de la metodología FMECA.

El objetivo general de FMECA es identificar, priorizar y mitigar los riesgos

^(*) Cuando se construye un FMECA en base a una versión anterior, se debe asegurar que los componentes o sistemas repetidos presentan en efecto las mismas características de diseño y operación. Cuando se presentan nuevas condiciones operacionales y ambientales se requiere revisar crear un nuevo FMECA desde cero.

potenciales¹⁵ asociados a los efectos de las fallas y sus consecuencias. Los objetivos específicos del proceso FMECA son:

- ✓ Reconocer y evaluar los Modos de Fallas Potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, Operación y Mantenimiento de un equipo, a partir de los Componentes (ítem mantenibles para la norma ISO 14224)¹⁶.
- ✓ Determinar la severidad de los efectos de cada Falla Potencial en el desempeño del Sistema.
- ✓ Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la Falla Potencial.
- ✓ Proporcionar una base para el análisis cuantitativo de Disponibilidad y Confiabilidad¹⁷.
- ✓ Documentar el proceso.

Las entradas requeridas antes de iniciar el proceso FMECA según la norma SAE J1739 son: Lecciones aprendidas, Condiciones de garantía, Requerimientos de ingeniería, Mejores prácticas, lista de materiales, Diagramas de bloque y definición límites del sistema a ser analizado. Sin embargo, la norma ISO 14224 contempla una matriz de información más detallada, la cual se puede resumir en: Árbol de equipos, manuales de operación y mantenimiento de equipos, Manual de operación de la estación, Dossier de la planta, Planes de mantenimiento ejecutados, Tiempos de las tareas de mantenimiento, etc.

¹⁵ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Processes FMEA). SAE 1739. January 2009. p.5.

¹⁶ <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffelISO14224.pdf>

¹⁷ GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.p.81.

3.3.2 Proceso FMECA. El proceso FMECA es completado en tres distintas fases¹⁸, dentro de las cuales se abordan las primeras cinco preguntas del proceso RCM.

Fase I. Identificar funciones primarias y secundarias: El análisis inicia con la identificación de las funciones deseadas para los equipos^(*), las cuales se clasifican en funciones primarias, funciones secundarias, funciones comunes en dispositivos de protección, contexto operacional y estándares de funcionamiento. Con ocasión a lo anterior, una forma fácil de identificar una función es mediante el método Verbo + Sujeto por ejemplo: (Cerrar Flujo, contener fluido, transmitir señal, comprimir aire, bombear agua)+características técnicas y operativas de la función.

Fase II. Fallas Funcionales, Modos de Falla y efectos: El equipo de analistas en cada una de las funciones descritas en la fase 1, debe describir las fallas funcionales, modos de falla y los efectos de las fallas. Este último exige tener un nivel detalle tan alto como sea posible.

Una vez identificadas las funciones del equipo analizado, se procede a resolver la segunda pregunta RCM asociada a las fallas funcionales^(*). Aquí se busca identificar todos los estados indeseables de un sistema o la inhabilidad de un activo para cumplir un estándar de funcionamiento deseado por un usuario.

Las fallas funcionales se pueden clasificar¹⁹ en: Pérdida total de la función, pérdida parcial de la función o un funcionamiento erróneo; Por su parte las fallas se

¹⁸ Ministry of Defence. Requirements For The Application Of Reliability-Centred Maintenance Techniques To Hm Ships, Submarines, Royal Fleet Auxiliaries And Other Naval Auxiliary Vessels. DEFENCE STANDARD 02-45: July 2000. p. 9.1

^(*) Primera pregunta RCM: ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?

^(*) ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?

¹⁹ ORTUZ RUIZ CONSULTORES SAS. 06. Funciones [Diapositivas]. Bucaramanga, 2012. 18 Diapositivas.

clasifican en: Total; Parcial; Permanente; Intermitente; Precoces; Aleatorias; Cronodependientes; Abruptas; Evolutivas; Catastróficas; De degradación; Por desgaste y Por uso inadecuado.

Posterior al reconocimiento de las fallas funcionales, se deben determinar los posibles modos de falla^(**) y las causas por las cuales un equipo puede llegar a un estado de falla^(***). Como existen variedades de modos de fallas, es necesario estandarizarlos para delimitar el alcance del análisis FMECA a un nivel de detalle razonable; para ello, este documento basa la definición y clasificación de los modos de falla de acuerdo al estándar ISO 14224 (Ver figura siguiente).

Figura 15. Estandarización de modos de falla según norma ISO 14224.

Equipment class ^a								Failure modes			
Combustion engine	Compressor	Electric generator	Electric motor	Gas turbine	Pump	Steam turbine	Turbo expander	Description	Examples	Code ^b	Type ^c
X	X	X	X	X	X	X	X	Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)
X	X	X	X	X	X	X	X	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Other	Failure modes not covered above	OTH	—
X	X	X	X	X	X	X	X	Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	—

^a See Table A.4. The codes shown apply to equipment classes marked with "X".

^b A proposed abbreviated code for the failure-mode.

^c One of the three failure-mode types listed below; depending on type of failure, more than one of these categories can apply (e.g. a severe leakage can lead to stoppage of the equipment):

- 1) desired function is not obtained (e.g. failure to start);
- 2) specified function lost or outside accepted operational limits (e.g. spurious stop, high output);
- 3) failure indication is observed, but there is no immediate and critical impact on equipment-unit function. These are typically non-critical failures related to some degradation or incipient fault condition.

Fuente: BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BSI ISO 14224:2006. London: 2006. p. 122.

El modo de falla según la ISO 14224, se entiende como el efecto (desde el punto de vista operacional) por el cual se observa una falla en el componente fallado. Igualmente, la norma define las causas de las fallas, las cuales se pueden

(**) Tercera pregunta RCM ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
 (***) En este escalón del proceso deben ser identificados todos los modos de falla asociados a cada falla funcional listada en el paso anterior.

observar en la figura 6 (Ver página siguiente). Sin embargo, es muy importante identificar y describir la causa-raíz de la falla, ya que esto ayuda a generar decisiones precisas de las acciones de mantenimiento a realizar. Al final de este punto, se debe obtener por cada falla funcional un modo de falla estandarizado por la ISO 14224, más una lista de las posibles causas que lo generaron; lo que significa que por cada función que desempeñe un equipo se pueden tener varios causas de falla.

Al responder la cuarta pregunta^(*) del RCM se concluye la segunda etapa del proceso FMECA. Aquí cabe resaltar que para cada modo de falla se debe indicar los efectos asociados a la falla. El efecto de falla es una breve descripción de qué pasa cuando la falla ocurre y debe describir claramente cuál es la importancia que tendrá la falla en caso de producirse.

Los efectos de las fallas nos permiten analizar la importancia de las fallas, analizar qué ocurre si se da el modo de falla, encontrar los modos de falla críticos y nos ayuda a evaluar sus consecuencias^(**). Todo esto ligado a la fase III de la metodología, el análisis de Criticidad

^(*) ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

^(**) Quinta pregunta RCM ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?, Esta pregunta es respondida durante el desarrollo del análisis de criticidad de los modos de falla.

Figura 16. Ejemplo de estandarización de las fuentes fundamentales de fallas según norma ISO 14224.

Code number	Notation	Subdivision code number	Subdivision of the failure cause	Description of the failure cause
1	Design-related causes	1.0	General	Inadequate equipment design or configuration (shape, size, technology, configuration, operability, maintainability, etc.), but no further details known
		1.1	Improper capacity	Inadequate dimensioning/capacity
		1.2	Improper material	Improper material selection
2	Fabrication/ installation-related causes	2.0	General	Failure related to fabrication or installation, but no further details known
		2.1	Fabrication error	Manufacturing or processing failure
		2.2	Installation error	Installation or assembly failure (assembly after maintenance not included)
3	Failure related to operation/ maintenance	3.0	General	Failure related to operation/use or maintenance of the equipment but no further details known
		3.1	Off-design service	Off-design or unintended service conditions, e.g. compressor operation outside envelope, pressure above specification, etc.
		3.2	Operating error	Mistake, misuse, negligence, oversights, etc. during operation
		3.3	Maintenance error	Mistake, errors, negligence, oversights, etc. during maintenance
		3.4	Expected wear and tear	Failure caused by wear and tear resulting from normal operation of the equipment unit
4	Failure related to management	4.0	General	Failure related to management issues, but no further details known
		4.1	Documentation error	Failure related to procedures, specifications, drawings, reporting, etc.
		4.2	Management error	Failure related to planning, organization, quality assurance, etc.
5	Miscellaneous ^a	5.0	Miscellaneous - general	Causes that do not fall into one of the categories listed above
		5.1	No cause found	Failure investigated but no specific cause found
		5.2	Common cause	Common cause/mode
		5.3	Combined causes	Several causes are acting simultaneously. If one cause is predominant, this cause should be highlighted.
		5.4	Other	None of the above codes applies. Specify cause as free text.
		5.5	Unknown	No information available related to the failure cause

^a The data acquirer should judge which is the most important cause if more than one exist, and try to avoid the 5.4 and 5.5 codes.

Fuente: BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BSI ISO 14224:2006. London: 2006. p. 117.

Fase III: Análisis de Criticidad: Como ya se expuso anteriormente, el objetivo del análisis de criticidad es clasificar y priorizar los efectos de cada modo de falla identificado en el FMEA, esto se realiza teniendo en cuenta la severidad de la consecuencia de la falla junto con la probabilidad de ocurrencia. Aunque existen muchas definiciones y medidas de criticidad, todas asumen los mismos conceptos: Impacto y/o importancia de los efectos de los modos de falla que demandan ser estudiados y mitigados.

Uno de los métodos de determinación de la criticidad es el número de prioridad de riesgo, RPN. El riesgo se evalúa aquí por una medida subjetiva de la gravedad del efecto (Severidad) del modo de falla y una estimación de la probabilidad esperada de que se produzca dicho efecto durante un período de tiempo (Ocurrencia). La severidad y ocurrencia son números adimensionales.

$$\text{Riesgo} = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia}.$$

Algunas aplicaciones FMECA distinguen, además de la severidad y ocurrencia, el nivel la probabilidad de detección de fallos a nivel de sistema²⁰. Esta categoría adicional sirve para calcular un Número de Prioridad de Riesgo, RPN:

$$\text{RPN} = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}.$$

Por otra parte, la valoración de criticidad también se puede realizar por medio de una matriz (ver figura página siguiente) bajo una calificación subjetiva, la cual es efectuada por un equipo de personas con una alta comprensión del sistema. Cabe señalar que no existe una definición universal de matriz de criticidad, pero donde se utilice, necesita ser definida por el analista y aceptado por la dirección del proyecto o programa.

²⁰ BRITISH STANDARD. Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). BS EN 60812:2006. London: 2006. p. 20.

Figura 17. Matriz de Criticidad.

Likelihood – probability of occurrence	5 (A)				High risk
	4 (B)		Failure mode 1		
	3 (C)				
	2 (D)			Failure mode 2	
	1 (E)	Low risk			
		I	II	III	IV
		Severity			

Fuente: BRITISH STANDARD. Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). BS EN 60812:2006. London: 2006. p. 23.

En la figura 6, la severidad (eje X) y la probabilidad de ocurrencia (eje Y) aumentan en el mismo orden de los números, donde el número IV tiene la severidad más alta (la pérdida de vidas humanas y / o de la misión / operación, lesión).

Es importante mencionar, que en la metodología a desarrollar se realizará la evaluación de criticidad de equipos y efectos de modos de falla por medio de la matriz de criticidad, lo cual permite minimizar la robustez implícita de un proceso FMECA y RCM.

4 MARCO CONCEPTUAL

4.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

HAZOP: Análisis de amenazas operacionales, es un método de análisis de riesgos. El cual busca identificar riesgos, consecuencias y causas.

Es una herramienta analítica, cualitativa y sistemática, empleada para realizar identificaciones y evaluaciones de amenazas en instalaciones de proceso. El desarrollo del análisis HAZOP implica la aplicación de palabras guía (ej.: no, mas, menos, etc.) a los parámetros o condiciones de operación (ej.: presión, flujo, etc.) del sistema bajo estudio para simular desviaciones (ej.: no flujo, mas nivel, etc.) respecto a la intención de diseño u operación del elemento analizado, de tal manera que se puedan encontrar las respuestas a las desviaciones y dirimir el estudio hacia las recomendaciones. Estas desviaciones se aplican a elementos o conjuntos de elementos específicos previamente identificados del sistema denominados Nodos.²¹

Equipo críticos: Los equipos críticos son aquellos que durante su falla ocasionan pérdidas económicas, deterioro ambiental, riesgos a la seguridad física, obstáculo al proceso, cada equipo crítico es caracterizado de acuerdo al tipo de industria donde se encuentra ubicado.

Matriz causa efecto: Busca establecer los diferentes efectos generados por algún motivo o causa, estos efectos representan factores de riesgo a nivel operacional.

Matriz RAM: Es una matriz donde se valoran los riesgos. Para poder determinar los diferentes valores de riesgo se analizan las consecuencias: en personas, medio ambiente, producción y operación con la probabilidad de que ocurran.

²¹ GONZALEZ, Maritza. Análisis de riesgo y operatividad Hazop para arranque en condiciones manuales sin instrumentación de control para la estación de compresión gas natural de Puente Guillermo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2012. p 29

La matriz RAM se encarga de dar un valor a cada riesgo, con el fin de identificar las consecuencias y la probabilidad de que ocurra. Entre más crítica sea la consecuencia y mayor la probabilidad de que ocurra, el valor que recibe dentro de la matriz RAM será de mayor impacto o mayor riesgo.

La Matriz RAM se utiliza tanto en mantenimiento como en diferentes áreas: HSE, Gestión social, seguridad física, Diseño, Planeación, construcción, puesta en marcha, producción y procesos administrativos.

A continuación se muestra la tabla de la matriz RAM según la norma 14224.

Tabla 1. Matriz RAM.

CONSECUENCIA	CATEGORIA			
	CATASTROFICO	SEVERO	MODERADO	MENOR
	Falla en las que el resultado sea la muerte o pérdida del sistema	Lesiones graves, enfermedades o daños en el sistema central (e.g.<usd1.000.000)	Lesiones menores enfermedades o daños en el sistema (e.g.<usd250.000)	Daños menores en lesiones o sistemas (e.g.<usd50000)
SEGURIDAD	I -Pérdida de vidas. -Seguridad vital crítica y sistemas inoperables	V -Lesiones serias al personal. -Perdida potencial de funciones de seguridad.	IX -Lesiones que requieren tratamiento medico -Efecto limitado de funciones de seguridad.	XIII -Lesiones que no requieren tratamiento médico. -Efectos menores en las funciones de seguridad.
MEDIO AMBIENTE	II Contaminación importante	VI -Contaminación significativa.	X. Poca contaminación	XIV -Ninguna o muy poca contaminación.
PRODUCCION	III Parada extensiva en producción/operación	VII Parada de producción por encima de los límites aceptables	XI Parada de producción por debajo de los límites aceptables.	XV Menor parada de producción.
OPERACION	IV Altos costos de mantenimiento.	VIII. Costos de mantenimiento por encima de lo normalmente aceptable	XII Costos de mantenimiento por debajo de lo normalmente aceptable.	XVI. Bajos costos de mantenimiento.

Fuente: BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BSI ISO 14224:2006. London: 2006. p. 134.

Tabla 2. Matriz RAM ECOPETROL

A	B	C	D	PROBABILIDAD DE FALLA							
				Todos los días	Entre 1 semana y 1 mes	Entre 1 y 3 meses	Entre 3 y 6 meses	Entre 6 meses y 1 año	Entre 1 y 3 años	> 3 años	
Fatalidad	Fuga extensa (>100BL)	>50.000US	>10% Prod. Diaria	3	3	3	3	2	2	1	A
Incapacidad parcial o total	Fuga Mayor(10-100BL)	25.001 A50.000US	7-10% Prod. Diaria	3	3	3	2	2	1	1	B
Accidente con tiempo perdido	Fuga Localizada(1 -10BL)	10.001 a 25.000US	3-7% Prod. Diaria	3	3	2	2	1	1	1	C
Tratamiento Medico	Fuga Menor (0,1 -1BL)	1001 a 10.000US	1-3 % Prod. Diaria	3	2	2	1	1	1	1	D
Primeros auxilios	Fuga Leve (<0,1 BL)	<2000 US	<1% Prod. Diaria	2	2	1	1	1	1	1	E
VALORACION DE CRITICIDAD											
Rojo		Alto. Prioridad alta									
Amarillo		Medio. Prioridad media									
Verde		Bajo. Prioridad baja									

Fuente: ALVARADO, Erim Aníbal y MORA, Juan. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos críticos utilizados en las operaciones de transferencia de hidrocarburos de los terminales de Ecopetrol s.a. ubicados en Cartagena. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012. p 67

4.2 TÉCNICAS DE CONFIABILIDAD

4.2.1 Sostenibilidad del Sistema informatizado de gestión del mantenimiento (CMMS). CMMS es un software encargado de programar las diferentes actividades de mantenimiento. Este contiene información valiosa para el área de mantenimiento de los diferentes equipos de la planta. “Dentro de los módulos del software se encuentran: Órdenes de trabajo, Mantenimiento preventivo, Gestión de activos, Recursos Humanos, Control de Inventarios, Seguridad.

Funciones del software: Salvaguarda y gestiona toda la información relacionada con el mantenimiento; Planificación y control del mantenimiento; Suministro de información procesada y tabulada”²².

Sostenibilidad CMMS es un área encargada de la Selección, implementación, puesta en servicio de sistemas computarizados de gestión de mantenimiento.

4.2.2 Análisis Causa Raíz (RCA). El análisis causa raíz busca identificar donde se encuentran las fallas y causas desconocidas las cuales afectan el desempeño de un sistema o maquina analizarlas y plantear una solución definitiva, esto con el fin de garantizar un correcto funcionamiento y prever las fallas futuras tomando acciones que sean necesarias.

²² Consultado el 30 de junio de 2013.

http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento_asistido_por_computadora

4.2.3 Mantenimiento Basado en Condición (CBM). Mantenimiento basado en la condición, este se encarga de monitorear condiciones de operación de los equipos, con el fin de identificar cual es el momento más pertinente para realizar las actividades de mantenimiento.

El CBM debe contar con la mayor cantidad de información de la operación de los diferentes componentes de un equipo; con el ánimo identificar las posibles fallas que puedan generar una parada no programada.

A continuación, se indican algunos análisis empleados en la industria para determinar la condición de un equipo, ya sea mecánico u eléctrico:

Cuadro 3. Técnicas de análisis de condición típicas.

MECANICO	ELECTRICO
Análisis de vibraciones Reciprocante AVR	Calidad de Energía (CE)
Vibración en FFT (FFT)	EMAX
Inspección Visual (IV)	MCE
Análisis de agua(AAG)	Termografía (T)
Análisis de aceite (AAC)	Telurometría (TL)
Temperatura de rodamientos (TR)	Análisis aceite dieléctrico (AAD)
Análisis de datos operacionales (ADO)	
Flujometría de calor (FC)	
Eficiencia (EF)	
Alineación (AL)	

Fuente: Autores.

5 MARCO NORMATIVO

5.1 NORMA SAE JA1011

La norma SAE JA1011 es usada para evaluar cualquier proceso que pretende ser un proceso de RCM. No es un manual ni una guía de procedimientos, en palabras sencillas se puede decir que esta norma establece los criterios para que una metodología pueda ser llamada RCM.

A continuación se muestra a forma de ejemplo algunos de los lineamientos requeridos por la normativa²³:

1. Cualquier proceso de RCM asegurará que todas las siete preguntas básicas se contestan satisfactoriamente en la secuencia mostrada como sigue:

¿Las funciones y requerimientos operacionales del activo en su contexto actual (las funciones)?

¿De qué maneras puede fallar para cumplir sus funciones (los fallos funcionales)?

¿Lo que causa cada falla funcional (los modos de falla)?

¿Lo que pasa cuándo cada falla ocurre (los efectos de falla)?

¿De qué manera cada falla está (las consecuencias de falla)?

²³ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING. Op. Cit. p10.

¿Lo que debe hacerse predecir o prevenir cada falla (las tareas del proactivo e intervalos de la tarea)?

¿Lo que debe hacerse si una tarea proactiva conveniente no puede encontrarse (las acciones predefinidas)?

2. Todos los modos de falla razonablemente probables de causar cada falla funcional deben ser identificados.
3. El método usado para decidir que constituye un modo de falla “razonablemente probable” debe ser aceptable para el dueño o usuario del activo.
4. Los modos de falla deben ser identificados hasta un nivel de causalidad (N.T.: nivel de detalle) que haga posible identificar una política de manejo de falla apropiada.
5. Las listas de modos de falla deben incluir: modos de falla que han ocurrido antes, modos de falla que estén actualmente siendo prevenidos por programas de mantenimiento existentes y modos de falla que no hayan ocurrido aún pero se piense sean razonablemente probables (creíbles) en el contexto operacional.
6. La lista de modos de falla debe incluir cualquier evento o proceso que sea probable que cause una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y error humano causado por operarios o mantenedores (a menos que los errores humanos sean activamente señalados por procesos analíticos separados del RCM).”

5.2 NORMA SAE JA1012

En enero de 2012 se publicó la norma SAE JA1012 con el fin de ampliar y aclarar cada uno de los criterios fundamentales que figuran en la norma SAE JA1011 ("Criterios de Evaluación de Procesos RCM"), y resume los temas adicionales que se deben abordar para aplicar RCM con éxito.

5.3 NORMA ISO 14224

Esta norma internacional tiene como objetivo principal la estandarización de las prácticas de recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

1. Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:
 - ✓ Diseño y configuración del Sistema.
 - ✓ Seguridad, Confiabilidad y Disponibilidad de los Sistemas y Plantas.
 - ✓ Herramientas de confiabilidad²⁴: LCC, RCM, QRA, RBI, SIL, ESIA, PA, AA, SPA, FME, SDA, STR, MRP, 6 Σ , FTA, MPA, PNA.
 - ✓ Planeamiento, optimización y ejecución del Mantenimiento.

²⁴ BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BSI ISO 14224. London: 2006. p. 149.

2. Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- ✓ Permitir el intercambio de datos entre Plantas.
- ✓ Asegurar que los datos sean de calidad suficiente, para el análisis que se pretende realizar.

5.4 NORMA SAE J1739

La norma SAE J1739 soporta el diseño y elaboración de un FMEA descrito como un grupo sistematizado de actividades destinadas a:

1. Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto / proceso y su efecto.
2. Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que un fracaso se produzca.
3. Documentar el proceso es complementario al proceso de definición de lo que es un diseño o proceso debe hacer para satisfacer al cliente.

5.5 NORMA BS EN 60812

Esta norma internacional describe el proceso de análisis de modos de falla y efectos FMEA, junto con el análisis de modos de falla, efectos y criticidad FMECA. Además define los principios básicos de las metodologías y da ejemplos de las hojas de trabajo.

Según esta norma el proceso FMEA consta de las siguientes etapas principales:

1. Preparación y planeación: Establecimiento de las normas básicas para el FMEA, la planificación y programación para asegurar que el tiempo y la experiencia están disponibles para hacer el análisis.
2. Elaboración del FMEA utilizando la hoja de cálculo adecuado o de otros medios, como diagramas lógicos o árboles de falla.
3. Entrega y Validación: Resumen y presentación de informes del análisis para incluir las conclusiones y recomendaciones formuladas.
4. Actualizar el FMEA como la actividad que avanza el desarrollo.

6 METODOLOGÍA PARA EL SERVICIO DE CONSULTORÍA EN EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS

La metodología que se expone a continuación se delimita al control de las fallas físicas que puedan afectar el desempeño de los activos de los clientes, no busca el control de fallas humanas o derivadas de falencias en la definición o ejecución de los procedimientos de intervención. Además, será aplicable a los activos calificados como críticos, salvo equipos estáticos gestionados mediante análisis de integridad mecánica (tanques, oleoductos) y equipos que tienen planes de mantenimiento normativo y/o estándar tales como: medición, contra incendio, sistemas de alivio, sistemas de contingencia y aquellos que estén en periodo de garantía.

Figura 18. Diagrama de flujo Global de la metodología.



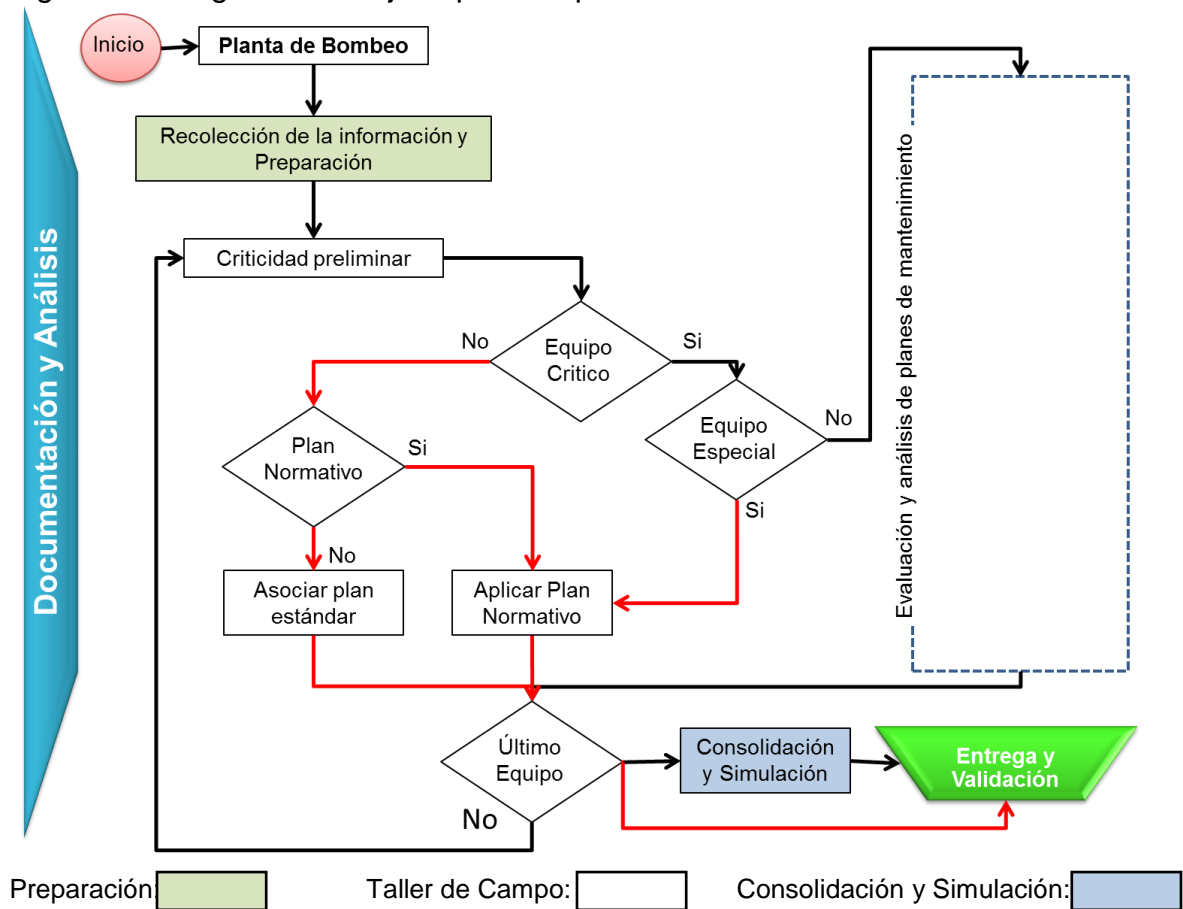
Fuente: Autores.

Como lo muestra la figura anterior, la metodología se desarrolla con tres grandes procesos que se refieren a: documentación y análisis; validación y aprobación; y finalmente implementación.

6.1 DIAGRAMA DE FLUJO ESPECÍFICO

La definición detallada de la metodología se lleva a cabo siguiendo los pasos fundamentales reflejados en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 19. Diagrama de flujo específico parte 1 de 2



FUENTE: Autores.

En la figura anterior se puede observar las tres fases contempladas en el proceso de Documentación y Análisis consistentes con: preparación, taller en campo, consolidación y simulación.

- ✓ Preparación: consiste en el proceso de recolección de la información requerida para realizar el análisis, en la planeación y logística previa al desarrollo del taller de campo.

- ✓ Taller de campo: Las actividades principales desarrolladas en esta fase son: presentación de la agenda de trabajo, objetivo y alcance del análisis; entrega de la matriz de criticidad (Anexo 1), la plantilla de trabajo (Anexo 2) y el material de soporte (Anexo 3) al equipo de trabajo; exposición de los procesos y equipos de la planta por parte de operaciones; clasificación de los equipos y componentes de acuerdo a su criticidad y su condición de “equipo especial”; análisis y evaluación de planes de mantenimiento^(*) sobre aquellos equipos que califiquen como equipos críticos y no especiales, para los restantes se aplicaran planes de mantenimiento estándar y/o normativo.

Cabe señalar que solamente los equipos críticos y no especiales pasarán a la fase de simulación y consolidación, el resto irán directamente al proceso de entrega y validación previa asignación de tareas de mantenimiento normativos y estándar.

- ✓ Consolidación y Simulación: Consisten en validar y procesar los datos registrados en la plantilla de trabajo con el lenguaje permitido por un software de simulación. Aquí se busca evaluar las tareas de mantenimiento propuestas en el taller de campo, a efectos de determinar las tareas se deben hacer.

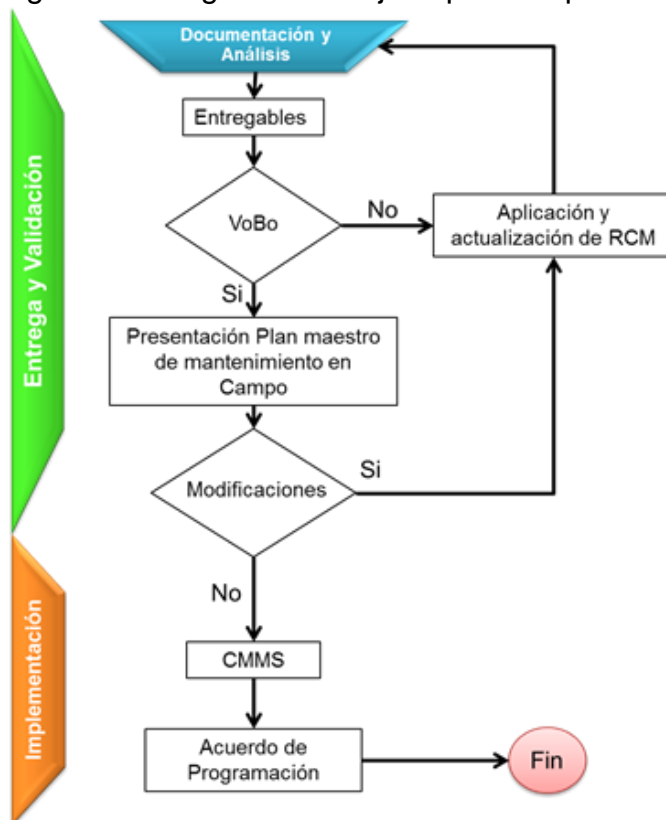
^(*) El detalle del proceso a desarrollar en “análisis y evaluación de planes de mantenimiento” de la figura 19, será expuesto en el punto 6 de la sección 6.2.2.

Las dos últimos procesos de la metodología (entrega-validación e implementación) se pueden observar en la figura siguiente.

En el proceso de Entrega-Validación se realiza una presentación formal en Campo del plan de mantenimiento que se recomienda implementar según el análisis realizado durante la fase de simulación; en caso que existan observaciones y comentarios por parte del cliente respecto al plan de mantenimiento propuesto, estos se deben ser evaluados en la fase de consolidación y simulación.

La última etapa (implementación), consiste en el cargue y programación del plan de mantenimiento aprobado en el CMMS utilizado por el Cliente.

Figura 20. Diagrama de flujo específico parte 2 de 2



Fuente: Autores.

6.2 DETALLE DEL PROCESO DE ANALISIS Y DOCUMENTACION

Como se pudo apreciar en el diagrama de flujo expuesto en la sección anterior, la primera etapa de la metodología está dividida en tres fases principales, las cuales serán definidas a continuación.

6.2.1 Preparación. La fase de preparación juega un papel muy importante en el correcto desarrollo del proceso de análisis y documentación, toda vez que es el momento en donde se recopila la información y se define el plan a seguir con cada uno de los equipos y componentes objetos del análisis en cuestión. Esta fase se define con el siguiente procedimiento.

1. Preparar y leer la información recopilada de la estación: A partir de la información suministrada por el cliente junto con el soporte de otras áreas de Wood Group PSN se tiene como objetivo entender la función, estándares y objetivos globales de la estación, a efectos entender el contexto operacional tanto de los equipos que están funcionando como los equipos de respaldo.

Adicionalmente, se identifica cuál es la infraestructura de la planta, contemplando la cantidad de tanques, equipos y componentes, productos manejados, flujos de entrada y salida; el propósito es lograr un entendimiento global y específico de la planta, para asegurar un criterio objetivo al momento de juzgar las tareas de mantenimiento implementadas en la planta según su condición operacional. Los documentos requeridos en este punto del proceso están definidos en la tabla 3:

Tabla 3. Documentos requeridos en la fase de preparación y su utilidad.

Información Requerida	Prioridad	Asociado a:	Información contenida NORMA ISO 14224	Descripción de Utilidad
Árbol de equipos con sus componentes	ALTA	Mtto	Locación, Clasificación, Características de diseño, Datos de instalación, Datos de fabricación.	Proporcionado por El grupo gestor (Cliente). Es útil al momento de comprender el estado actual de la planta y su jerarquía (Unidades productivas, Sistemas, Subsistemas, equipos, componentes)
Diagramas de flujo del proceso	ALTA	Producción	P&ID	Proporcionados por el cliente, ayudan a entender cómo es el proceso operativo y sus características principales.
Manual de operación de la planta	ALTA	Producción	Modo de operación de cada equipo.	Este documento es proporcionado por el cliente. Su estudio ayuda a entender el funcionamiento a grandes rasgos de la planta y sus principales funciones a nivel macro. También contribuye a identificar la ubicación física de los equipos, flujos, productos en la planta.
Seguridad de procesos	ALTA	Mto	Tiempo de funcionamiento acumulado Periodo de vigilancia.	Mediante la interacción y apoyo con el área de seguridad de procesos se obtienen los P&ID, PFD, Lógicas narrativas disponibles con el fin de comparar lo aprendido en otras áreas con lo que suministrado por el grupo gestor (Cliente).
Listado de capacidades de producción por línea	MEDIA	Producción	Capacidad de producción.	Proporcionado por el grupo gestor (Cliente). Documento útil para entender las capacidades máximas de los equipos, revisar los históricos de despacho, datos de producción y almacenamiento.

Tarifas económicas asociadas a los procesos de la planta	ALTA	Producción	No necesaria según norma.	Sirve para conocer las tarifas de transporte por recibo y despacho, multas y costos adicionales asociados a la operación.
Planes de contingencia de los equipos principales	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Útil para entender que se debe hacer y cuál es la pérdida real cuando se presentan fallas en los equipos.
Planes estándares de mantenimiento	ALTA	Mto	Actividad de mantenimiento, Categoría del mantenimiento, Plazo de ejecución, Pieza de cambio, Herramientas de mantenimiento, Tasa y prioridad de las tareas de Mto.	Documentarse sobre los planes actuales de mantenimiento aprobados por la autoridad técnica de la planta.
Archivo de OT's:	MEDIA	Mto	Fecha de mantenimiento, Actividad de mantenimiento, Tiempo de inactividad, Tiempo de mantenimiento activo, Mantenimiento horas-hombre, por disciplina y horas-hombre, total. Pieza de cambio.	Archivo donde se puede conocer los históricos de falla, consumo de repuestos y recursos, descripción de falla en cada uno de los equipos y/o unidades principales.
Proyectos de reparación mayores	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Sirven para conocer las frecuencias de mantenimiento mayor y los hallazgos de encontrados durante el OverHaul de los equipos.

Informes CBM	ALTA	Mto	Equipo, Ítem mantenible, Mecanismo de falla, Causa falla, Método de detección, Dato de falla, Causa común del porcentaje de averías, Mecanismo de daños, Medidas recomendadas para eliminar la causa de la falla, Piezas de recambio, Probabilidad de falla en operación.	Mediante la interacción con el área de CBM se obtiene en apoyo en materia de técnicas predictivas aplicadas en los equipos con sus respectivas frecuencias, así como tarifas las tarifas relacionadas con la actividad.
Listado proveedores y servicios contratados	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Documento que permite conocer el nombre del contratista, en qué estado está el contrato y tipos de repuestos o servicios provee.
Listado de repuestos críticos de la planta	ALTA	Mto	Listado de piezas y catálogos.	Identificar los costos, parte número, si están catalogado en el CMMS de los equipos críticos y de contingencia
Manuales de equipos	ALTA	Mto	Listado de piezas Catálogos Condiciones de funcionamiento.	Documento de apoyo para entender los datos y aspectos técnicos descritos por el fabricante.
Análisis RCA´s	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Recurso de apoyo para entender fallas históricas entendiendo el motivo del análisis, planes de acción, resultados y sus conclusiones del estudio.
RCM anteriores	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Revisar documentación interna del área para entender modos de falla de cada familia de componentes en El grupo gestor (Cliente).

Lecciones aprendidas	BAJO	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Las modificaciones en los planes de mantenimiento de un equipo cuando se ha presentado una falla deben ser tenidas en cuenta con estos documentos.
Condiciones de garantía	BAJO	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministradas por el cliente y sirven de apoyo para mantener la condición de garantía de un equipo.
Requerimientos de ingeniería	ALTA	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministrados por el cliente.
Mejores prácticas	ALTA	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministrados por el cliente.

Mtto: Mantenimiento.

Fuente: Autores.

2. Identificar y Clasificar los activos en el árbol de equipos entre: equipos objeto de análisis, equipos especiales y equipos estáticos: Para poder realizar objetivamente este paso, se debe considerar lo siguiente en forma secuencial.

Tabla 4. Consideraciones para filtrar correctamente los activos objeto de análisis en el árbol de equipos.

Estudiar el proceso general de la estación, los sistemas y equipos que la conforman.
Clasificar los activos según los niveles jerárquicos dentro del árbol de equipos como Sistemas, Subsistemas, Equipos y Componentes.
Identificar los equipos definidos como críticos según los lineamientos de seguridad de procesos.
Identificar los equipos y componentes de las unidades principales.
Separar los activos del árbol que sean clasificados como equipos especiales y estáticos, según la siguiente descripción:

- ✓ Los componentes especiales hacen referencia a: válvulas de seguridad, puente grúas, herramientas, componentes de medición según los listados del grupo gestor (Cliente), componentes de soldadura, corte.
- ✓ Los equipos especiales hacen referencia a: sistema contra incendio, sistema de medición y herramientas programables. Son equipos que tienen definida una normatividad interna (definida por el cliente) o externa (definida por el sector industrial), que establecen planes de mantenimiento de obligatorio cumplimiento dentro de las plantas de bombeo. La definición de los equipos especiales se soportará con la respuesta a las siguientes preguntas: ¿El equipo está cobijado por planes de mantenimiento establecidos por normatividad externa que la planta cumpla? ¿El equipo está cobijado por planes de mantenimiento establecidos por normatividad interna (definida por el cliente) que la planta cumpla? ¿El equipo está cobijado por planes de mantenimiento establecidos por el fabricante, cuyo cumplimiento sea de carácter obligatorio para efectos de cubrimiento de garantía vigente?
- ✓ Los componentes estáticos son: tuberías, tanques, obras civiles, vías, edificios, casetas de celaduría

Fuente: Autores.

3. Precargar los equipos y componentes clasificados como no especiales y no estáticos en la plantilla Análisis de criticidad y plantilla Taller:

De acuerdo con la clasificación realizada en el punto anterior, se debe diligenciar las columnas de la plantilla análisis de criticidad relacionadas con: Unida productiva 1 con su descripción, Unidad Productiva 2 con su descripción y Equipo (Con el código CMMS del árbol de equipos del cliente) Ver Anexo 1.

Una vez identificados los equipos y componentes que harán parte del taller, estos se deben ordenar en la Plantilla Taller (Ver Anexo 2) según la siguiente priorización: Especialidad del componente (Mecánico, Eléctrico o Instrumentación), Familia de equipos de los componentes (Según CMMS del cliente) y Equipo padre.

4. Preparación logística para el taller: Por disposición administrativa de Wood Group PSN, previo al taller de campo se debe coordinar todo referente a la logística del viaje, para ello se debe tomar en cuenta los siguientes puntos.

Tabla 5. Logística administrativa previa al taller de campo.

Gestionar anticipos de los viáticos requeridos para el desarrollo del taller en campo.
Coordinar logística de transporte y estadía en la planta de bombeo con el área administrativa.
Diligenciar el formato de solicitud de seguridad para desplazamientos.
Coordinar con el cliente las fechas de inicio y fin, así como el responsable de la actividad a desarrollar en planta por parte del cliente.

Fuente: Autores.

5. Revisión por parte del líder de área: Para la revisión por parte del líder de área se debe tener en cuenta los siguientes puntos.

Tabla 6. Revisión de la preparación y análisis por parte del líder del área.

Revisión de cumplimiento de los pasos anteriores.
El líder del área repasará que se tenga toda la documentación.
Si llegase a haber una desviación el líder tomará acciones para corregirlas.
Esta revisión no debe tomar más de dos días.

Fuente: Autores.

6. Revisión y Retroalimentación por parte del cliente: Después de la revisión interna en Wood Group PSN, se hace la entrega formal al cliente del avance logrado en la fase de preparación. A demás de recibir comentarios y orientaciones del mismo, se debe elaborar un acta de reunión (según el formato que determinado por el cliente) donde se especifican los temas tratados y la documentación recopilada previa al taller de campo (Ver tabla 3).

6.2.2 Taller en Campo. La etapa de taller contempla el levantamiento de información de mantenimiento y contexto operacional directamente con los actores del proceso, la información analizada en la etapa de preparación es muy importante para el entendimiento y dinamismo del taller, evitando retrasos e inconvenientes que se puedan presentar relacionados con el entendimiento de las funciones y requerimientos de la planta. El taller se debe desarrollar cumpliendo cada uno de los siguientes pasos.

1. Presentar de agenda de trabajo: Se expone el cronograma estándar de trabajo^(*) (Ver tabla 7); normalmente dicho cronograma debe atender a la siguiente planeación de tiempos:

- ✓ Día 1: Realizar la introducción^(**) del taller al equipo de trabajo, con el principal objetivo de explicar los temas a tratar durante toda la metodología.
- ✓ Día 2 y 3: Definición de las criticidades de los equipos y componentes.
- ✓ Día 4 y 5: Realizar la evaluación y análisis de planes de mantenimiento de los equipos y componentes calificados como críticos y no especiales.

^(*) El cronograma varía dependiendo de la cantidad de equipos y componentes a analizar en la planta de bombeo.

^(**) La introducción comprende: Presentación de la agenda de trabajo, objetivo y alcance del análisis; entrega de la matriz de criticidad (Anexo 1), la plantilla de trabajo (Anexo 2) y el material de soporte (Anexo 3) al equipo participante.

- ✓ Días 6 al 15: Desarrollar la consolidación y simulación en las oficinas de Wood Group

Tabla 7. Cronograma estándar para la realización del taller.

Disponibilidad 100 % del personal según cronograma		PLANTA										OFICINAS WOOD GROUP BOGOTA													
FECHA		L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	
ACTIVIDAD	RECURSO																								
Introducción	* Equipo facilitador (wgpsn)																								
	* Profesional de aseguramiento confiabilidad	X																							
Críticidad del equipo	* Coordinador de planta																								
	* Operador de planta nivel D7 o superior																								
	* Técnicos o profesionales de cada especialidad																								
			X	X																					
FMECA	* Equipo facilitador (wgpsn)																								
	* Profesional de aseguramiento confiabilidad																								
	* Operador de planta nivel D7 o superior																								
	* Técnicos especialidad Mecánica																								
	* Equipo facilitador (wgpsn)																								
	* Profesional de aseguramiento confiabilidad																								
* Operador de planta nivel D7 o superior																									
* Técnicos especialidad Eléctrica																									
* Equipo facilitador (wgpsn)																									
* Profesional de aseguramiento confiabilidad																									
* Operador de planta nivel D7 o superior																									
* Técnicos especialidad Instrumentación																									
Días		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17							

Fuente: Autores.

2. Explicar material de soporte y plantilla Taller: En las oficinas de la estación de bombeo se debe explicar con detalle la metodología y las salidas esperadas de los análisis en cada una de sus etapas.

- ✓ Material soporte: Se debe explicar la cartilla de soporte (Ver Anexo 3) donde se evidencia cada una de las fases a desarrollar el taller, se realiza una síntesis del proceso, se muestra que es una ecuación de pérdida y como se definen los términos de la misma, se ilustra la librería de modos de falla y sus efectos en el proceso.

- ✓ Plantilla Taller: Se debe mostrar y explicar cada una de las columnas que conforman la plantilla (Ver Anexo 2), se explica cómo funciona la herramienta y como se carga la información. Finalmente se muestra brevemente el software de trabajo.

3. Realizar presentación de la estación y recorrido por la planta: El personal de la planta deberá realizar una presentación de la misma. Designado por el coordinador, un miembro del cliente describe todos los procesos de la planta, presenta datos actuales e históricos de la cantidad de recibo y despacho de producto de la planta, ilustra las filosofías operacionales de los sistemas, haciendo énfasis en donde está el punto crítico del proceso. Posteriormente, se recorre toda la planta ubicando los sistemas a analizar, efectuando una explicación en campo del proceso comentado previamente en la presentación inicial.

4. Crear y validar las ecuaciones de pérdida: Para soportar el análisis en el aspecto económico^(*) de forma correcta, se requiere definir con el cliente las ecuaciones de pérdida de la estación, las cuales se realizan teniendo en cuenta: las pérdidas económicas que se generan por la falla funcional de un activo, tarifas de productos son manejados en dólares, zonas de riesgo del proceso e impactos de las fallas en el mismo. 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.

Se deberá asignar una ecuación de pérdida a cada componente de la estación, y la información recolectada se deberá documentar con el siguiente cuadro.

^(*) Las ecuaciones de pérdida se deben tener en cuenta al momento de determinar las consecuencias económicas de los modos de falla en la matriz de Criticidad. Adicionalmente, contribuye a la evaluación de Costo-Efectividad de las tareas de mantenimiento durante la fase de Consolidación y Simulación.

Tabla 8. Ecuaciones de pérdida.

Ec	Línea / Insumo	Descripción de la Línea	Producto	Capacidad Despacho /Recibo	Factor Utilización Línea (hrs/periodo)	Costo Transporte Producto (US\$/barril)	TRM	Impacto (COL\$/H)

Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla anterior, se procede a describir cada parámetro involucrado en las ecuaciones de pérdida.

- ✓ Ec: Representa el número de la ecuación.
- ✓ Línea / Insumo: Describe el sistema o circuito de bombeo.
- ✓ Producto: Tipo de fluido o hidrocarburo.
- ✓ Capacidad Despacho /Recibo: Caudal de bombeo por unidad de tiempo.
- ✓ Factor Utilización Línea (hrs/periodo), tiempo estimado de salida del sistema.
- ✓ Costo Transporte Producto (US\$/barril): Costo de transporte del hidrocarburo o fluido por unida de volumen.
- ✓ TRM: Tasa de cambio representativa del mercado.
- ✓ Impacto (COL\$/H): Representa el costo o pérdida en moneda colombiana por unidad de tiempo.

Para realizar el análisis de los montos económicos de pérdida se relacionan dos tipos de ecuaciones de pérdida:

- ✓ **Pérdidas de capacidad de transporte:** Hace referencia a la tarifa por hora que se deja de recibir por perder capacidad de transportar un producto. Esta pérdida de capacidad puede ser total o parcial, y deben calculadas diligenciando las casillas sombreadas del siguiente formato para cada modo operacional (Producto que se bombea) que represente una ecuación de pérdida de este tipo.

Tabla 9. Modelo para el cálculo de pérdidas de capacidad de transporte

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

Fuente: Autores.

- ✓ **Costos/hora:** Hace referencia a los costos asociados con el tiempo de reparación de la falla, por ejemplo: el pago adicional de energía durante el tiempo de indisponibilidad del equipo analizado. Este tipo de costos, se deben calcular diligenciando las casillas sombreadas del siguiente formato para cada costo identificado.

Tabla 10. Modelo para el cálculo de pérdidas de capacidad de transporte

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

Fuente: Autores.

5. Realizar el análisis de criticidad de equipos, componentes con la matriz de criticidad: La criticidad de equipos y componentes en el taller de campo se debe determinar con la matriz de criticidad combinada, definida para el presente documento con base en la combinación de las matrices de Criticidad y de Riesgo^(*) de las normas BS 60812 y ISO 14224 respectivamente.

Cuando la planta de bombeo especifique bajo criterios de seguridad de procesos la criticidad de sus activos, será obligatorio realizar un análisis comparativo entre: la criticidad de seguridad de procesos y la criticidad obtenida en el taller de campo con la matriz de criticidad; si para un mismo equipo los valores de criticidad de ambos métodos son diferentes, el valor final de criticidad del equipo será el más alto entre los dos métodos.

A continuación, se establecen los lineamientos para la construcción de la matriz de criticidad combinada:

- ✓ Se aplicará la definición de riesgo establecida en la norma ISO 14224, la cual es: El nivel de Riesgo es el resultado de la probabilidad de que un evento peligroso ocurra por las consecuencias de tal evento (Ver siguiente ecuación).

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

- ✓ El nivel de riesgo debe ser determinado cualitativamente con la matriz de criticidad combinada. Si el cliente cuenta con una matriz de criticidad previamente definida es mandatorio utilizarla.

^(*) Las dos matrices se pueden unir en una sola debido a que estas coinciden en la evaluación de la severidad.

- ✓ En correspondencia con la norma ISO 14224, las consecuencias de las fallas se clasifican en: seguridad, económica, medio ambiente, producción y operación. Cabe resaltar que si el cliente requiere incluir en la clasificación más campos es mandatorio tenerlos en cuenta.
- ✓ Los niveles de severidad de las consecuencias establecidos en la matriz de riesgos de la norma ISO 14224, deberán ser modificados y definidos por un grupo interdisciplinario de especialistas del cliente que tenga conocimiento detallado de la planta, la empresa y su contexto actual.
- ✓ Los niveles de severidad (NS) de las consecuencias establecidos en la matriz de riesgos de la norma ISO 14224 se clasificaran con un valor entre 0 y 5.
- ✓ Los niveles de probabilidad de ocurrencia serán tomados de la matriz de criticidad encontrada en la norma BS 60812, los cuales son: esporádica, remoto, ocasional, probable, frecuente.
- ✓ Los niveles de criticidad estarán clasificados como: NINGUNO, BAJO, MEDIO, ALTO Y MUY ALTO (Ver figura 21).

MUY ALTO (MA): Este nivel de severidad es indeseado cualquier modo de falla que presente esta clasificación debe ser revaluado inmediatamente y presentar planes de acción para disminuir el riesgo a un nivel aceptable.

ALTO (A): este nivel es potencialmente peligroso e igualmente se deben plantear acciones con el objetivo de disminuir el riesgo, si el modo de falla o la criticidad del equipos se encuentra en este nivel se deben plantear actividades las cuales tiendan a reducir el riesgo.

MEDIO (M): Este nivel de riesgo presenta un valor aceptable, aquí los modos de falla y la criticidad de los equipos son evaluados detenidamente con el fin de establecer si son críticos o no.

BAJO (B): Este nivel de riesgo es un nivel aceptable aunque probabilidad es mínima igualmente se debe evaluar cuidadosamente con el ánimo de descartar cualquier imprevisto.

NINGUNO (N): El valor mínimo de la matriz donde los niveles de falla no representan un valor de riesgo.

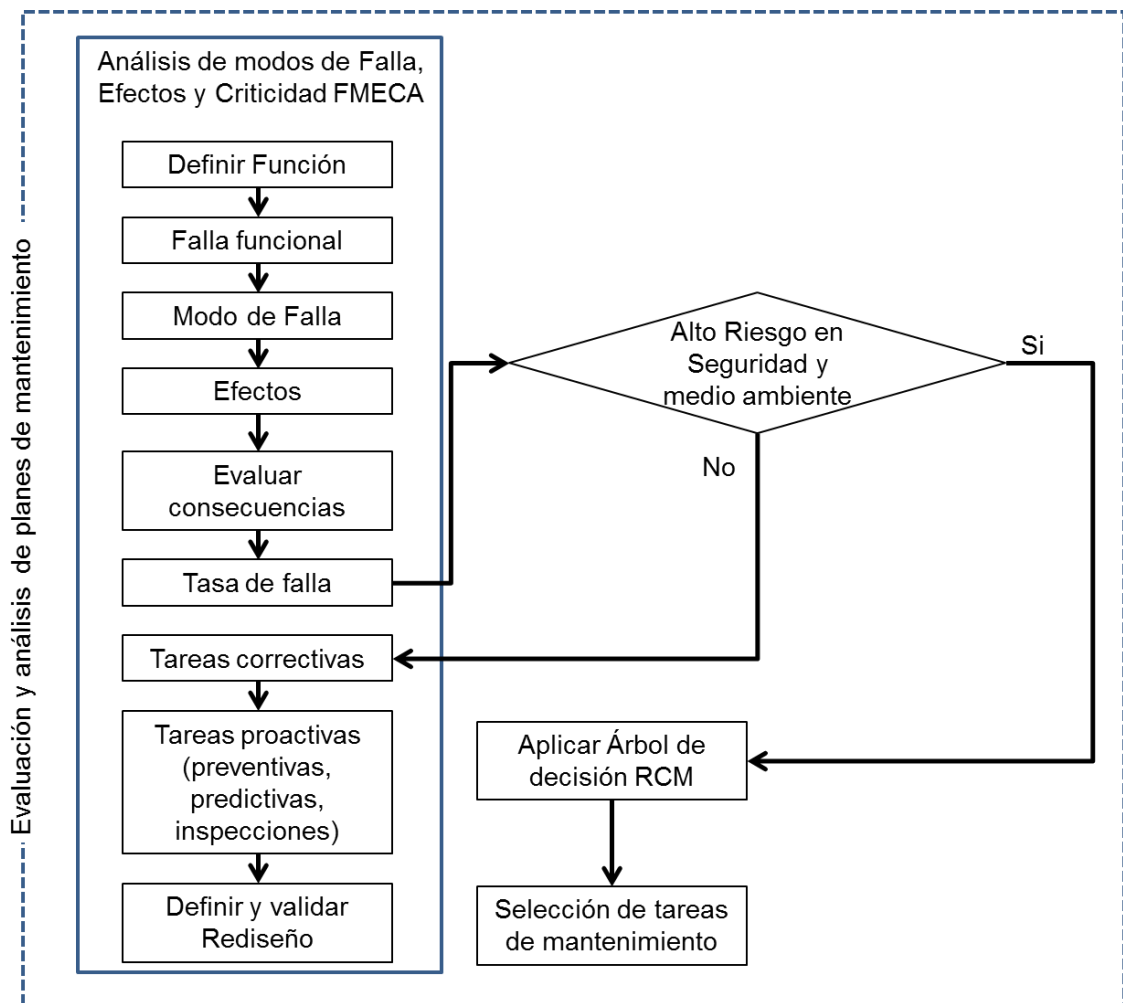
Figura 21. Matriz de criticidad combinada.

Consecuencia						Probabilidad				
Seguridad	Económica	Ambiental	Producción	Operacional	N S	Esporádica	Remoto	Ocasional	Probable	Frecuente
Pérdida de vidas	Desastre >10X10 ⁶ US	Contaminación Irreparable	Parada extensa de producción	Costo muy alto de mantenimiento	5	M	M	A	A	M A
Lesión Grave Incapacidad permanente	Alarmante 1 a 10X10 ⁶ US	Contaminación Mayor	Parada de producción por encima del límite permitido	Costo alto de mantenimiento	4	B	M	M	A	A
Lesión con tratamiento medico	Severo 0,1 a 1X10 ⁶ US	Contaminación Localizada	Parada de producción hasta el límite permitido	Costo Normal de mantenimiento	3	N	B	M	M	H
Lesión sin tratamiento medico	Significativo 0,1 a 1 X10 ⁵ US	Contaminación Puntual	Parada de producción menor al límite permitido	Bajo costo de mantenimiento	2	N	N	B	B	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <10000 US	Contaminación Menor	Parada de producción menor	Muy bajo costo de mantenimiento	1	N	N	N	B	B
Ninguna lesión	< 1000 US	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Autores

6. Elaborar FMECA-RCM: Después de realizar la evaluación de criticidad de equipos y componentes de la estación, solamente aquellos clasificados como críticos y no especiales (Ver figura 19, página 67) deben ser analizados por medio de la siguiente metodología.

Figura 22. Diagrama de flujo para la evaluación y análisis de equipos y componentes clasificados como críticos y no especiales.



Fuente. Autores.

Para la implementación del diagrama de flujo de la figura anterior se debe tener en cuenta:

a. La definición de Función, Falla Funcional y Efectos de Falla se establecen según lo estipulado en la norma SAE J1011. Se contará con una función única por componente, que refleje los requerimientos de funcionamiento esperados de la familia de componente analizado; durante el taller se ajustarán los parámetros que describan a cada función, según los datos específicos de la estación, el sistema y el equipo donde se encuentre el componente analizado. Las fallas funcionales de cada componente analizado de manera estándar harán referencia a tres escenarios: Pérdida total de la función; Pérdida parcial de la función y Pérdida de contención.

b. La definición y estandarización de los Modos de falla deben ser tomados de la biblioteca consignada en el Anexo 3, la cual esta referenciado en la norma ISO 14224:2009. Se hará un recorrido por el listado de modos de falla para cada falla funcional de cada componente, y se definirán los aplicables basándose en la experiencia del equipo analista; si una falla funcional de un componente llegase a tener repetido un modo de falla ISO, se debe verificar que las CAUSAS del modo de falla sean diferentes, de ser así se procede a diferenciar el código ISO con un número al final del mismo.

c. La evaluación las consecuencias de los modos de falla debe ser determinado cualitativamente con la matriz de criticidad combinada. Si el cliente cuenta con una matriz de criticidad previamente definida es mandatorio utilizarla.

d. Número de fallas (Tasa de falla): Se debe registrar en la plantilla taller cuantas veces se ha presentado un modo de falla en un tiempo determinado.

e. Para asignar tareas de mantenimiento correctivas y preventivas tener en cuenta lo establecido en el punto g.

f. En el Anexo 2 (Metodología FMECA y Plantilla Taller), se expone la forma como debe ser desarrollado el paso a paso del procedimiento de la figura 21, junto con el formato donde debe ser registrada toda la información recopilada para la evaluación y análisis de los planes de mantenimiento.

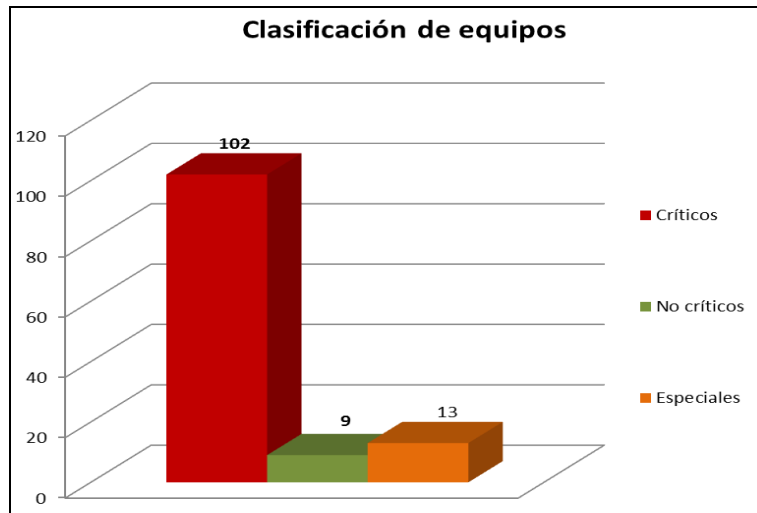
g. Asignación de tareas de mantenimiento: Si el análisis de criticidad del efecto de un modo de falla da como resultado un nivel de riesgo medio, la asignación de tareas de mantenimiento se debe realizar de acuerdo a la metodología FMECA (Ver detalle en el Anexo 2), pero si el nivel de riesgo en medio ambiente y seguridad es clasificado como alto, la asignación de tareas de mantenimiento se debe realizar por medio del árbol lógico de decisión RCM (Ver detalle en el Anexo 4) establecido en la norma SAE J1012 y posteriormente en la fase de simulación dichas tareas deben ser evaluadas únicamente bajo criterios de probabilidad de falla.

8. Informe taller: Consiste básicamente en recopilar y documentar de toda la información recolectada durante el desarrollo de la metodología FMECA-RCM. En esta consolidación de información se toma la plantilla Taller y análisis de criticidad, y se analiza uno a uno los datos colocados en cada celda para así realizar los respectivos análisis de los componentes en cuestión, se elaboran graficas según los resultados obtenidos y finalmente se le presenta cliente (interno y externo) los hallazgos encontrados durante el taller FMECA-RCM.

A continuación se presenta el procedimiento implícito en la elaboración del informe taller:

a. Con base en la planilla Análisis de Criticidad, Clasificar los equipos de la planta especificando cuantos fueron críticos, no críticos y especiales; se debe generar una gráfica Estándar de clasificación que muestre los colores y formato de la figura de la página siguiente.

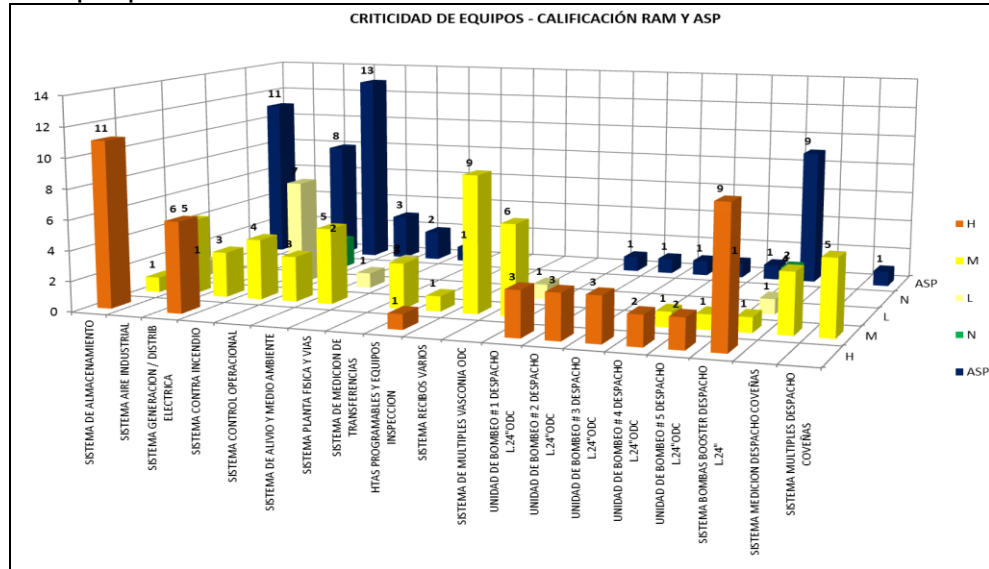
Figura 23. Grafica Estándar de Clasificación general de equipos del informe taller.



Fuente: Autores.

b. Con base en la planilla Análisis de Criticidad, clasificar los equipos de la planta por criticidad y Sub-sistema al que pertenecen, para posteriormente contar cuántos de ellos presentan riesgos altos, medios y bajos; se debe generar una gráfica Estándar de clasificación que muestre los colores y formato de la figura siguiente.

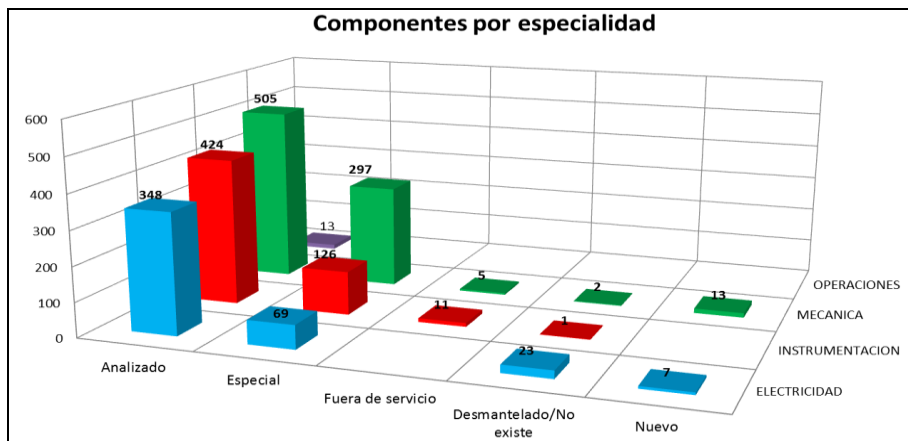
Figura 24. Grafica Estándar de Clasificación de equipos por Criticidad y Sub sistema al que pertenecen.



Fuente: Autores.

c. Con base en la plantilla taller, clasificar los componentes según la especialidad y descripción del estado (analizado, no analizado, especial, fuera de servicio, desmantelado/no existe, nuevo); se debe generar una gráfica Estándar de clasificación que muestre los colores y formato de la figura siguiente.

Figura 25. Grafica Estándar de Clasificación de Componentes analizados por especialidad y descripción de estado.



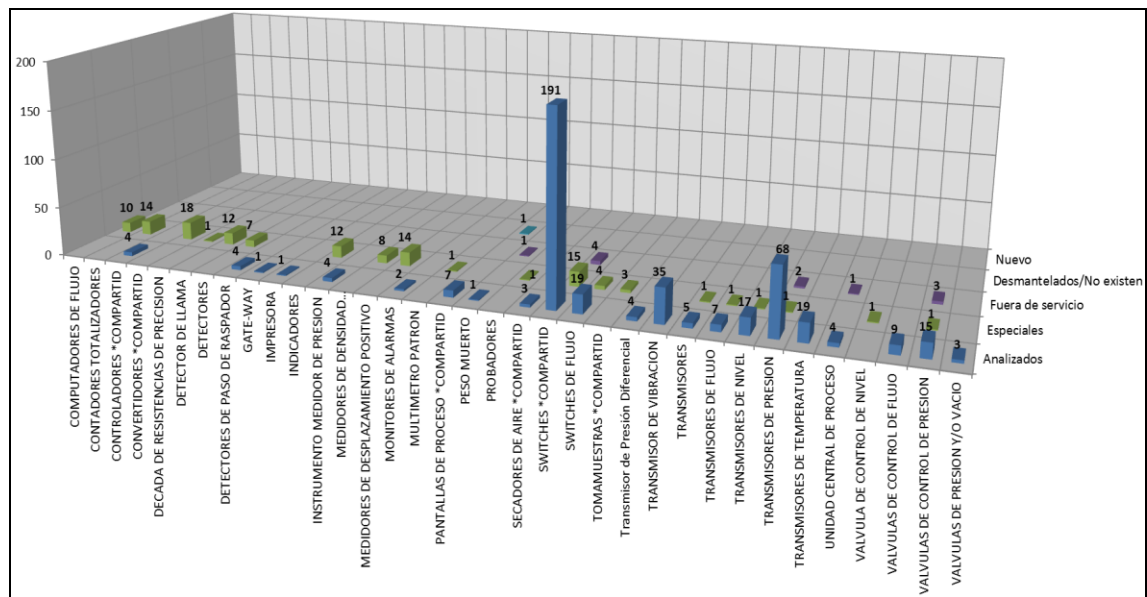
Fuente: Autores.

d. Con base en la plantilla taller, clasificar los componentes según la especialidad, familia equipos y descripción del estado (analizado, no analizado, especial, fuera de servicio, desmantelado/no existe, nuevo); se debe generar una gráfica de clasificación Estándar por especialidad (Mecánica, Eléctrica e instrumentación) que muestre los colores y formato de la figura 25 (Ver página siguiente).

c. A partir de la información recolectada en el taller, se deben crear en las tablas de tarifas de servicios y recursos del cliente, los servicios de mantenimiento que se no se tenían contemplados antes del taller de campo.

d. Tomando los comentarios colocados en los campos destinados para ello en la plantilla Taller, se debe redactar un documento que sirva de apoyo y orientación al equipo de consolidación, donde se haga una aproximación a las conclusiones, recomendaciones y hallazgos encontrados en el taller de campo.

Figura 26. Grafica Estándar de Clasificación de Componentes analizados por especialidad, familia de equipos y descripción de estado.



Fuente: Autores.

e. Extraer las recomendaciones que se generaron durante el taller, sintetizarlas y plasmarlas claramente en un archivo de ayuda para que el equipo de consolidación tenga claridad de posibles cambios (rediseño) que se puedan hacer en la planta. Se debe especificar en cada recomendación a cual modo de falla impacta.

f. El líder del área de Wood Group debe revisar con el equipo facilitador la calidad de la información consignada en los entregables (Plantilla Taller, Plantilla Análisis de Criticidad, Informe Taller, Documento de apoyo consolidación, y documento de recomendaciones de rediseño), para así dar el visto bueno y/o recomendaciones de modificaciones a dichos documentos.

g. Después de la revisión interna, realizar la entrega formal al cliente evaluando inmediatamente lo avanzado en la etapa de Análisis y Documentación de la metodología. A demás de recibir comentarios y orientaciones del mismo. Se debe elaborar el acta de la reunión donde se especifican los temas tratados y la documentación entregada.

6.2.3 Consolidación y Simulación. La fase de consolidación y simulación es proceso final de la etapa de documentación y análisis de la metodología propuesta, después de realizar el levantamiento y organización de la información de campo (Taller de campo), el equipo de consolidación efectúa el análisis de la misma, evaluando cuidadosamente las variables del proceso de mantenimiento, con el fin de definir y recomendar mejoras en el plan de mantenimiento de estación.

Para realizar el debido análisis el grupo de consolidación debe asegurar el siguiente procedimiento:

1. Validar el árbol de equipos usado en el taller de campo Vs última versión en el CMMS: Se debe solicitar al área de CMMS del cliente la última versión del árbol de equipos, a efectos de garantizar que las actualizaciones, comentarios y recomendaciones realizadas en el taller de campo, correspondientes a la jerarquía de equipos y componentes sean debidamente implementadas en el CMMS.

En caso que aún no se tenga la versión actualizada del árbol, se inicia la consolidación con el árbol disponible, y se entrega el anexo 6 (Recomendaciones y rediseño) al área CMMS para que sea actualizado el árbol de equipos.

2. Revisar los anexos Criticidad de equipos y Ecuaciones de pérdida (Anexos 1 y 5): Se debe verificar que los referidos anexos sean revisados y modificados de acuerdo a la versión del árbol de equipos actualizada.

3. Consolidar lista de modos de falla de componentes: Verificar que todos los equipos/componentes identificados y clasificados en la fase de preparación (Ver punto 2 del proceso de preparación en la sección 6.2.1), sean los que fueron analizados durante el taller, de igual forma se debe revisar que a cada componente se le haya asignado los respectivos modos de falla de acuerdo con lo establecido en el anexo 3; si un componente llegara a tener varias veces un mismo modo de falla ISO, se debe confirmar que las causas de cada modo de falla repetido sean diferentes.

4. Verificar tareas e información suministrada/ faltante de los modos de falla: Se debe revisar en la plantilla taller (Ver anexo 2) que cada modo de falla relacione (si aplican) una tarea correctiva, una preventiva y una predictiva. Adicionalmente, se debe verificar que cada una de las tareas tenga asociado al menos un recurso (Mecánico, Eléctrico o Instrumentista) y que el tiempo estimado sea coherente con el tiempo de ejecución real de la tarea.

Los campos de las columnas de la plantilla taller que se relacionan en las tablas 11, 12 y 13 deben estar debidamente diligenciados con su respectiva respuesta.

Tabla 11. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas correctivas.

Duración de la tarea.
Tiempo efectivo.
Duración tiempo muerto.
Cantidad de recursos.
Duración de cada uno de los recursos.
Descripción y costos de los servicios

Fuente: Autores.

Tabla 12. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas Preventivas.

Frecuencia.
Tiempo de aplicación de la tarea.
Tiempo efectivo.
Duración tiempo muerto.
Cantidad de recursos.
Duración de cada uno de los recursos.
Descripción y costos de los servicios externos.

Fuente: Autores.

Tabla 13. Parámetros relevantes en los análisis de Tareas Predictivas.

Frecuencia.
Tiempo de aplicación de la tarea.
Tiempo efectivo.
Duración tiempo muerto.
Cantidad de recursos.
Duración de cada uno de los recursos

Descripción y costos de los servicios externos.

Fuente: Autores.

Adicional a lo anterior, se debe revisar que en la columna de observaciones de la plantilla taller se tenga relacionado cuales son las tareas especificadas como ronda operativa y del mismo modo asegurar que cada tarea predictiva tenga una tarea correctiva por condición.

5. Simulación: La información consignada en la plantilla taller debe ser analizada en un software especializado en las metodologías de FMECA-RCM, para determinar de forma secuencial y rápida la relación costo-efectividad^(*) de cada una de las tareas de mantenimiento asignadas en la plantilla junto con los niveles de riesgos remanentes^(**), a efectos de identificar cuáles tareas son verdaderamente convenientes y cuáles no. Si el riesgo asociado a un modo de falla conserva un nivel alto durante la simulación, se deberá modificar y/o adicionar nuevas tareas con el objetivo de disminuir el riesgo a un nivel tolerable; en caso de no lograrse lo anterior, se procederá a recomendar el rediseño o la implementación de las metodologías de HAZOP y RCA según sea el caso.

La simulación consiste en un proceso iterativo que inicia alimentando el software con toda la información consignada en la plantilla taller, junto con la parametrización de las fallas. En dicha parametrización se debe encontrar una distribución de probabilidad que refleje el comportamiento esperado de un componente en términos de su confiabilidad y que permita cuantificar las fallas que se esperan en un intervalo de tiempo determinado, para ello se requiere:

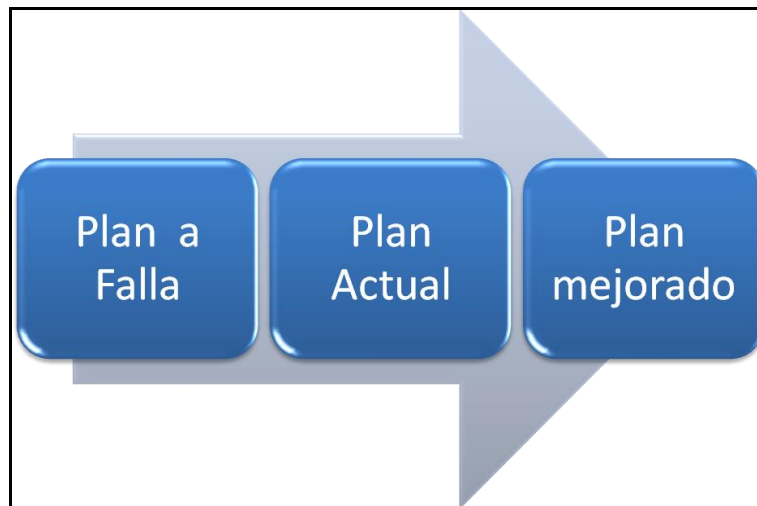
^(*) Las tareas de mantenimiento asignadas con árbol de decisión RCM (Ver punto 6 de la sección 6.2.2) solamente deben ser evaluadas bajo criterios de probabilidad de falla y no por costo-efectividad.

^(**) Riesgo remanente: Es aquel riesgo que queda después de haber implementado tareas de mantenimiento preventivas a un modo de falla.

- ✓ Tener toda la información en la base de datos (históricos CMMS).
- ✓ Analizar los campos *Factor de Utilización*, *Redundancia*, *Filosofía Operacional* de la plantilla taller (Ver anexo 2) por medio de métodos estadísticos de confiabilidad.

Una vez registrada la información requerida por el software se procede a simular tres (3) escenarios: Las cuales se muestran en la siguiente figura.

Figura 27. Escenarios a simular.



Fuente: Autores

Plan de mantenimiento a falla: Este escenario ayuda a cuantificar el impacto económico total^(*) que resulta de no realizar tareas de mantenimiento preventivas, predictivas o inspecciones; el objetivo es establecer el punto de referencia con el cual se pueda comparar el impacto económico total del plan de mantenimiento actual.

^(*) El impacto económico total es el resultado del producto entre la probabilidad de falla y todos los costos económicos que se generan cuando se presenta un evento. Generalmente lo referidos costos son: Mantenimiento correctivo, paradas de producción, logística, repuestos y gastos relacionados con impactos ambientales, seguridad de las personas entre otros.

Cabe mencionar, que el panorama de riesgos de la estación de bombeo en el presente escenario debe ser determinado mediante la matriz de criticidad, con los resultados del software de simulación referentes al impacto económico de una falla y su probabilidad de ocurrencia.

Plan de mantenimiento actual: Mediante la simulación del plan de mantenimiento actual, se cuantifica el impacto económico total que resulta de implementar las tareas de mantenimiento preventivas, predictivas o inspecciones que se vienen ejecutando en la estación. Adicionalmente, se determina el panorama de riesgos de la misma manera como se realiza en la simulación del plan de mantenimiento a falla.

Realizando un comparativo entre los resultados de la simulación del plan de mantenimiento actual y del plan de mantenimiento a falla, se clasifica:

- ✓ Las tareas que mitigan los riesgos asociados a los modos de falla y las que no.

- ✓ Los modos de falla que conservan un riesgo no aceptable a pesar que se implementen las tareas de mantenimiento actual.

Plan de mantenimiento mejorado: En base a los resultados y a la clasificación de las tareas y modos de fallas de la simulación del plan de mantenimiento actual, se procede a simular el plan de mantenimiento mejorado, teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Se debe buscar que las tareas que mitigan los riesgos asociados a los modos de falla tengan frecuencias costo-efectivas^(*); es decir se debe determinar la frecuencia con la cual, el resultado de la suma entre los costos totales de mantenimiento y del costo de los riesgos remanentes sea el mínimo. Si en dado caso una tarea actual que mitiga un riesgo no es costo efectiva, se debe entrar a considerar desde el punto de vista económico y de riesgo si se debe suprimir dicha tarea y/o adicionar otra.
- ✓ Las tareas de mantenimiento que no mitigan los riesgos se deben suprimir en el plan de mantenimiento mejorado y no se deben simular en este punto.
- ✓ Se debe incluir tareas que disminuyan el riesgo de los modos de falla que conservaron un riesgo no aceptable en la simulación del plan de mantenimiento actual.

Posterior a la simulación realizada con los parámetros anteriormente presentados, se procede a cuantificar el impacto económico total que se obtendría con implementación de las tareas costo-efectivas de mantenimiento preventivas, predictivas o inspecciones. Con el objetivo de evidenciar la Costo-Efectividad del plan de mantenimiento mejorado^(**), se debe determinar el índice de efectividad del plan mantenimiento mejorado (MEI), el cual muestra la relación existente entre el costo esperado si se aplica el plan de mantenimiento a falla y el costo esperado del plan de mantenimiento mejorado y su riesgo remanente (ver la siguiente ecuación).

^(*) Para las tareas de mantenimiento asignadas con árbol de decisión RCM (Ver punto 6 de la sección 6.2.2) se deben buscar las frecuencias que disminuyan la probabilidad de falla, aun cuando estas no sean costo-efectivas.

^(**) El conjunto de las tareas Costo-efectivas conforman la propuesta del plan de mantenimiento mejorado que se debe implementar en la estación de bombeo.

$$MEI = \frac{\text{Impacto Total de la estrategia a falla}}{\text{Costo de la estrategia propuesta} + \text{Impacto del riesgo residual}}$$

El plan de mantenimiento mejorado es viable económicamente mientras el resultado de la ecuación anterior sea mayor a uno.

6. Crear y verificar la calidad de los entregables: Los entregables al finalizar el proceso de simulación son los relacionados en la tabla 14, los cuales detallan cada una de las tareas, consideraciones y aclaraciones que se tuvieron en cuenta durante la ejecución del taller, consolidación y simulación de la información.

En este punto se requiere revisar que dichos documentos estén debidamente diligenciados, con información clara y de acuerdo con lo solicitado contractualmente por el cliente.

Tabla 14. Entregables de la metodología.

Informe final.
Actas de cierre.
Ecuaciones de pérdida.
Análisis de criticidad de equipos y componentes.
Resultados de simulación y análisis plan de mantenimiento a Falla.
Resultados de simulación y análisis de mantenimiento actual.
Resultados de simulación y análisis plan de mantenimiento mejorado.
Recomendaciones y rediseño.

Fuente: Autores.

6.2.4 Equipo de trabajo requerido para desarrollar el taller de campo. El equipo de trabajo deberá asumir los roles listados a continuación, los cuales serán asignados al personal de Wood Group y del cliente que cumpla los perfiles descritos. Es importante resaltar, que los talleres no deben realizarse cuando el

personal involucrado no puede asumir los roles descritos, ya sea por su falta de experiencia técnica y/o conocimiento de la planta bombeo.

Se definen como participantes de la metodología para el servicio en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento los siguientes cargos:

- ✓ Líder proceso FMECA-RCM.
- ✓ Equipo facilitador.
- ✓ Equipo de sostenibilidad CMMS.
- ✓ Especialistas en las áreas de mecánica, eléctrica, instrumentación.
- ✓ Equipo de planeadores y programadores.
- ✓ Soporte operacional.

A continuación se detallan los roles y responsabilidades de cada cargo.

1. Líder del proceso:

Tabla 15. Rol y responsabilidad del líder del proceso.

Velar por el cumplimiento de los lineamientos y procesos establecidos en la metodología para el servicio en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento y actualización de planes de mantenimiento.
Definir la programación de aplicación del proceso para cada una de las estaciones

Garantizar la disponibilidad del personal de las estaciones que soportarán los análisis.
Gestionar que el grupo de especialistas de cada una de las estaciones, cuente con el conocimiento, experiencia y recursos para proporcionar la información que se les solicitará durante el taller.
Proporcionar la información de la tabla siguiente al equipo facilitador, previo a la ejecución de los talleres en campo, de acuerdo a lo presentado en la matriz de información en el punto 1 de la sección 6.2.1.

Fuente: Autores.

Tabla 16. Información que debe suministrar el líder de proceso.

Árbol de equipos validado.
Listado de Equipos críticos definidos bajo los parámetros de seguridad de procesos.
Listado de códigos de clasificación de componentes.
Reporte de planes activos de mantenimiento cargados en el CMMS.
Reportes de OT's registradas en el CMMS.
P&ID's, PFD's
Pantallazos del proceso en el cuarto de control.
Diagramas causa efecto.
Manual de operación de la estación.
Manuales de equipo.
Reportes de consumo de repuestos en el CMMS.
Planes estándares de mantenimiento desarrollados por las mesas técnicas.
Planes estándares de mantenimiento correspondientes a equipos especiales.
Tarifas económicas asociadas a los procesos principales de la estación (Tarifas de transporte, multas, tarifas de consumo energético, tarifas de recursos de personal).

Fuente: Autores.

2. Equipo facilitador:

Tabla 17. Roles y responsabilidades del equipo facilitador.

Preparar la información previa a la ejecución de los talleres en campo definida en la tabla 14.
Facilitar el taller en campo según lo establecido en la tabla15.
Generar y consolidar de resultados (Ver detalle tabla16).

Fuente: Autores.

Tabla 18. Información a preparar por el equipo facilitador.

Árbol validado de equipos.
Librería de modos de falla.
Mantenimientos activos actualmente en el sistema.
Preparación de las herramientas.
Preparación de material de soporte para el taller.

Fuente: Autores.

Tabla 19. Responsabilidades del equipo facilitador en el taller de campo

Moderar el taller.
Velar por el cumplimiento del procedimiento establecido.
Registrar la información requerida para consolidar el análisis: <ul style="list-style-type: none">✓ Variables de ecuaciones de pérdida.✓ Funciones, fallas funcionales y modos de falla.✓ Asignación de efectos de modos de falla.✓ Información de caracterización de fallas.✓ Actividades recomendadas de mantenimiento (frecuencias, recursos, repuestos, costos, entre otros).

Fuente: Autores.

Tabla 20. Responsabilidades del equipo facilitador en la fase de consolidación y simulación.

Consolidar de información recopilada en el taller de campo.
Simular estrategia de mantenimiento definida en campo.
Generar de resultados de la simulación.
Elaborar de informe.

Fuente: Autores.

3. Equipo de sostenibilidad CMMS:

Soportar al líder del proceso en la consecución de la siguiente información:

Tabla 21. Información a suministrar el Equipo de sostenibilidad CMMS.

Árbol de equipos validado.
Reporte de planes activos de mantenimiento cargados en Ellipse.
Reportes de OT's registradas en el CMMS.
Pantallazos de los procesos del cuarto de control.

Fuente: Autores.

4. Especialistas en áreas mecánica, eléctrica, instrumentación:

El personal especialista, orientados por el facilitador, tiene la responsabilidad de proporcionar durante los talleres la siguiente información, contando con el soporte operacional cuando sea necesario:

Tabla 22. Roles y responsabilidades de los especialistas en las áreas mecánica, eléctrica e instrumentación.

Presentar de los procesos, sistemas y equipos de la estación analizada.

Informar del desempeño histórico de los equipos objeto del análisis.
Entregar los parámetros operativos de los equipos y componentes de la estación al equipo facilitador.
Establecer los Modos de falla aplicables a los componentes analizados, según las instrucciones del equipo facilitador.
Describir las consecuencias asociadas a las fallas analizadas, según las instrucciones del equipo facilitador.
Indicar durante el taller de campo las Tareas correctivas necesarias para restablecer la condición de un equipo en estado de falla.
Indicar durante el taller de campo las Tareas proactivas aplicables para la mitigación de modos de falla analizados Frecuencias, recursos de personal y tiempos de reparación estimados para la ejecución de tareas correctivas y de mantenimiento proactivo.
Descripción de repuestos empleados en tareas correctivas y de mantenimiento proactivo

Fuente: Autores.

5. Soporte operacional:

Tabla 23. Roles y responsabilidades de los operaciones.

Soportar la presentación de los procesos, sistemas y equipos de la estación analizada.
Brindar información relevante para validar tarifas económicas asociadas a los procesos principales de la estación (Tarifas de transporte, multas, tarifas de consumo energético, tarifas de recursos de personal).
Soportar la asignación de parámetros de criticidad de equipos.
Soportar la definición de funciones y fallas funcionales de los componentes analizados.

Soportar cuando sea requerida la asignación de efectos de modos de falla.

Fuente: Autores.

6.3 DETALLE DEL PROCESO ENTREGA-VALIDACION

La etapa de Entrega-Validación comienza con una presentación y entrega formal de los documentos y resultados de la metodología al Gestor técnico del contrato, quien debe revisar la calidad de los mismos; en caso que emita comentarios y/o observaciones, Wood Group debe realizar los cambios solicitados, emitir y entregar una nueva versión de los documentos.

En caso de que el Gestor técnico del contrato de su visto bueno a los documentos y resultados, Wood Group procederá a presentar detalladamente por especialidad (mecánica, eléctrica, instrumentación) el plan de mantenimiento mejorado, el plan de mantenimiento normativo^(*) y el plan de mantenimiento estándar^(**) en campo; en caso que el personal de la planta de bombeo realice observaciones y comentarios a las tareas del plan de mantenimiento mejorado, éstos deben ser estudiados en base a la información consignada en el taller de campo y reevaluados en la fase de consolidación y simulación.

Al final de la presentación de los planes de mantenimiento en campo, se deberá firmar un acta entre Wood Group y el Cliente, para evidenciar la aceptación del plan de propuesto por todos los participantes de la reunión.

^(*) Plan de mantenimiento que se debe implementar sobre equipos y componentes calificados como no críticos.

^(**) Plan de mantenimiento que se debe implementar para equipos y componentes calificados como especiales, sean críticos o no.

6.4 DETALLE DEL PROCESO IMPLEMENTACION

Este proceso inicia con agrupación de las tareas de mantenimiento costo-efectivas por equipos, componentes, especialidad y frecuencias para actualizar en el CMMS del cliente las tareas de mantenimiento junto con sus estándares de trabajo.

La actualización del CMMS deberá ser realizado junto con los programadores de mantenimiento del cliente, con el fin de establecer los tiempos de ejecución de las tareas con los respectivos acuerdos de programación con el personal de campo.

6.5 INTERACCIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA CON LOS SERVICIOS DE CONSULTORÍA DE SOSTENIBILIDAD CMMS, HAZOP, RCA Y CBM OFRECIDOS POR WOOD GROUP PSN

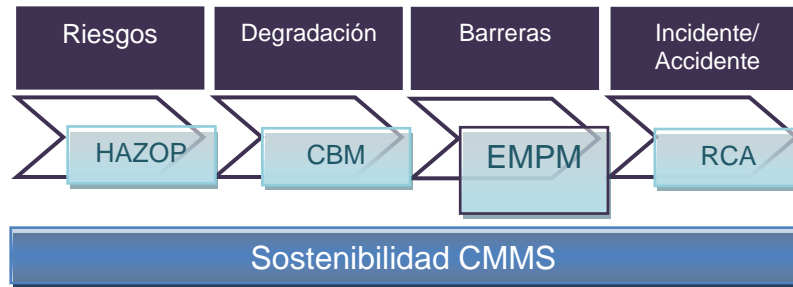
En la sección 1.3.4 se presentó las principales líneas de negocio de Wood Group PSN Colombia S.A. con énfasis en los servicios de consultoría del área de CTS, la cual desarrolla los procesos de interés del presente capítulo concernientes a: Evaluación y Mejoramiento de Planes de Mantenimiento (EMPM), HAZOP, RCA, CBM y Sostenibilidad CMMS.

La figura 28 define la integración de los referidos procesos de forma global, con la cual la compañía puede ofrecer a sus clientes un “servicio de consultoría integrado”, el cual inicia con la implementación de la metodología HAZOP en cada proceso productivo que conforma una estación de bombeo, en base a los resultados obtenidos, se procede a medir la degradación de los activos que componen los procesos más críticos con la ejecución de técnicas de Monitoreo Basado en Condición (CBM). Posterior a la implementación de los procesos de

HAZOP y CBM, se establecen barreras de protección^(*) contra las fallas, implementando planes de mantenimiento basados en la metodología EMPM; si se rompe una barrera de protección, es decir, si se presenta una falla sobre un equipo, se procederá a realizar el respectivo Análisis Causa Raíz.

Es importante mencionar que el proceso de Sostenibilidad CMMS, será el encargado de actualizar la información contenida en el Software de Mantenimiento en base a los resultados obtenidos en cada uno de los procesos mencionados.

Figura 28. Servicio Integrado de consultoría en el área de CTS.

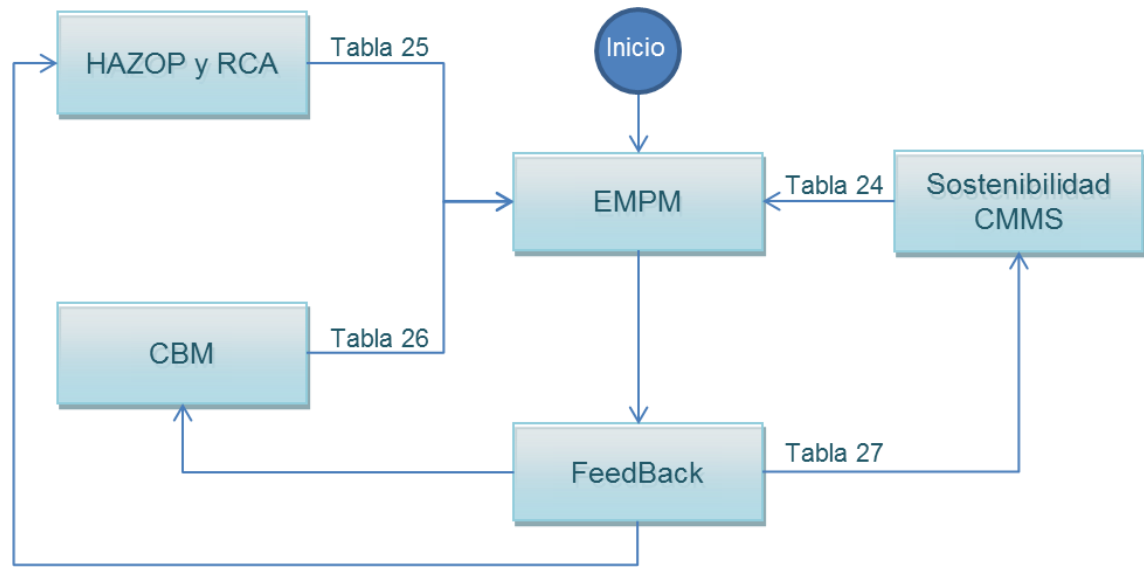


Fuente: Autores.

En la eventualidad de que un cliente solicite a Wood Group el servicio de consultoría integrado expuesto figura 28, a continuación se presenta como complemento de la metodología EMPM, sus vínculos y relaciones con cada uno de los procesos referidos (Ver figura página siguiente).

^(*) Se recomienda implementar técnicas de CBM antes de la metodología EMPM, toda vez que la información obtenida por CBM es importante para la metodología EMPM en lo referente a la parametrización de la curva de distribución de probabilidad; la cual es la encargada de reflejar el comportamiento esperado de un equipo en términos de su confiabilidad junto con la cuantificación de las fallas en un periodo determinado.

Figura 29. Interacción entre la metodología EMPM con los procesos de Sostenibilidad CMMS, HAZOP, CBM y RCA.



Fuente: Autores.

Durante el desarrollo de la metodología EMPM, se requiere de cada proceso relacionado en la figura 29, los siguientes datos de entrada:

- ✓ Sostenibilidad CMMS: árbol de equipos; historial de mantenimiento; listado de partes y repuestos; tareas de mantenimiento de los equipos y componentes; estándares de trabajo de las tareas de mantenimiento; Criticidad de equipos, componentes y de tareas de mantenimiento (Ver tabla 24).
- ✓ HAZOP: diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID), diagramas de flujo de procesos (PFD), Lógicas narrativas, Criticidad de equipos y componentes según criterios de seguridad de procesos (Ver tabla 25).
- ✓ RCA: Análisis causa raíz realizados en la estación de bombeo objeto de estudio.

- ✓ CBM: Técnicas de mantenimiento basadas en condición, matriz CBM, informes de hallazgos. (Ver tabla 26).

Tabla 24. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de sostenibilidad CMMS.

Árbol de equipos.
Historial de mantenimiento.
Listado de partes y repuestos.
Tareas de mantenimiento de todos los equipos y componentes de la planta de bombeo.
Estándares de trabajo de las tareas de mantenimiento.
Criticidad de equipos, componentes y de tareas de mantenimiento.
Códigos de Falla ISO según 14224.

Fuente: Autores.

Tabla 25. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de HAZOP.

HAZOP	Diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).
	Diagramas de flujo de procesos (PFD).
	Lógicas narrativas.
	Criticidad de equipos y componentes.
RCA	Análisis causa raíz realizados en la estación de bombeo objeto de estudio.

Fuente: Autores.

Tabla 26. Información que requiere la metodología EMPM del grupo de CBM.

Técnicas de mantenimiento basadas en condición
Matriz CBM (Equipos, Frecuencias de inspección y técnicas aplicadas)
Informes de hallazgos

Fuente: Autores.

Como se puede observar en la figura 29, los resultados del proceso EMPM deben ser distribuidos y socializados en las diferentes áreas según los intereses particulares de cada una de la siguiente manera:

- ✓ Sostenibilidad CMMS: Árbol de equipos con requerimientos y observaciones de modificaciones por parte del cliente; Listado de partes y repuestos críticos; Tareas de mantenimiento costo-efectivas de equipos y componentes clasificados como críticos y no especiales, Tareas de mantenimiento normativos para equipos y componentes clasificados como especiales, Tareas de mantenimiento estándar para equipos y componentes clasificados como no críticos y no especiales; Estándares de trabajo de las tareas de mantenimiento, clasificados por códigos de Falla ISO 14224; Criticidad de equipos, componentes y de tareas de mantenimiento (Ver tabla 27). Cabe mencionar, que el grupo de Sostenibilidad CMMS es el encargado de actualizar el software de mantenimiento con información contenida en los resultados aquí relacionados.

- ✓ HAZOP: Recomendaciones de estudios adicionales en base a la metodología HAZOP.^(*)

- ✓ RCA: Recomendaciones de estudios adicionales en base a la metodología RCA^(*).

^(*) Las recomendaciones de estudios adicionales de HAZOP se obtienen si durante el desarrollo del taller en campo se identifican falencias de un proceso y durante la simulación no se encuentran tareas de mantenimiento que reduzcan el riesgo a un nivel aceptable.

^(*) Las recomendaciones de estudios adicionales de RCA se obtienen si durante el desarrollo del taller en campo se identifican fallas recurrentes de un equipo, es decir el tiempo promedio entre falla del equipo analizado son es mucho menor que el normalmente esperado.

- ✓ CBM: Matriz CBM Actualizada (Frecuencia modificadas, Técnicas a implementar por equipo y componente), Ecuaciones de perdida junto con la evaluación de las consecuencias de las fallas^(**).

Tabla 27 Resultados que entrega la metodología EMPM al grupo de Sostenibilidad CMMS.

Árbol de equipos con requerimientos y observaciones de modificaciones por parte del cliente.
Listado de partes y repuestos críticos.
Tareas de mantenimiento costo-efectivas de equipos y componentes clasificados como críticos y no especiales. Tareas de mantenimiento normativos para equipos y componentes clasificados como especiales. Tareas de mantenimiento estándar para equipos y componentes clasificados como no críticos y no especiales.
Estándares de trabajo de las tareas de mantenimiento, identificándolos con los códigos de Falla ISO según 14224.
Criticidad de equipos, componentes y de tareas de mantenimiento.

^(**) Esta información es importante para CBM porque ayuda a cuantificar el impacto económico de cada hallazgo encontrado en los equipos.

7 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este documento, se pueden establecer las siguientes conclusiones, de acuerdo a los temas establecidos en cada uno de los capítulos.

- ✓ Se realizó una metodología para el servicio de consultoría en evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento aplicable en estaciones de bombeo de hidrocarburos, la cual toma como referencia conceptos y lineamientos teóricos y normativos de: RCM, FMECA, SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224:2006, SAEJ1739.
- ✓ Se identificaron y se dieron a conocer los sistemas y componentes en (3) tres tipos de estaciones de bombeo de hidrocarburos (Estaciones de bombeo en oleoductos, Poliductos y puertos). Así mismo la funcionalidad, contexto operativo e importancia de los mismos dentro de las estaciones de bombeo.
- ✓ La implementación de la metodología permitirá a WOOD GROUP ofrecer un servicio estandarizado a sus clientes, toda vez que en el presente documento se definieron los lineamientos, recursos (tiempos, personal, información, entre otros), formatos, roles y responsabilidades en cada una de los procesos que la conforman.
- ✓ Al definir la interacción de la metodología con herramientas como HAZOP, RCA, Sostenibilidad CMMS Y CBM se fortalece el servicio de consultoría porque permite trabajar en unidad con otros conceptos y áreas de la empresa.

- ✓ Con las normas BS EN 60812 y ISO 14224:2006 se logró realizar la matriz de criticidad combinada, para establecer la jerarquización de los riesgos asociados a equipos, componentes y modos de falla.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR José, TORRES Rocío y MAGAÑA Diana. Failure mode and effects and criticality analysis (FMECA) for maintenance planning using risk and safety criteria. En: Tecnología, Ciencia y Educación. (IMIQ), 2010. vol. 25 No. 1, p. 15-26.

ALVARADO, Erlim Aníbal y MORA, Juan. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos críticos utilizados en las operaciones de transferencia de hidrocarburos de los terminales de Ecopetrol s.a. ubicados en Cartagena. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012. p. 67.

BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BSI ISO 14224:2006. London: 2006.182 p.

BRITISH STANDARD. Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). BS EN 60812:2006. London: 2006.50 p.

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. p.81

GONZALEZ, Maritza. Análisis de riesgo y operabilidad Hazop para arranque en condiciones manuales sin instrumentación de control para la estación de compresión gas natural de Puente Guillermo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2012. p 29.

GRAJALES, Dairo, ORTIZ, Yesid, y PINZÓN, Manuel. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. En: Scientia et Technica. Mayo, 2006, no. 30. 155-160 p.

HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY. Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities, 29 September 2006. TM 5-698-4.

HERNANDEZ, Pedro. Revisión de la Estrategia Actual de Mantenimiento Para la Flota de Compresores Centrífugos de Reinyección De Gas Usados En Las Facilidades de Cupiagua Casanare. Tesis de Especialista En Gerencia De Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2011. p. 70.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Dependability management - Part 3-11 Application guide -Reliability Centred Maintenance. IEC 60300-3-11: 2009. p.15.

Ministry of Defence. Requirements For The Application Of Reliability-Centred Maintenance Techniques To Hm Ships, Submarines, Royal Fleet Auxiliaries And Other Naval Auxiliary Vessels. DEFENCE STANDARD 02-45: July 2000. p. 9.1.

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Bucaramanga 2010.

ORTIZ RUIZ CONSULTORES SAS. 06. Funciones [Diapositivas]. Bucaramanga, 2012. 18 Diapositivas.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999. 30 p.

SAE JA1012. Guide to the reliability- Centered Maintenance (RCM) standard. Society of Automotive Engineers, Inc 2002. 57 p.


Jiménez, Alirio. “Mantenimiento Latino Americano”, [en línea]. Enero del 2013. Disponible en la web: <http://maintenancela.blogspot.com/2013/01/analisis-ram.html>


Berger, David. “Six steps to condition-based maintenance”. [en línea]. 30 de junio del 2013. Disponible en la web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento_asistido_por_computadora

Troffé, Mario. “Análisis ISO 14224/ OREDA. Relación con RCM.FMEA”. [en línea]. Septiembre del 2013. Disponible en la web:
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Plantilla Análisis de Criticidad.

 Criticidad de Equipos PARTE 1 Estación						
UPR-1	Descripción de la UPR-1	UPR-2	Descripción de la UPR-2	Equipo	Descripción del Equipo	Función del Equipo

 Criticidad de Equipos PARTE 2 Estación																								
Seguridad Fuego	Seguridad Explosión	Seguridad Toxicidad	Seguridad Otras	Consecuencia Seguridad	Probabilidad Seguridad	RAM Seguridad	Consecuencia Económica	Probabilidad Económica	RAM Económica	Consecuencia Ambiental	Probabilidad Ambiental	RAM Ambiental	Consecuencia Producción	Probabilidad Producción	RAM Producción	Consecuencia Operacional	Probabilidad Operacional	RAM Operacional	RAM Final	Criticidad Seguridad de procesos	Criticidad	Afectación Directa	Equipo Especial	

Parte 1: Las columnas UPR-1, UPR-2 corresponden a una identificación por unidades productivas (UPR) para poder establecer donde se encuentra el ítem o equipo en la planta.

Parte 2: Las columnas siguientes corresponden a la valoración de la matriz de criticidad de cada uno de los impactos posibles y de sus respectivas probabilidades, estas columnas deben ser llenadas de acuerdo a lo establecido en el punto 5 de la sección 6.2.2.

Anexo B. Metodología FMECA y Plantilla Taller.

 WOOD GROUP PSN	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

**METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTODE PLANES
DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE
HIDROCARBUROS**



	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO	3
2. GLOSARIO	3
3. CONDICIONES GENERALES	6
3.1 Alcance	6
3.2 Equipo de trabajo	6
3.3 Premisas para la evaluación y mejoramiento del plan de mantenimiento	9
4. DESARROLLO.....	13
4.1 Recolección y preparación de información	15
4.2 Identificación de equipos objeto del estudio	21
4.3 Valoración preliminar de criticidad de equipos	21
4.4 Definición / Validación de funciones requeridas y fallas funcionales de componentes.....	24
4.5 Selección / Validación de modos de falla aplicables	25
4.6 Asignación / Validación de efectos y consecuencias a los modos de falla.....	25
4.7 Recolección de información y parametrización de tasa de falla.....	26
4.8 Asignación / Validación de duración y recursos a tareas correctivas.....	29
4.9 Definición / Actualización de tareas proactivas, y asignación de frecuencias, duración y recursos.....	30
4.10 Definición / Validación de tareas a falla y recomendaciones de rediseño	31
4.11 Revisión de resultados y consolidación de plan de mantenimiento	32
4.12 Elaboración de informe final	33
4.13 Asociación de planes estándares de mantenimiento.....	34

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

1. OBJETIVO

Describir la metodología aplicada en el servicio de consultoría para la evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento en las estaciones de bombeo de hidrocarburos.

2. GLOSARIO

Análisis de Falla

Evaluación lógica y sistemática de los modos y causas de falla de un elemento, antes o después de una falla, para identificar sus consecuencias y la probabilidad de ocurrencia.¹

Causa de falla

Circunstancias asociadas con el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento que han conducido a una falla.

Componente

Es cada unidad mínima mantenible que en conjunto integran el Equipo. Un Componente puede ser físico o blando (software). Cada Componente cumple una función técnica específica e indispensable para el funcionamiento del Equipo. Por lo general es susceptible de reparar y/o repotenciar (no es un repuesto), es posible (y aceptado como práctica segura y efectiva) intercambiarlo en Equipos, sus costos de reposición y/o mantenimiento son relevantes o puede impactar considerablemente el desempeño del proceso.

Disponibilidad

Capacidad de un ítem a estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que los recursos externos requeridos se proporcionan.

Elemento

Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda ser considerada de forma individual.

Equipo

Conjunto de Componentes creados para cumplir con una función específica y única dentro de la estructura productiva del área operativa a la que pertenece; su localización es fija y asociada a un centro de costos. Solo sobre Equipos se generan los eventos y se diligencian solicitudes de materiales en el Sistema de Gestión de Mantenimiento.


Equipo Crítico

Aquellos Equipos que en caso de falla tienen alto impacto a la Salud, Medio Ambiente o daño a la propiedad y/o conforman una capa de protección del proceso.

Equipo Especial

Todo aquel que su mantenimiento dependa de lineamientos basados en normas, estándares, leyes o contratos. A este grupo de activos pertenecen típicamente sistemas de contraincendios, válvulas de seguridad (PSV's), sistemas de contingencia y sistemas de medición de transferencia de custodia, entre otros.

¹ Tomado de BS EN 13306:2010. Maintenance – Maintenance terminology.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Falla

Terminación de la habilidad de un elemento para realizar una función requerida.²

Función requerida

Función o combinación de funciones de un ítem que se considera necesario para proporcionar un determinado servicio.

Mantenimiento

Combinación de toda las acciones técnicas y administrativas, incluyendo las acciones de supervisión, intentando retener o restaurar un ítem a un estado en que se puede realizar una función requerida.

Mantenimiento Basado en Condición (CBM, Condition Based Maintenance)

Es una estrategia de mantenimiento basada en la medición de la condición de los equipos con el fin de evaluar si se producirá una falla en algún momento del futuro y luego tomar las medidas adecuadas para evitar las consecuencias. La condición de los equipos se puede medir con el monitoreo de condición, el control estadístico de procesos, el rendimiento del equipo o mediante el uso de los sentidos humanos. El termino Mantenimiento Basado en Condición (CBM), Mantenimiento por condición y Mantenimiento predictivo (PdM) pueden ser usados de igual forma.

Mantenimiento correctivo

Mantenimiento llevado a cabo tras el reconocimiento de fallos y la intención de poner un ítem en un estado en el que este pueda realizar la función requerida.

Mantenimiento predictivo (PdM)

Es una estrategia de mantenimiento de los equipos basada en la evaluación de la condición de un activo para determinar la probabilidad de ocurrencia de la falla y tomar las medidas adecuadas para evitar la falla. La condición de los equipos se puede medir usando tecnologías de monitoreo de condición, control estadístico de procesos, indicadores de funcionamiento del equipo o mediante el uso de sentidos humanos.

Mantenimiento preventivo (PM)

Mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o según los criterios establecidos y encaminadas a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de la función del ítem.

MEI (Maintenance Effectiveness Index)

Índice de Efectividad de Mantenimiento, indica la relación que existe entre las consecuencias económicas y los costos de la estrategia planteada.

Modo de falla

Manera en la que se presenta la terminación de la habilidad de un elemento para realizar una función requerida.


OT

Abreviatura de Orden de Trabajo. La Orden de Trabajo identifica, autoriza y ordena los trabajos a realizar por la organización mantenimiento. De igual forma, actualiza el costo e historia de mantenimiento de la infraestructura de equipo y componentes en CLIENTE.

P&ID

Piping and Instrumentation Diagram/Drawing, es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental.

² Tomado de BS EN 13306:2010. Maintenance – Maintenance terminology.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

PFD

Process Flow Diagram, es un diagrama que indica el flujo general de procesos de la planta y equipos. El PFD muestra la relación entre el equipo principal de una instalación de la planta y no muestra detalles de menor importancia como los detalles de las tuberías y de las denominaciones.

Matriz de criticidad

Matriz de evaluación de riesgos. Herramienta para la evaluación de los riesgos y para su clasificación.

Redundancia


Existencia de más de un medio para realizar una función requerida de un ítem.

Tiempo activo de mantenimiento

La parte del tiempo de mantenimiento durante el cual se realiza una acción de mantenimiento en un ítem, ya sea automática o manualmente, excluidos los retrasos logísticos

Tiempo de logística

Tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede llevarse a cabo debido a la necesidad de adquirir los recursos para el mantenimiento, excluyendo cualquier demora administrativa.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

3. CONDICIONES GENERALES

3.1 Alcance

- Este procedimiento aplica para la evaluación y mejoramiento de mantenimiento de activos en las plantas de hidrocarburos.
- El procedimiento abarca las actividades requeridas desde la preparación de la información necesaria para cada análisis, hasta la entrega del informe final con la consolidación de resultados y recomendaciones.
- Se aplicarán los conceptos de FMECA-RCM (Análisis de modos de falla, efectos y criticidad-Mantenimiento centrado en confiabilidad), con base en criterios de "Riesgo-Costo-Beneficio" para equipos calificados como Críticos, aquellos que sean valorados M, A o MA por la matriz de criticidad de Wood Group y que no sean considerados Especiales. A los equipos fuera de esta clasificación se les asignarán planes estándar de mantenimiento.
- Las actividades de mantenimiento definidas están enfocadas al control de fallas físicas que afecten el desempeño de los equipos. No se analizan fallas humanas o derivadas de falencias en la definición o ejecución de procedimientos de intervención.
- No se incluyen activos estáticos gestionados mediante análisis de integridad mecánica (tanques, oleoductos).


3.2 Equipo de trabajo

El equipo de trabajo deberá asumir los roles listados a continuación, los cuales serán asignados al personal que cumpla los perfiles descritos, de acuerdo a las capacidades de cada una de las plantas donde se implemente el análisis.

- Equipo facilitador
 - o Líder Facilitador Metodología
 - o Soporte Metodología FMECA-RCM
- Especialistas en las áreas de mecánica, eléctrica, instrumentación
- Especialista en Operación y Proceso
- Líder proceso FMECA-RCM

Equipo facilitador


- Recolectar y organizar la información (ver listado completo en numeral 3.3) previa a la ejecución de los talleres en campo y procesamiento en posteriores etapas de consolidación y análisis.
 - o Árbol validado de equipos
 - o Librería de modos de falla
 - o Mantenimientos activos actualmente en el sistema CMMS.
 - o Preparación de la herramienta
 - o Preparación de material de soporte para el taller

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

- Realizar la coordinación logística de convocatoria a los talleres con el personal especialista de cada disciplina de mantenimiento, operaciones y proceso. Esto incluye los trámites de desplazamiento y trámite de documentación para ingreso y desarrollo de labores en las facilidades industriales.
- Facilitar el taller en campo
 - o Moderar el taller
 - o Velar por el cumplimiento del procedimiento establecido
 - o Registrar la información requerida para consolidar el análisis
 - Variables de ecuaciones de pérdida
 - Funciones, fallas funcionales y modos de falla definidos
 - Asignación de efectos de modos de falla
 - Información de caracterización de fallas
 - Actividades recomendadas de mantenimiento (frecuencias, recursos, repuestos, costos)
- Generación y consolidación de resultados
 - o Consolidación de información
 - o Simulación de estrategia de mantenimiento definida en campo
 - o Generación de resultados
 - o Elaboración de informe

Especialistas en áreas mecánica, eléctrica e instrumentación.

- El personal especialista del cliente, orientados por el facilitador, tiene la responsabilidad de proporcionar durante los talleres la siguiente información, contando con el soporte operacional cuando sea necesario:
 - o Presentación de los procesos, sistemas y equipos de la estación analizada
 - o Desempeño histórico de los equipos objeto del análisis
 - o Parámetro operativos de los equipos y componentes de la estación
 - o Modos de falla aplicables a los componentes analizados
 - o Consecuencias asociadas a las fallas analizadas
 - o Tareas correctivas necesarias para restablecer la condición de un equipo en estado de falla
 - o Tareas proactivas aplicables para la mitigación de modos de falla analizados Frecuencias, recursos de personal y tiempos de reparación estimados para la ejecución de tareas correctivas y de mantenimiento proactivo
 - o Descripción de repuestos empleados en tareas correctivas y de mantenimiento proactivo

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Soporte operacional

- Soportar la presentación de los procesos, sistemas y equipos de la estación analizada
- Brindar información relevante para validar tarifas económicas asociadas a los procesos principales de la estación (Tarifas de transporte, multas, tarifas de consumo energético, tarifas de consumo de DRA, tarifas de recursos de personal)
- Soportar cuando sea requerido la asignación de parámetros de criticidad de equipos
- Soportar cuando sea requerido la definición de funciones y fallas funcionales de los componentes analizados
- Soportar cuando sea requerido la asignación de efectos de modos de falla

Líder del proceso FMECA-RCM

- Velar por el cumplimiento del proceso establecido para la evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento.
- Definir la programación de aplicación del proceso para cada una de las plantas.
- Garantizar la disponibilidad del personal de las plantas que soportarán los análisis.
- Proporcionar al equipo facilitador los medios para acceder a los insumos documentales, previo inicio de los análisis de cada estudio, de acuerdo a lo presentado en la matriz de información en el capítulo 3.3.
- Gestionar que quienes asuman el rol de especialistas de cada especialidad de mantenimiento, operación y proceso, cuente con el conocimiento, experiencia y recursos para proporcionar la información que se les solicitará durante de los estudios, según lo registrado en la descripción de estos roles y la matriz de información presentada en el capítulo 3.3.
- Revisar la calidad de los entregables de los estudios de planeación estratégica de mantenimiento, garantizando el cumplimiento de los procedimientos establecidos para tal fin en este documento, coherencia de los resultados generales y claridad de las recomendaciones emitidas.
- Divulgar los resultados de los estudios entre los procesos que interactúan con la Planeación Estratégica del Mantenimiento, dentro del ciclo de gestión de riesgo de los activos físicos productivos (Planeación y Programación de mantenimiento, Operación y Mantenimiento de Transporte, Optimización del Desempeño de los activos y Gestión de Inventarios).

Gestionar la continuidad del ciclo de evaluación y mejoramiento de Planes de mantenimiento hasta su implementación y seguimiento de la efectividad.

3.3 Premisas para la evaluación y mejoramiento del plan de mantenimiento

Las siguientes premisas, hacen referencia a aspectos que deben ser asegurados para la correcta implementación de este procedimiento.

Aseguramiento de perfiles

- Garantizar que el personal involucrado cuente con la experiencia y competencias para soportar las responsabilidades descritas en el numeral 3.2 (Equipo de trabajo).
- Dar a conocer al equipo de trabajo el presente documento y el material de soporte que se empleará durante el taller, para asegurar la comprensión de las actividades y responsabilidades que cada uno de los roles tendrá que asumir.


Aseguramiento de información de entrada para los estudios

- Se debe contar con la información para la ejecución de los análisis, según las responsabilidades establecidas en la matriz de Información presentada al final de este capítulo.

Ejecución de talleres en campo

- Para la ejecución de los talleres se deberá contar con el espacio suficiente para el grupo de trabajo y las siguientes facilidades:
 - o Proyector
 - o Tablero
 - o Facilidades de conexión eléctrica para computadores
 - o Facilidades de comunicación necesarias para realizar consultas que el grupo de técnicos considere necesarias para suministrar la información recopilada en el taller.
- La duración precisa de los talleres será variable, dependiendo del número de activos de cada una de la estación. La presentación del cronograma general del ejercicio debe tener el siguiente formato:

		CRONOGRAMA																				
Actividad	Recurso	L	M	MI	J	V	S	D	L	M	MI	J	V	S	D	L	M	MI	J	V	S	
Introducción	Grupo RCM	■																				
Análisis de criticidad	Grupo RCM		■	■	■																	
FMECA	Grupo RCM					■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Asignación de tareas	Mecánico																					
	Eléctrico															■	■	■	■	■	■	■
	Instrumentista																					

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Matriz de información


Información Requerida	Prioridad	Asociado a:	Información contenida NORMA ISO 14224	Descripción de Utilidad
Árbol de equipos con sus componentes	ALTA	Mtto	Locación, Clasificación, Características de diseño, Datos de instalación, Datos de fabricación.	Proporcionado por El grupo gestor (Cliente). Es útil al momento de comprender el estado actual de la planta y su jerarquía (Unidades productivas, Sistemas, Subsistemas, equipos, componentes)
Diagramas de flujo del proceso	ALTA	Producción	P&ID	Proporcionados por el cliente, ayudan a entender cómo es el proceso operativo y sus características principales.
Manual de operación de la planta	ALTA	Producción	Modo de operación de cada equipo.	Este documento es proporcionado por el cliente. Su estudio ayuda a entender el funcionamiento a grandes rasgos de la planta y sus principales funciones a nivel macro. También contribuye a identificar la ubicación física de los equipos, flujos, productos en la planta.
Seguridad de procesos	ALTA	Mto	Tiempo de funcionamiento acumulado Periodo de vigilancia.	Mediante la interacción y apoyo con el área de seguridad de procesos se obtienen los P&ID, PFD, Lógicas narrativas disponibles con el fin de comparar lo aprendido en otras áreas con lo que suministrado por el grupo gestor (Cliente).
Listado de capacidades de producción por línea	MEDIA	Producción	Capacidad de producción.	Proporcionado por el grupo gestor (Cliente). Documento útil para entender las capacidades máximas de los equipos, revisar los históricos de despacho, datos de producción y almacenamiento.
Tarifas económicas asociadas a los procesos de la planta	ALTA	Producción	No necesaria según norma.	Sirve para conocer las tarifas de transporte por recibo y despacho, multas y costos adicionales asociados a la operación.
Planes de contingencia de los equipos principales	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Útil para entender que se debe hacer y cuál es la pérdida real cuando se presentan fallas en los equipos.



**METODOLOGIA PARA LA
EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO
EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS**

Versión: 0

Planes estándares de mantenimiento	ALTA	Mto	Actividad de mantenimiento, Categoría del mantenimiento, Plazo de ejecución, Pieza de cambio, Herramientas de mantenimiento, Tasa y prioridad de las tareas de Mto.	Documentarse sobre los planes actuales de mantenimiento aprobados por la autoridad técnica de la planta.
Archivo de OT's:	MEDIA	Mto	Fecha de mantenimiento, Actividad de mantenimiento, Tiempo de inactividad, Pieza de cambio, Mantenimiento horas-hombre, por disciplina y horas-hombre, total. Pieza de cambio.	Archivo donde se puede conocer los históricos de falla, consumo de repuestos y recursos, descripción de falla en cada uno de los equipos y/o unidades principales.
Proyectos de reparación mayores	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Sirven para conocer las frecuencias de mantenimiento mayor y los hallazgos de encontrados durante el OverHaul de los equipos.
Informes CBM	ALTA	Mto	Equipo, Ítem mantenible, Mecanismo de falla, Causa falla, Método de detección, Dato de falla, Causa común del porcentaje de averías, Mecanismo de daños, Medidas recomendadas para eliminar la causa de la falla, Piezas de recambio, Probabilidad de falla en operación.	Mediante la interacción con el área de CBM se obtiene en apoyo en materia de técnicas predictivas aplicadas en los equipos con sus respectivas frecuencias, así como tarifas las tarifas relacionadas con la actividad.
Listado proveedores y servicios contratados	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Documento que permite conocer el nombre del contratista, en qué estado está el contrato y tipos de repuestos o servicios provee.
Listado de repuestos críticos de la planta	ALTA	Mto	Listado de piezas y catálogos.	Identificar los costos, parte número, si están catalogado en el CMMS de los equipos críticos y de contingencia
Manuales de equipos	ALTA	Mto	Listado de piezas Catálogos Condiciones de funcionamiento.	Documento de apoyo para entender los datos y aspectos técnicos descritos por el fabricante.

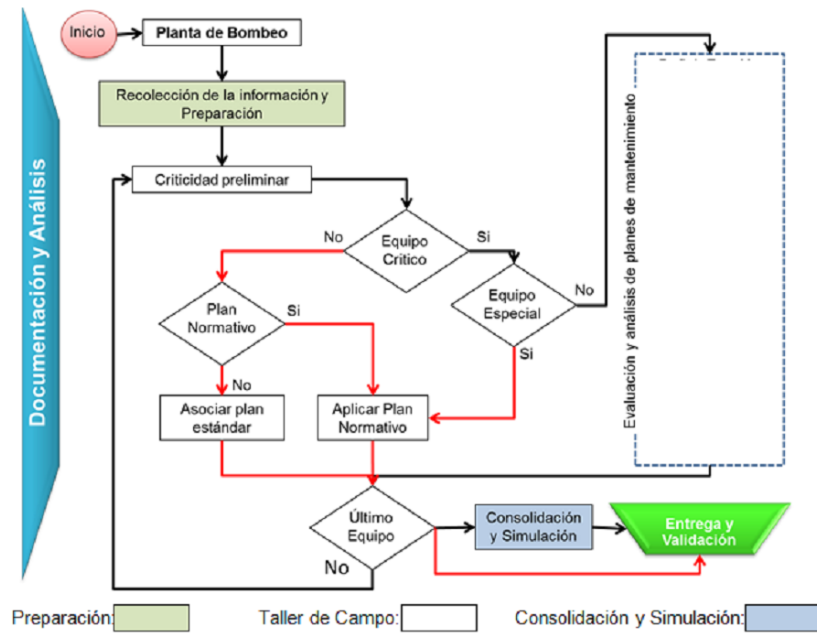
	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

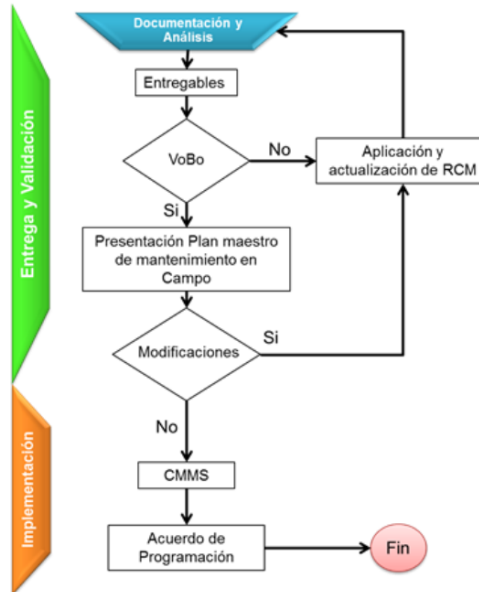
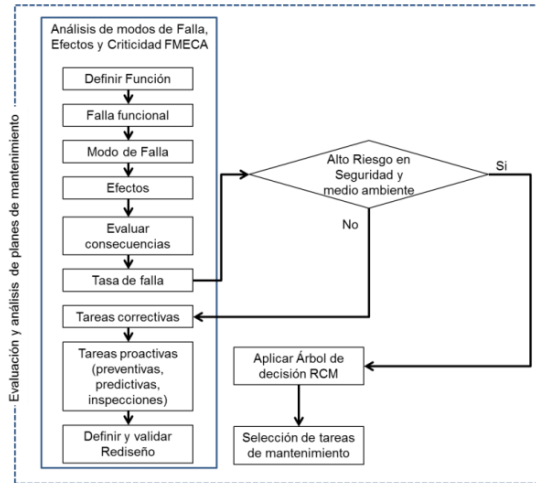
Análisis RCA´s	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Recurso de apoyo para entender fallas históricas entendiendo el motivo del análisis, planes de acción, resultados y sus conclusiones del estudio.
RCM anteriores	ALTA	Mto	No necesaria según norma.	Revisar documentación interna del área para entender modos de falla de cada familia de componentes en El grupo gestor (Cliente).
Lecciones aprendidas	BAJO	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Las modificaciones en los planes de mantenimiento de un equipo cuando se ha presentado una falla deben ser tenidas en cuenta con estos documentos.
Condiciones de garantía	BAJO	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministradas por el cliente y sirven de apoyo para mantener la condición de garantía de un equipo.
Requerimientos de ingeniería	ALTA	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministrados por el cliente.
Mejores prácticas	ALTA	Mto	No necesaria según norma, pero requerida en la SAE J1739	Suministrados por el cliente.


Mtto: Mantenimiento.

4. DESARROLLO

El diagrama siguiente, esquematiza las principales actividades a desarrollar durante la evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento.





	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

4.1 Recolección y preparación de información

4.1.1 Información de entrada

Objetivo

Recopilar la información base necesaria para desarrollar el análisis

Responsable

Líder Equipo facilitador

Descripción

Recolectar la información de entrada para la realización de los estudios, de acuerdo al listado siguiente:

- Árbol de equipos validado
- Listado de Equipos críticos definidos bajo los parámetros de seguridad de procesos
- Listado de códigos de clasificación de componentes
- Reporte de planes activos de mantenimiento cargados en CMMS
- Reportes de OT´s registradas en CMMS
- Listado de malos actores del Cliente
- P&ID´s, PFD, Causa Efectos, Pantallazos del proceso de cuarto de control
- Manual de operación de la estación
- Manuales de equipos
- Reportes de consumo de repuestos de CMMS
- Planes estándares de mantenimiento desarrollados por los comités técnicos
- Planes estándares de mantenimiento correspondientes a equipos especiales
- Norma ISO 14224

4.1.2 Preparación de información de jerarquía de activos

Objetivo

Estructurar y complementar la información del árbol de equipos, para ser empleada durante los talleres en campo.

Responsable

Equipo facilitador

Descripción

- Clasificar los activos según un nivel dentro del árbol de equipos como Unidades productivas (UPR), Equipos y Componentes, de acuerdo a la información extraída del código identificador

- Relacionar la clasificación de componentes asignada por el Cliente, con la clasificación equivalente de equipos consignada en la norma ISO 14224.
- Identificar los equipos críticos definidos bajo el lineamiento de seguridad de procesos (Si aplica)




4.1.3 Preparación de información de Efectos y Consecuencias

Objetivo

Estructurar la información a ser empleada para la calificación de las consecuencias de los modos de falla analizados

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Descripción

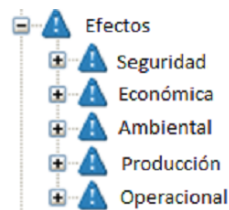
- Los efectos serán categorizados de manera alineada con la matriz de criticidad de Wood Group o del de Cliente si este así lo requiere, contemplando las siguientes categorías: Seguridad, Económica, Ambiental, Producción, Operacional.

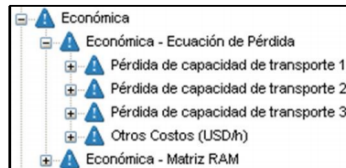
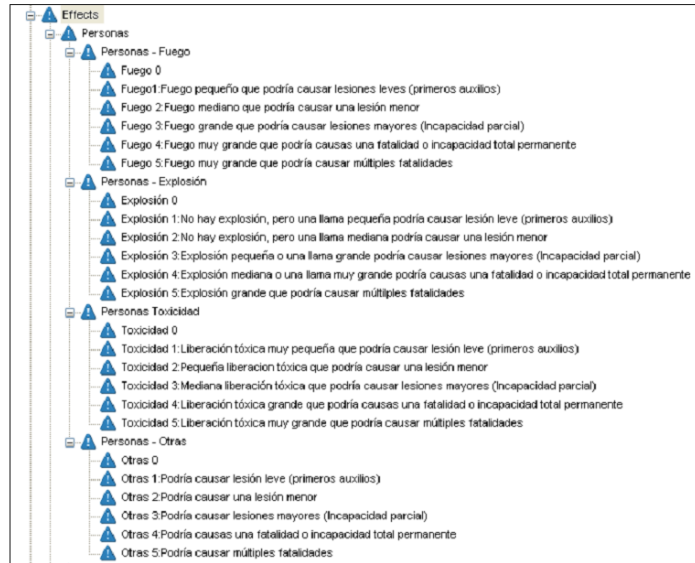
- El aspecto económico tendrá dos agrupadores.

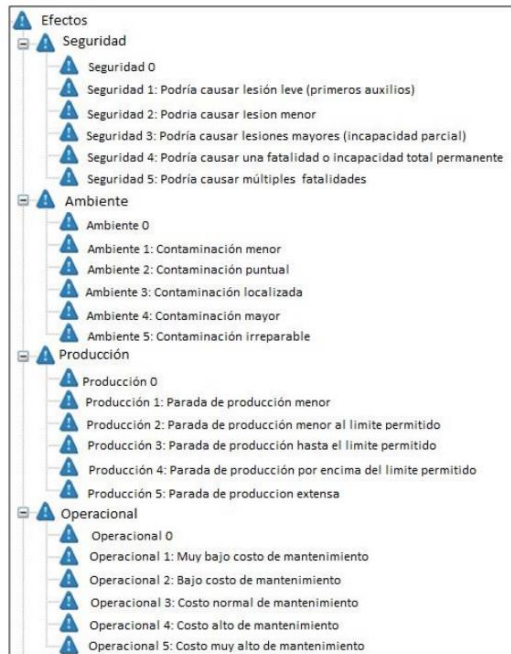
El primer agrupador corresponde a las ecuaciones de pérdida, donde se relacionan las consecuencias económicas según una tasa horaria, permitiendo simular el costo esperado, según el tiempo que se tome la reparación del modo de falla analizado. Los efectos relacionados con las Ecuaciones de Perdida representan porcentajes de pérdida de la ecuación analizada (Pérdida de capacidad de transporte, Aumento de consumo de energía, etc.)

El otro grupo está asociado con los parámetros de la matriz de criticidad, y se empleará para estimar el impacto según niveles de costo esperado por evento analizado, cuando no se pueda asignar un costo por hora. Se tendrán parametrizados 5 rangos de costos, alineados con la matriz de criticidad.

- El aspecto correspondiente a Seguridad, tendrá un nivel adicional de agrupamiento donde se estipulen las consecuencias correspondientes a Fuego, Explosión y Toxicidad, alineados con los criterios evaluados por seguridad de procesos (Si aplica). Cada aspecto contará con 5 niveles de severidad, alineados con la matriz de criticidad.
- Los aspectos de Ambiental, Producción y Operacional, tendrán parametrizados 5 niveles de severidad, alineados con la matriz de criticidad.







4.1.4 Preparación de librería ISO

Objetivo

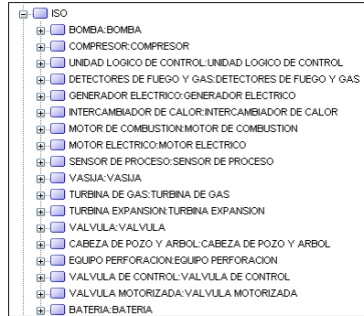
La librería ISO hace referencia a una clasificación de familias de equipos de acuerdo a la norma ISO 14224. Esta librería tiene como objetivo precargar información relacionada a las diferentes familias de equipo, que pueda ser empleada durante los talleres en campo.

Responsable

Equipo facilitador


Descripción

- Se crean locaciones conformadas por las familias de equipos según la norma ISO 14224



- Crear un listado de funciones generales y fallas funcionales relacionadas con cada familia de equipos ISO. Las fallas funcionales de manera estándar harán referencia a tres escenarios:
 - o Pérdida total de la función
 - o Pérdida parcial de la función
 - o Pérdida de contención
- Se relacionan los modos de falla aplicables a cada familia de equipos alineados a la norma ISO 14224
- Se relacionan los planes de mantenimiento actuales asociados con los tipos de equipos clasificados por Cliente, y su correspondencia con las familias ISO



	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

4.2 Identificación de equipos objeto del estudio

Objetivo

Definir los equipos que serán alcance de los talleres de definición y actualización de planes de mantenimiento.

Responsable

Equipo de trabajo

Descripción

- Se describe el proceso general de la estación, los sistemas y equipos que conforman al mismo
- Se establecen los equipos que serán tenidos en cuenta en el estudio de acuerdo a los lineamientos establecidos en las condiciones generales.
 - o Equipo dinámico de proceso
 - o No se incluyen activos estáticos gestionados mediante análisis de integridad (Tanques, tuberías)
 - o No se incluyen activos que no sean parte del proceso de negocio (luminarias, aires acondicionados de oficinas, etc.)

4.3 Valoración preliminar de criticidad de equipos

Objetivo

Identificar los equipos críticos de la estación objeto de análisis, los cuales serán analizados bajo lineamientos metodológicos de FMECA-RCM. Los equipos clasificados como no críticos, serán gestionados con planes estándares de mantenimiento.


Responsable

Equipo de trabajo

Descripción


- El análisis será realizado a nivel de equipos
- Se establece cómo criterios a ser evaluados los consignados en la matriz de criticidad:

En la evaluación de criticidad de equipos se emplean dos herramientas, estas son la Matriz DE CRITICIDAD y el Procedimiento para Identificar Componentes, Equipos y Sistemas Críticos de Seguridad de Procesos (Si aplica). Los equipos serán analizados en primera instancia aplicando la Matriz DE CRITICIDAD según los lineamientos siguientes.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Consecuencia					Probabilidad					
Seguridad	Económica	Ambiental	Producción	Operacional	N S	Esporádica	Remoto	Ocasional	Probable	Frecuente
						A	B	C	D	E
Pérdida de vidas	Desastre >10X10 ⁶ US	Contaminación Irreparable	Parada extensa de producción	Costo muy alto de mantenimiento	5	M	M	A	A	M A
Lesión Grave Incapacidad permanente	Alarmante 1 a 10X10 ⁶ US	Contaminación Mayor	Parada de producción por encima del límite permitido	Costo alto de mantenimiento	4	B	M	M	A	A
Lesión con tratamiento medico	Severo 0,1 a 1X10 ⁶ US	Contaminación Localizada	Parada de producción hasta el límite permitido	Costo Normal de mantenimiento	3	N	B	M	M	H
Lesión sin tratamiento medico	Significativo 0,1 a 1 X10 ⁵ US	Contaminación Puntual	Parada de producción menor al límite permitido	Bajo costo de mantenimiento	2	N	N	B	B	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <10000 US	Contaminación Menor	Parada de producción menor	Muy bajo costo de mantenimiento	1	N	N	N	B	B
Ninguna lesión	< 1000 US	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

- La evaluación de la criticidad se desarrolla por medio de tres preguntas fundamentales (cuando apliquen) y se evalúan los 5 criterios de la matriz Las preguntas realizadas son:
 - oCuál es la consecuencia más probable en caso presentarse una falla que interrumpa por completo la función del equipo?
 - oCuál es la consecuencia más probable en caso de presentarse una falla que interrumpa parcialmente la función del equipo?
 - oCuál es la consecuencia más probable en caso de presentarse una falla en la contención del equipo?

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0


- Cuando la respuesta ubique la consecuencia en el nivel 4 o 5 de severidad en la matriz DE CRITICIDAD, el equipo será considerado cómo crítico.
- Si la respuesta ubica la consecuencia en los niveles 2 o 3, se evaluará el criterio de probabilidad dentro de la matriz, y se definirá como crítico, los equipos que queden clasificados como riesgo Medio, Alto o Muy Alto (M, A, MA).
- Se identifican los equipos críticos que sean considerados especiales. Estos equipos hacen referencias a activos que por normatividad interna o externa, tienen definido dentro de la estación de bombeo, estrategias de mantenimiento ya definidas y de obligatorio cumplimiento (Ej.: equipos de medición, equipos contra incendio)
- Los equipos críticos no especiales, serán analizados bajo lineamientos de FMECA-RCM definiendo nuevos planes o validando y complementando los actuales, dependiendo de la existencia previa de planes de mantenimiento asociados a los equipos.
- Los equipos especiales y los equipos no críticos serán analizados a la luz de planes estándares de mantenimiento (Ver numerales 4.14 a 4.15)

Ecuaciones de Pérdida

Para soportar la evaluación del aspecto económico, será necesario definir las ecuaciones de pérdida de la estación.

Para la definición de estas ecuaciones debe existir dentro del grupo un amplio conocimiento del proceso de la planta y su interacción con los demás procesos productivos.

- La definición de las ecuaciones de pérdida de producción se realiza verificando las pérdidas económicas que se generan por la falla funcional de un activo. 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
- Definirlas en la condición más probable
- Debe tener en cuenta los productos intermedios
- El equipo debe validar dichas ecuaciones durante las actividades iniciales del taller

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

EVALUACION Y MEJORAMIENTODE PLANES DE MANTENIMIENTO

Los numerales 4.4 a 4.13 describen el proceso a seguir para definir nuevos planes de mantenimiento o validar planes existentes asociados a componentes de equipos críticos no especiales,

4.4 Definición / Validación de funciones requeridas y fallas funcionales de componentes

Objetivo

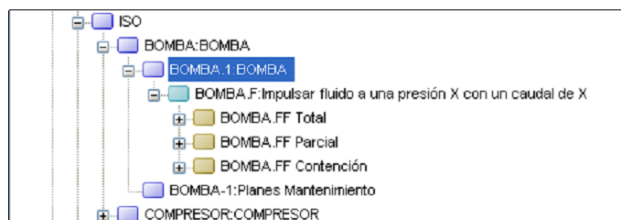
Identificar / Actualizar las funciones de los componentes a ser analizados, y las fallas funcionales más relevantes.


Responsable

Equipo facilitador / Especialistas de mantenimiento / Especialista de operación y proceso / Profesional de confiabilidad.

Descripción

- Dentro de la librería ISO, se cuenta con una definición general de las funciones de las diferentes familias de componentes asociados a una planta.
- Se contará con una función única por componente, que refleje los requerimientos de funcionamiento esperados de la familia de componente analizado.
- Durante el taller se ajustarán los parámetros que describan a cada función, según los datos específicos de la estación, el sistema y el equipo donde se encuentre el componente analizado. Si ya existe una definición anterior de la función, está será validada y actualizada de ser necesario
- Dentro de la librería, cada función tiene relacionado tres fallas funcionales estándares, que serán empleadas dentro del análisis de cada componente, según sea el caso de aplicabilidad:
 - o Incumplimiento total de la función productiva analizada
 - o Incumplimiento parcial de la función productiva analizada
 - o Incumplimiento en la función de contención del componente



	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

4.5 Selección / Validación de modos de falla aplicables

Objetivo

Identificar / Validar los modos de falla que serán analizados para cada componente, y sobre los cuales serán definidos planes de mantenimiento que mitiguen el riesgo asociado a ellos.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

Descripción

- La librería ISO cuenta con un listado de modos de falla que son potencialmente aplicables a cada familia de componentes, alineados con la norma ISO 14224. Estos modos de falla han sido relacionados con cada falla funcional de la librería.
- Se hará un recorrido por el listado de modos de falla para cada falla funcional analizada, y se definirán los aplicables basándose en la experiencia del equipo analista. Si existe una asignación previa de modos de falla, se validará y actualizará de ser necesario

4.6 Asignación / Validación de efectos y consecuencias a los modos de falla

Objetivo


Identificar cuál es el efecto esperado cuando se presente el modo de falla analizado, valorando su criticidad y orientando las necesidades de mantenimiento para mitigar el riesgo asociado a dicho modo de falla.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

Descripción

- Los efectos y consecuencias que pueden ser asignadas a la ocurrencia de un modo de falla, se describen en el numeral 4.1.3 (Preparación de información de efectos y consecuencias)
- Antes de asignar los efectos correspondientes, es necesario describirlos al grupo analista, para garantizar el entendimiento de los mismos y su correcta asignación. Los efectos relacionados con las ecuaciones de pérdida (consecuencias económicas con una rata horaria) deberán ser validados, para incorporar la información ajustada a la estación correspondiente (tarifa de transporte, costo de consumo de energía, etc.)
- Si existe una asignación previa de efectos, se validará y actualizará de ser necesario. La asignación de los efectos se realizará respondiendo las siguientes preguntas:

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

- La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias cuantificables con las ecuaciones de pérdida validadas? (consecuencias económicas relacionadas directamente con el tiempo transcurrido para restablecer la función)
 - Si la respuesta es afirmativa:
 - Cuál es el porcentaje de pérdida aplicado? (según la ecuación aplicable: Ej.: Pérdida del 50% de capacidad de transporte)
 - Cuántos componentes redundantes tiene?
 - Cuántos de los componentes redundantes se requieren para cumplir la función del sistema?
- La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias relacionadas con los criterios de la matriz de criticidad?
 - Personas
 - Económicas (diferentes a las asociadas con las ecuaciones de pérdidas)
 - Ambientales
 - Operacional
 - Producción
- Para los criterios en donde se determine que existe una afectación, cuál es el nivel de severidad más probable dentro de las 6 opciones presentadas?
- Cuántos componentes redundantes tiene?
- Cuántos de los componentes redundantes se requieren para cumplir la función del sistema?

4.7 Recolección de información y parametrización de tasa de falla

Objetivo


Recopilar la información respecto a la frecuencia de ocurrencia del modo de falla analizado, basándose en la experiencia del personal técnico especialista, y la información del sistema de gestión de mantenimiento, que permita estimar una distribución de probabilidad que se acerque al comportamiento esperado del modo de falla y permita realizar pronósticos sobre su ocurrencia.

Responsable

Equipo facilitador / Especialistas / Profesional de confiabilidad

Generalidades

La definición de tareas de mantenimiento está enfocada a la mitigación del riesgo asociado a los modos de falla que puedan afectar el desempeño de los componentes analizados. El riesgo se cuantifica identificando las consecuencias que implican la ocurrencia del modo de falla y la frecuencia esperada de ocurrencia. Para identificar esta frecuencia es necesario encontrar una distribución de probabilidad que refleje el comportamiento esperado de esta variable, y que permita identificar cuantas fallas se esperan en un intervalo de tiempo determinado.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Calidad y cantidad de registros de falla en el CMMIS

Es posible que al analizar los registros históricos de fallas y mantenimiento en el CMMIS, se encuentren datos insuficientes o poco confiables para establecer la base que definirá la función de distribución de probabilidad de falla de los modos analizados. Las principales razones que pueden generar esta situación, se listan a continuación:

- Comentarios con escasa información, poco descriptivos, bajo nivel de detalle o inútiles como fuente narrativa del hecho; además de, múltiples inconsistencias con las otras referencias escritas en la OT.
- Incongruencias en la clasificación del tipo de mantenimiento fundamentadas en la descripción del trabajo y los comentarios de este. Comentarios que hacen referencia a un mantenimiento preventivo y se clasifica como mantenimiento correctivo, o viceversa.
- Errónea clasificación o falta de clasificación de los modos de falla, basándose en el tipo de trabajo y/o los comentarios descritos en la misma OT.
- Ausencia de la adjudicación del trabajo realizado a un componente y/o equipo.
- Falta de información de trazabilidad del componente analizado. Traslados, modificaciones o desmontajes no actualizados en el sistema o de baja calidad en su documentación.

En caso de presentarse la situación descrita anteriormente se optará por realizar un análisis basado en la experiencia del personal especialista de mantenimiento de la planta. Esta aproximación se conoce como subjetiva o Bayesiana.

4.8.1 Parametrización de falla con base en estadísticos

4.8.2 Parametrización de falla Bayesiana.

Estrategia de análisis


Se abordará el análisis basándose en la experiencia del personal de la estación. Con esta experiencia se puede establecer cuándo se han presentado fallas y cuándo se han presentado periodos de mantenimiento libres de falla. Esta información se empleará para hacer análisis estadísticos que permita establecer las funciones de probabilidad que mejor describan el comportamiento a falla de los componentes analizados.

Recolección de información durante taller de FMECA

Durante el taller se recopilará la experiencia del personal, el número eventos presentados en un tiempo específico relacionados al modo de falla que se esté analizando. Estos eventos deben tomar en cuenta la totalidad de componentes de la misma familia que trabajen en condiciones equivalentes, a los cuales el análisis final será aplicado de manera indistinta.

Adicionalmente se recopila la información de la frecuencia de tareas mantenimiento que se apliquen para mitigar el modo de falla, o si no se realiza ninguna tarea para tal fin. A continuación algunas preguntas que pueden ayudar para la recolección de esta información.

27/34

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

- Cuantas veces por año en promedio se presenta el modo de falla en el componente analizado y los componentes de respaldo?
- El modo de falla se presenta usualmente después de un tiempo específico de funcionamiento de los equipos? O se ha presentado con tiempos de operación variados.
- El modo de falla es diagnosticable empleando métodos predictivos?
- Cuanto tiempo de operación sin falla lleva el componente analizado y sus respaldos desde la última falla o mantenimiento mayor?

Estimación de rangos de tiempos de falla

Los rangos de tiempos de falla hacen referencia al intervalo de tiempo durante el cual una falla se presenta en un componente. Este tiempo se mide desde el momento en que el componente ha sido instalado por primera vez o desde el momento que ha sido restablecido a su condición inicial por medio de una reparación correctiva o un mantenimiento preventivo. Al no tener referencia exacta de cuánto tiempo, después de un mantenimiento, transcurrió antes de la falla, se toma un rango de tiempo no un número único. Este rango se establece como el intervalo entre los mantenimientos, rango dentro del cual se debió presentar el problema analizado. De esta manera, si se presentaron dos fallas y el periodo entre mantenimientos es de 3 meses, se registran 2 datos de falla con tiempo entre 0 y 3 meses.

Estimación de suspensiones

Las suspensiones hacen referencia a tiempos libres de falla antes de restablecer los componentes a su condición inicial. Este tiempo se establece como el intervalo de mantenimiento sin contar el número de fallas presentadas. De esta manera si de 12 intervalos de mantenimiento de 3 meses se presentaron 2 fallas, se tendrían 10 suspensiones de 3 meses cada una.

Asignación de parámetro de forma de distribución de probabilidad

El parámetro de forma de la distribución de probabilidad de Weibull (distribución asumida para el análisis Weibayes) hace referencia al comportamiento esperado de la rata de falla instantánea asociada a un modo de falla (Creciente, decreciente, constante). Tomando en cuenta la experiencia del grupo de CBM de Wood Group PSN, se identificaron los modos de falla que típicamente presentan un comportamiento constante en su rata de falla instantánea, lo que implica que no depende del tiempo transcurrido, en estos casos se determina cómo parámetro de forma de la distribución un valor de uno (1)

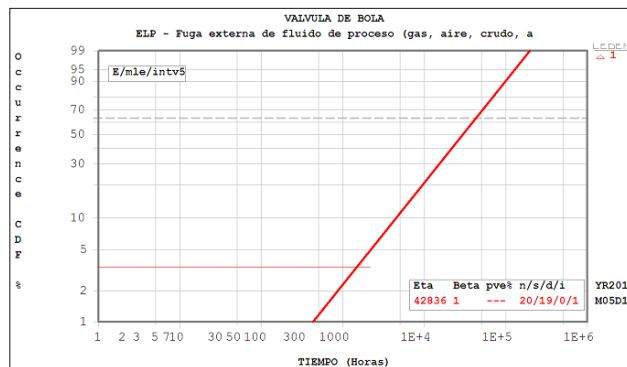
Los modos de falla a los que no se les puede asociar un comportamiento constante de la rata de falla instantánea, son aquellos que a medida que el tiempo transcurre su rata de falla se incrementa. Este comportamiento está asociado típicamente a fenómenos de desgaste. En estos casos el parámetro de forma de la distribución es mayor a uno (> 1).

Para determinar qué valor mayor a uno (> 1) asumir para la distribución, se toma en cuenta que existe un grado de incertidumbre alto, debido a la ausencia de datos exactos de falla y suspensiones. A medida que se tenga un valor del parámetro de forma más grande, se tiene una mayor certeza de que una falla se puede presentar en las cercanías al tiempo medio de falla. A medida de que el valor este cercano a 1, habrá más incertidumbre respecto a la ocurrencia de la falla. La probabilidad de falla aumentará a medida que se acerca el tiempo medio de falla, sin embargo se simulan más datos dispersos, respecto a esta media. Tomando esto en cuenta, se determinó asignar un valor de Beta de 1,5, el cual permite simular un comportamiento de desgaste, con un nivel de incertidumbre alto.

Estimación de parámetro de escala de la distribución

Con los datos definidos de rangos de tiempos de falla y suspensiones, se procede a realizar un análisis de Weibayes para encontrar el parámetro de escala de la distribución. Este análisis se aplica empleando un software especializado en análisis de distribución de falla de equipos.

El resultado de estos análisis se puede apreciar gráficamente de la siguiente forma.



En los casos, donde no se aplica mantenimiento, se toma como valor de Eta, el tiempo medio entre falla, calculado con el número de fallas recopilado durante el ejercicio y el tiempo transcurrido.


4.8 Asignación / Validación de duración y recursos a tareas correctivas

Objetivo

Identificar el esfuerzo en tiempo, recursos y partes requeridos para corregir el modo de falla cuando se presenta

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Descripción

- Definir Qué tarea se aplicaría para corregir el modo de falla si se presenta?
- Asignar la duración estimada para esta tarea (tiempo efectivo sobre el equipo)
- Estimar los recursos de personal que se requiere para ejecutar la tarea y el tiempo de utilización de cada recurso. Las tarifas asignadas al uso del personal deberán ser validadas
- Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea (Ej. Servicio de reparación)
- Si existe una asignación previa de información de la tarea correctiva, se validará y actualizará de ser necesario

4.9 Definición / Actualización de tareas proactivas, y asignación de frecuencias, duración y recursos

Objetivo


Identificar tareas de mantenimiento que se aplicarán para mitigar el riesgo que presenta el modo de falla analizado, al igual que el esfuerzo en tiempo, recursos y partes requeridos para ejecutar las tareas planteadas.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

Descripción

- Se verifica si el modo de falla puede ser controlado por medio de una práctica predictiva (o se validan las tareas existentes). En caso positivo, se asigna la información de frecuencia, recurso y costo asociado al monitoreo de la condición.
- Se identifica que tarea planeada que se ejecutaría en caso de ser evidenciado el inicio de un modo de falla por medio del monitoreo de su condición, y se relaciona la siguiente información:
 - o Duración estimada para esta tarea (tiempo efectivo sobre el equipo)
 - o Recursos de personal que se requiere para ejecutar la tarea y el tiempo de utilización de cada recurso
 - o Repuestos que se requieren para ejecutar la tarea, consignando la siguiente
 - Descripción
 - Número stock
 - Parte número
 - Bodega de atención
 - Fabricante
 - Vendedor
 - Costo estimado del repuesto.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

- Tiempo estimado de llegada del repuesto desde la requisición del mismo
 - Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea (Ej. Servicio de reparación)
- Si el modo de falla no se puede controlar en su totalidad con una práctica predictiva, se identifican actividades preventivas (o validan las existentes) que mitiguen el riesgo asociado, y se relaciona la siguiente información:
- Duración estimada para esta tarea (tiempo efectivo sobre el equipo)
 - Recursos de personal que se requiere para ejecutar la tarea y el tiempo de utilización de cada recurso
 - Repuestos que se requieren para ejecutar la tarea, consignando la siguiente información:
 - Descripción
 - Número stock
 - Parte número
 - Bodega de atención
 - Fabricante
 - Vendedor
 - Costo estimado del repuesto.
 - Tiempo estimado de llegada del repuesto desde la requisición del mismo
 - Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea (Ej. Servicio de reparación)
 - Costos adicionales en que se incurran en la aplicación de la tarea (Ej. Servicio de reparación)

4.10 Definición / Validación de tareas a falla y recomendaciones de rediseño

Objetivo


Identificar tareas de rediseño requeridas para mitigar el riesgo de modos de falla que no puedan ser controlados con prácticas proactivas, y determinar los modos de falla que serán tratados con tareas correctivas.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

Descripción

- Si el riesgo asociado con el modo de falla analizado no puede ser controlado efectivamente con tareas proactivas de mantenimiento, se identifican las necesidades de rediseño, que permitan mitigar el riesgo identificado y estimar el costo de implementar dichas tareas.
- Si existían actividades de rediseño planteadas con anterioridad, se verifica su implementación

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

- Determinar si el riesgo asociado al modo de falla está bajo límites aceptados por la organización, y la aplicación de tareas proactivas es más costoso que la corrección del problema cuando se manifieste, definir la tarea correctiva cómo estrategia de mantenimiento a emplear, o validar esta decisión si es la estrategia actual.

4.11 Revisión de resultados y consolidación de plan de mantenimiento

Objetivo


Simular el comportamiento esperado de acuerdo a las definiciones de modos de falla y tareas planteadas y consolidar la información de la estrategia de mantenimiento recomendada para gestionar los activos de la estación analizada.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad

Descripción

- Con la información caracterizada se prosigue a simular la estrategia planteada de mantenimiento e identificar la información siguiente
 - o Costo estimado de aplicación de estrategia definida
 - o Consumo estimado de recursos
 - o Consumo estimado de repuestos
 - o Modos de falla críticos según criterios de matriz DE CRITICIDAD de Cliente
 - o Repuestos Críticos alineados a los modos de falla críticos identificados
 - o Ranking de criticidad de modos de falla según simulación de riesgo asociado a cada uno (impacto x ocurrencia)
 - o Relación de costo beneficio de la aplicación de la estrategia de mantenimiento planteada.
- Se agrupan las tareas de mantenimiento definidas de acuerdo al componente y equipo asociado, así como a las frecuencias comunes de ejecución.

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

4.12 Elaboración de informe final

Objetivo

Consolidar los resultados del análisis, conclusiones y recomendaciones


Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad

Descripción

El informe de cada una de las plantas estará estructurado con los temas principales listados a continuación:

- PRELIMINARES
 - o Objetivos
 - o Alcance
 - o Participantes
 - o Programa de trabajo
- DESARROLLO
 - o Preparación de información
 - o Desarrollo de taller en campo
 - Introducción
 - Presentación del procesos y facilidades
 - Validación de ecuaciones de pérdida
 - Análisis preliminar de criticidad
 - Análisis FMECA de componentes de equipos críticos
 - Definición de tareas de mantenimiento (tareas, frecuencias, duraciones, recursos y repuestos) para componentes de equipos críticos
 - Definición de tareas de rediseño
 - Definición de tareas de mantenimiento (tareas, frecuencias, duraciones, recursos y repuestos) para componentes de equipos no críticos
 - o Consolidación de información post taller
- SIMULACIÓN Y GENERACIÓN DE RESULTADOS
 - o Simulación de planes de mantenimiento en herramienta
 - o Definición de equipos y repuestos críticos
 - o Definición de costos asociados con la estrategia de mantenimiento simulada
 - o Cuantificación de costo/beneficio de los planes de mantenimiento
 - o Definición de niveles recomendados de repuestos (esta información deberá consolidarse en ejercicios posteriores una vez se tenga el resultado de las plantas que se gestionen con una misma bodega)
 - o Recomendaciones generales

	METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

PLANES ESTÁNDARES DE MANTENIMIENTO

Para equipos que han sido clasificados cómo no críticos.

4.13 Asociación de planes estándares de mantenimiento

Objetivo

Asociar planes de mantenimiento estándar a los equipos que no son analizados bajo los lineamientos FMECA-RCM, debido a ser equipos clasificados cómo No Críticos o Especiales.

Responsable

Equipo facilitador / Profesional de confiabilidad / Especialistas

Descripción

- Si la valoración preliminar de criticidad, determinó que un equipo es no crítico, los componentes de este equipo serán gestionados por planes de mantenimiento estándares.
- Se analizará cada familia de componentes, asignando en primera instancia los planes estándares desarrollados por los comités técnicos de la Estación de bombeo
- Si no se cuenta con un plan estándar aun desarrollado, el equipo analista definirá el conjunto de tareas recomendadas basados en su experiencia, para mantener el estado de los equipos.
- Si el equipo se ha seleccionado cómo un equipo especial, cuyo plan de mantenimiento está determinado por normatividad interna o externa, se asignarán las tareas establecidas.
- Para las actividades de mantenimiento estándar, se actualizará la información correspondiente a los recursos, partes y costos.

PLANTILLA TALLER

GENERAL (Parte 1)											
Campo	TAG	Componente	Disciplina	Familia Componente	Descripción Familia Componente	TAG Equipo	Equipo	Comentarios de caracterización de árbol	Factor de utilización (X HRS DIA)	Redundancia (número total de equipos)	Filosofía Operacional (k de n)

MODOS DE FALLA (Parte 2)							
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (ISO)	Descripción ISO Fallas	ID MF	Causa modos de falla	Técnica de detección	Comentarios

Efectos Parte 3													Failure				
Personas	Comentarios	Porcentaje EP LINEAL	EP LINEAL	TIEMPO EP LINEAL	Comentarios	Económica (RAM)	Comentarios	Ambiental	Comentarios	Cliente	Comentarios	Imagen	Comentarios	# Fallas	Población	Tiempo de evaluación	Comentarios

Tarea Correctiva Parte 4																																	
		Mecánico			Eléctrico			Instrumentista						Requiere repuestos? cuales?		COSTO ESTIMADO REPUESTO																	
Descripción CO	Tipo Correctivo	Duración CO (Hrs)	Tiempo muerto	Comentarios	Técnico mecánico	Técnico Ayudante mecánico	Tiempo activo recurso mecánico	Técnico Electricista	Técnico Ayudante electricista	Tiempo activo recurso eléctrico	Técnico Instrumentista	Técnico ayudante instrumentista	Tiempo activo recurso instrumentista	Operador	Tiempo activo recurso operador	Recurso opcional	Cantidad Recurso Opcional	Tiempo activo recurso opcional	Servicio	Costo Servicio	1	2	3	4	5	tiene información?	1	2	3	4	5	Comentarios	

Parte 7				
Es el mismo correctivo?	PM Primario?	PM Secundario?	Rediseño?	OBSERVACIONES

A continuación se hace una descripción del significado de cada uno de los parámetros que se relacionan en la platilla taller.

Parte 4

- ✓ Descripción de la tarea: Describir brevemente cual es la tarea asignada.
- ✓ Duración: Cuanto será la duración de la tarea asignada, tiempo en horas.
- ✓ Tiempo muerto: Cuanto será el tiempo que no se está haciendo la actividad (tiempo de preparación, permisos, alistamiento, etc...), tiempo en horas.
- ✓ Recurso mecánico, eléctrico e instrumentista: Cantidad de personas que realizaran la tarea por especialidad.
- ✓ Tiempo activo de cada especialidad: Cuánto durará cada recurso de cada especialidad ejecutando la tarea, expresar en Horas Hombre.


- ✓ Servicio: Especificar si la tarea la realizara un externo o no, Si o No.
- ✓ Costo del servicio: Cual será el costo del servicio externo, si aplica.
- ✓ Repuestos: Describir los repuestos a utilizar en la tarea.
- ✓ Tiene información?: Especificar si se tiene o no el repuesto en bodega, Si o No.
- ✓ Costos estimados de los repuestos: Cuál es el valor unitario de los repuestos a utilizar
- ✓ Comentarios: Anotar cualquier tipo comentario que ayude a comprender la tarea, aclarar el por qué se colocó esa información en las columnas.

Parte 5 Y 6

- ✓ Descripción de la tarea: Describir brevemente cual es la tarea asignada.
- ✓ Descripción de tarea en el CMMS: Incluir descripción y revisar a que está asociado en el sistema
- ✓ Código Standar-Job: Código de referencia en el CMMS.
- ✓ Causa del modo de falla: Concatenar código del componente con el código ISO 14224.
- ✓ Frecuencia: Cada cuanto se realiza la tarea, especificar en Horas o días calendario según sea el caso.
- ✓ Tipo de frecuencia: que método se utiliza para aplicar la tarea en el tiempo adecuado por horómetro o calendario.
- ✓ Tiempo de aplicación: Desde hace cuánto se viene aplicando esa tarea.
- ✓ Duración: Cuanto es el tiempo invertido en realizar esta tarea, expresar en horas.
- ✓ Tiempo muerto: Cuanto será el tiempo que no se está haciendo la actividad (tiempo de preparación, permisos, alistamiento, etc...), tiempo en horas.

- ✓ Recurso mecánico, eléctrico, instrumentista y operador: Cantidad de personas que realizaran la tarea por especialidad.
- ✓ Tiempo activo de cada especialidad: Cantidad de personas que realizaran la tarea por especialidad.
- ✓ Servicio: Especificar si la tarea la realizara un externo o no, Si o No.
- ✓ Costo del servicio: Cual será el costo del servicio externo, si aplica.
- ✓ Repuestos: Describir los repuestos a utilizar en la tarea.
- ✓ Tiene información?: Especificar si se tiene o no el repuesto en bodega, Si o No.
- ✓ Costos estimados: Cuál es el valor unitario de los repuestos a utilizar.
- ✓ Comentarios: Anotar cualquier tipo comentario que ayude a comprender la tarea, aclarar el por qué se colocó esa información en las columnas.
- ✓ *PM ACTIVA*: Especificar si la tarea se encuentra activa o no, Si o No.
- ✓ Tarea por condición: Especificar si se le ha asignado la tarea después de una tarea predictiva o de una inspección, Si o No.
- ✓ *Rediseño*: Describir si se identifican opciones de rediseño, sugerir opciones.
- ✓ Observaciones: Describir comentarios y complementos de la información obtenida.

Anexo C. Material de Soporte Taller


 <p>WOOD GROUP PSN</p>	<p>MATERIAL DE SOPORTE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS</p>
	<p>Versión: 0</p>

MATERIAL DE SOPORTE

**EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE
MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE
HIDROCARBUROS**

Contenido

1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE	3
3. MATERIAL DE SOPORTE	3
3.1 Síntesis del proceso	4
3.2 Ecuaciones de pérdida	6
3.3 Asignación de criticidad de equipos y definición de equipos especiales	8
3.4 Librería de modos de falla	10
3.5 Efectos de Modos de Falla	14
3.6 Preguntas de estimación de fallas	17
3.7 Parametrización de tareas correctivas	17
3.8 Parametrización de tareas proactivas	18

 WOOD GROUP PSN	MATERIAL DE SOPORTE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

1. OBJETIVO


Presentar el material de soporte para evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento en las estaciones de bombeo de hidrocarburos.

2. ALCANCE

La documentación consignada en este documento es aplicable a la ejecución de la evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento en las estaciones de bombeo de hidrocarburos

3. MATERIAL DE SOPORTE

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

	MATERIAL DE SOPORTE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

3.1 Síntesis del proceso

Objetivo

Realizar la evaluación y mejorar los planes de mantenimiento en las estaciones de bombeo de hidrocarburos.

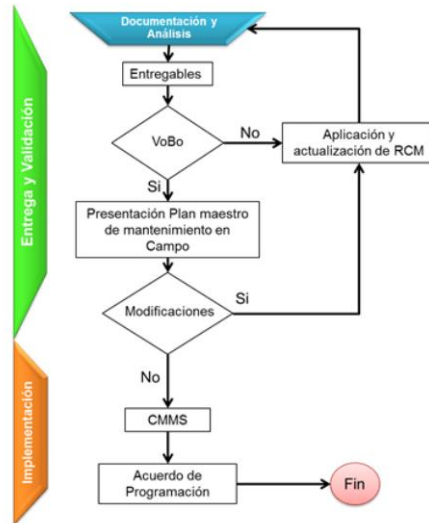
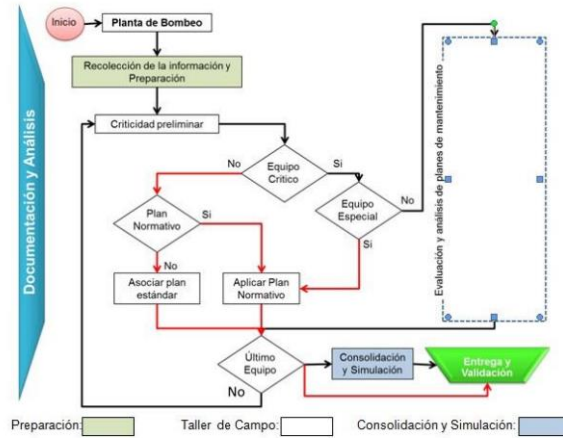
Alcance

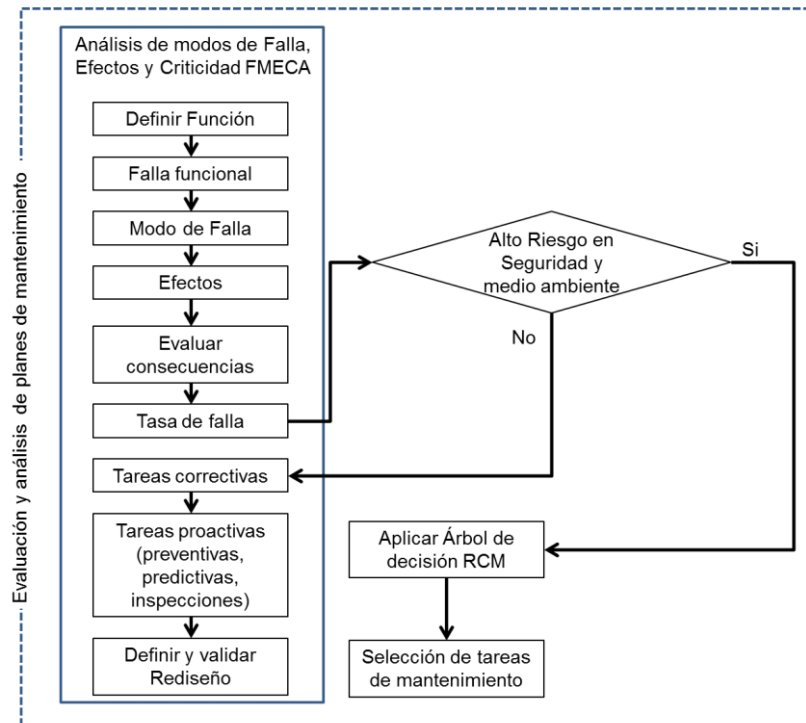
- La evaluación cubre a todos los equipos de la estación, para la ejecución de análisis preliminar de criticidad
- Se actualizarán las estrategias de mantenimiento de todos los activos críticos de la estación a excepción de aquellos estáticos, gestionados mediante análisis de integridad mecánica RBI (tanques, tubería)

Resultados principales

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

Diagrama de procesos de evaluación y mejoramiento de planes de mantenimiento en las estaciones de bombeo de hidrocarburos





3.2 Ecuaciones de pérdida

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

Se cuenta con dos tipos de ecuaciones de pérdida:

- **Pérdidas de capacidad de transporte.**

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



**MATERIAL DE SOPORTE
EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO
EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS**

Versión: 0

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

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

- Costos / hora

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

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

3.3 Asignación de criticidad de equipos y definición de equipos especiales

En la evaluación de criticidad de equipos se emplean dos herramientas, estas son la Matriz de Criticidad y el Procedimiento para Identificar Componentes, Equipos y Sistemas Críticos de Seguridad de Procesos.

Los equipos serán analizados en primera instancia aplicando la Matriz de Criticidad según los lineamientos siguientes.


Consecuencia					Probabilidad					
Seguridad	Económica	Ambiental	Producción	Operacional	N S	Esporádica	Remoto	Ocasional	Probable	Frecuente
						A	B	C	D	E
Pérdida de vidas	Desastre >10X10 ⁶ US	Contaminación Irreparable	Parada extensa de producción	Costo muy alto de mantenimiento	5	M	M	A	A	M
Lesión Grave Incapacidad permanente	Alarmente 1 a 10X10 ⁶ US	Contaminación Mayor	Parada de producción por encima del límite permitido	Costo alto de mantenimiento	4	B	M	M	A	A
Lesión con tratamiento medico	Severo 0,1 a 1X10 ⁶ US	Contaminación Localizada	Parada de producción hasta el límite permitido	Costo Normal de mantenimiento	3	N	B	M	M	H
Lesión sin tratamiento medico	Significativo 0,1 a 1 X10 ⁵ US	Contaminación Puntual	Parada de producción menor al límite permitido	Bajo costo de mantenimiento	2	N	N	B	B	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <10000 US	Contaminación Menor	Parada de producción menor	Muy bajo costo de mantenimiento	1	N	N	N	B	B
Ninguna lesión	< 1000 US	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Matriz de Criticidad

La evaluación de la criticidad se desarrolla evaluando la consecuencia y probabilidad de fallas potenciales, de acuerdo a los criterios de la Matriz de Criticidad respondiendo las siguientes preguntas:

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

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

	MATERIAL DE SOPORTE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

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

- ¿Con qué periodicidad se ha presentado la consecuencia?

Un equipo será considerado crítico, si su valoración a la luz de la matriz de Criticidad, es de un riesgo Alto o Muy Alto (A, MA).

Adicionalmente si en la estación existe un estudio previo de criticidad de equipos, este se debe tener en cuenta punto con el fin de identificar falencias, reforzar actividades y agilizar el proceso de estudio.

Definición de equipo especial

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

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

3.4 Librería de modos de falla

MODOS DE FALLA

Tabla #4 - MODOS DE FALLA - 20 JUNIO 2009

Clase de equipo				Modo de falla				Código		
Motor de Combustión	Compresor	Generador Eléctrico	Motor Eléctrico	Turbina a Gas	Bomba	Turbina a Vapor	Turbo Expander		Descripción	Ejemplo
X	X	X	X	X	X	X	X	Falla de arranque ante demanda	No arranca ante demanda	FTS
X	X	X	X					Falla de parada ante demanda	No para ante demanda	STP
X	X	X	X	X	X	X	X	Parada inesperada	Parada inesperada	UST
X	X	X	X	X	X	X	X	Ruptura	Daño severo (fractura, explosión, etc.)	BRD
X	X		X	X	X	X	X	Salida por alta	Salida por encima de la especificación deseada (sobrevelocidad)	HIO
X	X	X	X	X	X	X	X	Salida por baja	Salida por debajo de la especificación deseada	LOO
X	X	X	X	X	X	X	X	Operación inestable	Oscilación, inestable	ERO
X				X				Fuga externa de combustible	Fuga externa de suministro de combustible/gas	ELF
	X			X	X	X	X	Fuga externa de fluido de proceso	Aceite, gas, condensado, agua	ELP
X	X	X	X	X	X	X	X	Fuga externa de fluido utilitario	Lubricante, refrigerante	ELU
X	X			X	X	X	X	Fuga interna	Fuga interna de fluido de proceso o utilitario	INL
X	X	X	X	X	X	X	X	Vibración	Vibración anormal	VIB
X	X	X	X	X	X	X	X	Ruido	Ruido anormal	NOI
X	X	X	X	X	X	X	X	Temperatura excesiva	Partes mecánicas, escape de gases, refrigerante	OHE
X	X			X	X	X	X	Atascado/Taponamiento	Restricción(es) de flujo	PLU
X	X	X	X	X	X	X	X	Desviación de parámetros	Los parámetros monitoreados exceden los límites	PDE
X	X	X	X	X	X	X	X	Lectura anormal de instrumento	Falsa alarma, instrumento defectuoso	AIR
X	X	X	X	X	X	X	X	Deficiencia estructural	Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosión)	STD
X	X	X	X	X	X	X	X	Problemas menores	Piezas flojas, decoloración, contaminación, etc.	SER

7200.E.E. - MODEO 01.F.00 - HD.1420.2008

Grúas		Clase de equipo			MODOS DE FALLA			Modo de falla		Código
		Intercambiadores de calor	Calentadores y Calderas	Vasijas	Descripción	Ejemplo				
X	X	X		X	Lectura anormal de instrumentos	Falsa alarma, instrumento defectuoso		AIR		
X					Ruptura	Daño severo (fractura, explosión, etc.)		BRD		
	X		X		Transferencia de calor insuficiente	Refrigerante, temperatura por debajo de la especificación		IHT		
	X	X	X		Fuga externa de fluido de proceso	Aceite, gas, condensado, agua		ELP		
X	X	X	X		Fuga externa de fluido utilitario	Lubricante, refrigerante, aceite de barrera		ELU		
X					Falla al operar como se requiere	Falla general de operación		FTI		
X					Falla al rotar	Falla al rotar		FRO		
X					Falla de arranque ante demanda	Falla de arranque ante demanda		FIS		
		X			Insuficiente transferencia de calor	Perdida o también baja transferencia de calor		IHT		
X	X	X			Fuga interna	Fuga interna de fluido de proceso o utilitario		INL		
X					Suelta la carga	Suelta la carga		LOA		
X					Ruido	Ruido anormal		NOI		
X		X			Temperatura excesiva	Temperatura excesiva		OHE		
X					Deslizamiento	Deslizamiento de cable		SLP		
X					Operación inesperada	Operación inesperada		SPO		
	X	X	X		Atascado/Taponamiento	Restricción(es) de flujo		PLU		
X	X	X	X		Deficiencia estructural	Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosión)		STD		
X	X	X	X		Desviación de parámetros	Los parámetros monitoreados exceden los límites		PDE		
X					Vibración	Vibración excesiva		VIB		
X	X	X	X		Problemas menores	Piezas flojas, decoloración, contaminación, etc.		SER		

MODOS DE FALLA

Título: B.F. - Modo de Falla - 02-14-2009

Detectores de Fuego	Detectores de Gas	Clase de equipo			Descripción	Modo de Falla		Código
		Sensores de Proceso	Unidades Lógicas de Control	Válvulas		Ejemplo		
X		X	X		Falla de la función ante demanda		Falla la activación de señal o respuesta	FTF
				X	Falla de apertura ante demanda		No abre ante demanda	FTO
			X		Falla de cierre ante demanda		No cierra ante demanda	FTC
			X		Retardo en la operación		Apertura/cierre por debajo del tiempo especificado	DOP
X	X	X	X		Operación inesperada		Falsa alarma	SPO
X	X	X	X		Salida por alta		Salida por encima de la especificación deseada (sobrevelocidad)	HIO
X	X	X	X		Salida por baja		Salida por debajo de la especificación deseada	LOO
	X				Salida muy baja			VLO
X	X	X	X		Operación inestable		Oscilación, inestable	ERO
X	X	X			Sin salida		Sin salida	NOO
X	X				Señal inesperada de alarma por alto nivel		ej. 60% del límite inferior de explosión (LEL)	SHH
X	X				Señal inesperada de alarma por bajo nivel		ej. 20% del límite inferior de explosión (LEL)	SLL
					Atascado/Teponamiento		Restricción(es) parcial o total de flujo	PLU
		X						ELP
		X	X		Fuga externa de fluido de proceso		Aceite, gas, condensado, agua	ELU
		X	X		Fuga externa de fluido utilitario		Lubricante, refrigerante	
					Fuga interna		Fuga interna de fluido de proceso o utilitario	INL
			X		Fuga en posición cerrada		Fuga a través de la válvula en posición cerrada	LCP
			X		Lectura anormal de instrumentos		Falsa alarma, instrumento defectuoso	AIR
			X		Deficiencia estructural		Daño de material (grietas, uso, fracturas, corrosión)	STD
X		X	X	X	Problemas menores		Piezas flojas, decoloración, contaminación, etc.	SER

MODOS DE FALLA

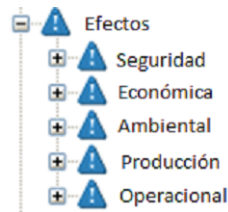
13/07/2017 - 10:56:04 AM - 02/24/2019

Clase de equipo		Modo de Falla		
UPS	Transformadores	Descripción	Ejemplo	Código
X	X	Falla de la función ante demanda	No arranca ante demanda	FTF
X		Salida errada de frecuencia	Error/Oscilación de frecuencia	FOF
X	X	Salida errada de voltaje	Error/salida inestable de voltaje	FOV
X		Pérdida de redundancia	Una o más unidades redundante no funcionan	LOR
X		Operación inestable	Oscilación, inestable	ERO
X	X	Temperatura excesiva	Partes mecánicas, escape de gases, refrigerante	OHE
X	X	Desviación de parámetros	Los parámetros monitoreados exceden los límites	PDE
X		Operación inesperada	Operación inesperada	SPO
	X	Lectura anormal de instrumento	Indicación errada del nivel de aceite	AIR
	X	Atascado/Taponamiento	Tubería obstruida	PLU
	X	Fuga externa de fluido utilitario	Fuga de aceite	ELU
	X	Deficiencia estructural	Ruptura del reservorio	STD
	X	Fuga interna	Fuga de aceite	INL
X	X	Problemas menores	Piezas flojas, decoloración, contaminación, etc.	SER

3.5 Efectos de Modos de Falla

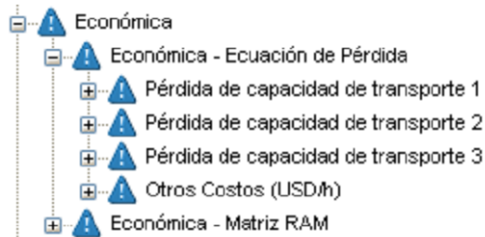
Tipos de efectos

Se tienen definidos 5 grupos fundamentales, alineados con los criterios de la matriz de Criticidad



Tipos principales de Efectos

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



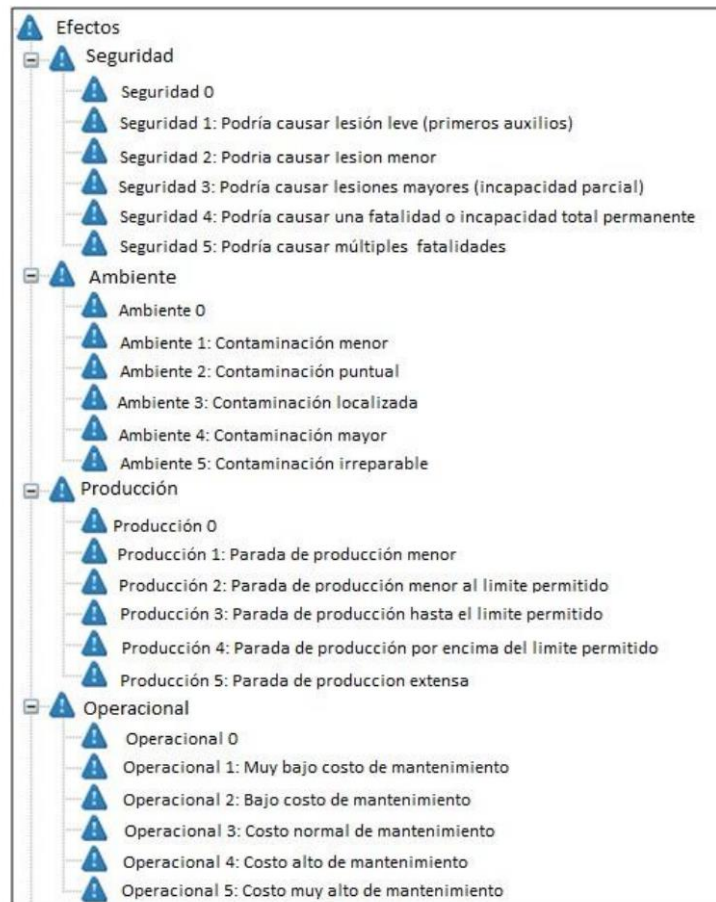
Sub-tipos de Efecto Económico

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

Efectos y asignación a modos de falla

- **Afectación a Seguridad, Ambiente, Producción y Operación.**

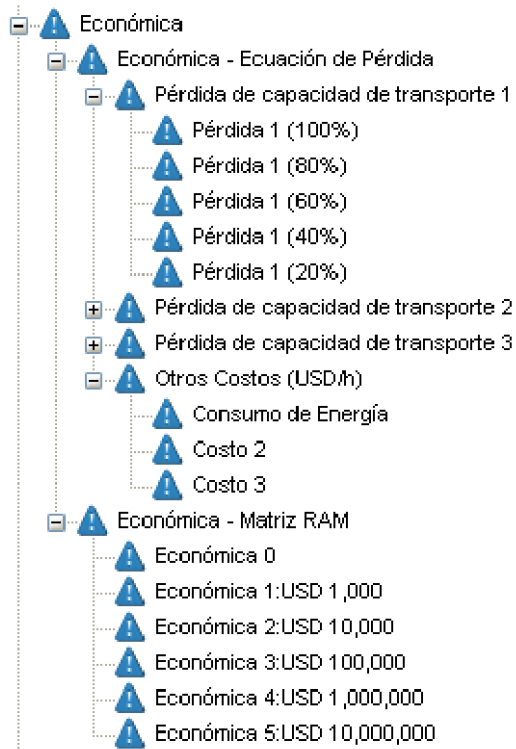
Los efectos serán asignados en cada uno de los criterios existentes alineados a la matriz de Criticidad, seleccionando la consecuencia más probable que se espera si se materializa el modo de falla analizado




Efectos con afectación en seguridad, ambiente, producción y operacional

- Afectación Económica

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

**Efectos con afectación económica**

	MATERIAL DE SOPORTE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS
	Versión: 0

Preguntas de asignación de efectos

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

- ¿La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias cuantificables con las ecuaciones de pérdida validadas?
 - Si la respuesta es afirmativa:
 - Cuál es el porcentaje de pérdida aplicado? (según la ecuación aplicable: Ej.: Pérdida del 80% de capacidad de transporte)
- La ocurrencia del modo de falla tiene consecuencias relacionadas con los criterios de la matriz de Criticidad?
 - Seguridad
 - Económicas (diferentes a las asociadas con las ecuaciones de pérdidas)
 - Ambientales
 - Producción
 - Operacional
- Para los criterios en donde se determine que existe una afectación, ¿cuál es el nivel de severidad más probable dentro de las opciones presentadas?

3.6 Preguntas de estimación de fallas

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

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

3.7 Parametrización de tareas correctivas

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

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



**MATERIAL DE SOPORTE
EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANES DE MANTENIMIENTO
EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS**

Versión: 0

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

3.8 Parametrización de tareas proactivas

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

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

Anexo D. Diagrama de decisión RCM

Diagrama de decisión

El diagrama de decisión que cumple con la norma SAE 1011 están basadas en la suposición de que las consecuencias en la seguridad/ambiente deben estar previamente ajustadas con las consecuencias económicas. Otra suposición establecida en la mayoría de estos diagramas es que algunas categorías de las políticas de manejo de fallas siempre son más costo-efectivas que otras. Las suposiciones principales que hacen parte de la aproximación del diagrama de decisión se detallan a continuación.

Jerarquía de consecuencias.

Se asume que si una política de manejo de fallas trata satisfactoriamente con una falla que tiene consecuencias en la seguridad o en el ambiente, entonces tratará satisfactoriamente con las consecuencias económicas (operacionales y no operacionales) de esta falla. El resultado de esta suposición es que estos diagramas de decisión son construidos de tal manera que si se consideran intolerables las consecuencias en la seguridad o en el ambiente, el cliente está obligado a encontrar una política de manejo de fallas que reduzca las consecuencias en la seguridad o en el ambiente a un nivel tolerable sin considerar las consecuencias económicas de la falla.

Jerarquía de políticas.

Cuando en el diagrama de decisión utiliza una aproximación jerárquica, las siguientes observaciones reflejan con más precisión estas aproximaciones.

Para modos de falla evidentes que puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, combinación

de tareas (usualmente basadas en condición y desincorporación programada), cambio una sola vez.

Para modos de falla evidentes que no puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, mantenimiento no programado, cambio una sola vez.

Para modos de falla ocultos en los que la falla múltiple pueda afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programada, detección de fallas, mantenimiento no programado, cambio una sola vez.

Para modos de falla oculta en los que la falla múltiple no pueda afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, detección de fallas, mantenimiento no programado, cambio una sola vez.

Tareas basadas en condición

Las tareas basadas en condición se consideran en primer lugar en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

Se pueden desarrollar casi siempre sin mover el activo desde suposición de instalación y normalmente mientras está en operación, así ellas pocas veces interfieren con las operaciones.

Normalmente son más fáciles de organizar.

Elas identifican las condiciones de las fallas potenciales específicas para que las acciones correctivas estén claramente definidas antes de que comience el trabajo.

Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación a efectuar, y permite que sean realizadas más rápidamente.

Por la identificación del equipo en el punto de potencial de falla, permiten comprender casi toda su vida útil.

Tareas de desincorporación programada y restauración programada.

Si no se puede encontrar una tarea basada en condición conveniente para una falla en particular, la otra opción es un área de desincorporación programada y restauración programada. Las desventajas de la restauración programada y de la desincorporación programada son las siguientes:

En casi todos los casos, sólo se pueden hacer cuando los sistemas están parados y (normalmente) se envían al taller, así las tareas casi siempre afectan las operaciones de alguna manera;

Las tareas de restauración involucran talleres de reparación, así ellas generan un trabajo mucho mayor que las tareas basadas en condición.

Detección de Fallas.

El mantenimiento proactivo exitoso previene las fallas de los equipos, por cuanto la detección de fallas acepta que se invertirá algún tiempo—aunque no demasiado—en un estado de falla. Esto significa que el mantenimiento proactivo es inherentemente más ordenado (en otras palabras, más seguro) que la detección de fallas, así esta última sólo se debe especificar si no se encuentra una tarea proactiva más efectiva. Por esta razón, los diagramas de decisión MCC deben anteponer siempre las tres categorías de tareas proactivas ante la detección de fallas en el proceso de selección de tareas.

Combinación de tareas.

A pesar que los diagramas de decisión tratan de encontrar una sola tarea que relacione o solucione apropiadamente el modo de falla en consideración, algunas

veces ocurre que no se puede encontrar una sola tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable. En este caso es tolerable buscar una combinación de tareas teniendo en cuenta que la combinación de tareas es más costosa que tareas únicas.

Operar hasta fallar.

Operar hasta Fallar—Cuando se evalúa la efectividad de las tareas proactivas concebidas para tratar con los modos de falla que tienen consecuencias económicas, la comparación siempre se hace entre el costo de la tarea y los costos asociados con el modo de falla no anticipado. En estos casos, sólo se seleccionan las tareas que reducen los costos totales de la falla. Si no se puede encontrar tal tarea, permitir que el modo de falla ocurra sería menos costoso que el mantenimiento proactivo, razón por la cual se debe que ocurra el modo de falla (operar hasta fallar) como una política de manejo de fallas apropiada. (Si los costos de permitir que ocurra el modo de falla se consideran aún muy excesivos, entonces la única opción es implementar un cambio una sola vez.

Cambio una sola vez.

La confiabilidad, el diseño, y el mantenimiento están relacionados intrínsecamente. Esto puede llevar a la tentación de realizar cambios una sola vez a los sistemas existentes (especialmente modificaciones a equipos) antes de considerar sus requerimientos de mantenimiento. De hecho, todos los diagramas de decisión consideran el mantenimiento antes de los cambios una sola vez por cuatro razones:

La mayoría de las modificaciones toman de seis meses a tres años desde su concepción hasta su cometido, dependiendo del costo y de la complejidad del nuevo diseño. Por otro lado, la persona de mantenimiento debe mantener el equipo tal como existe hoy, no como lo que debería estar allí o lo que podría estar

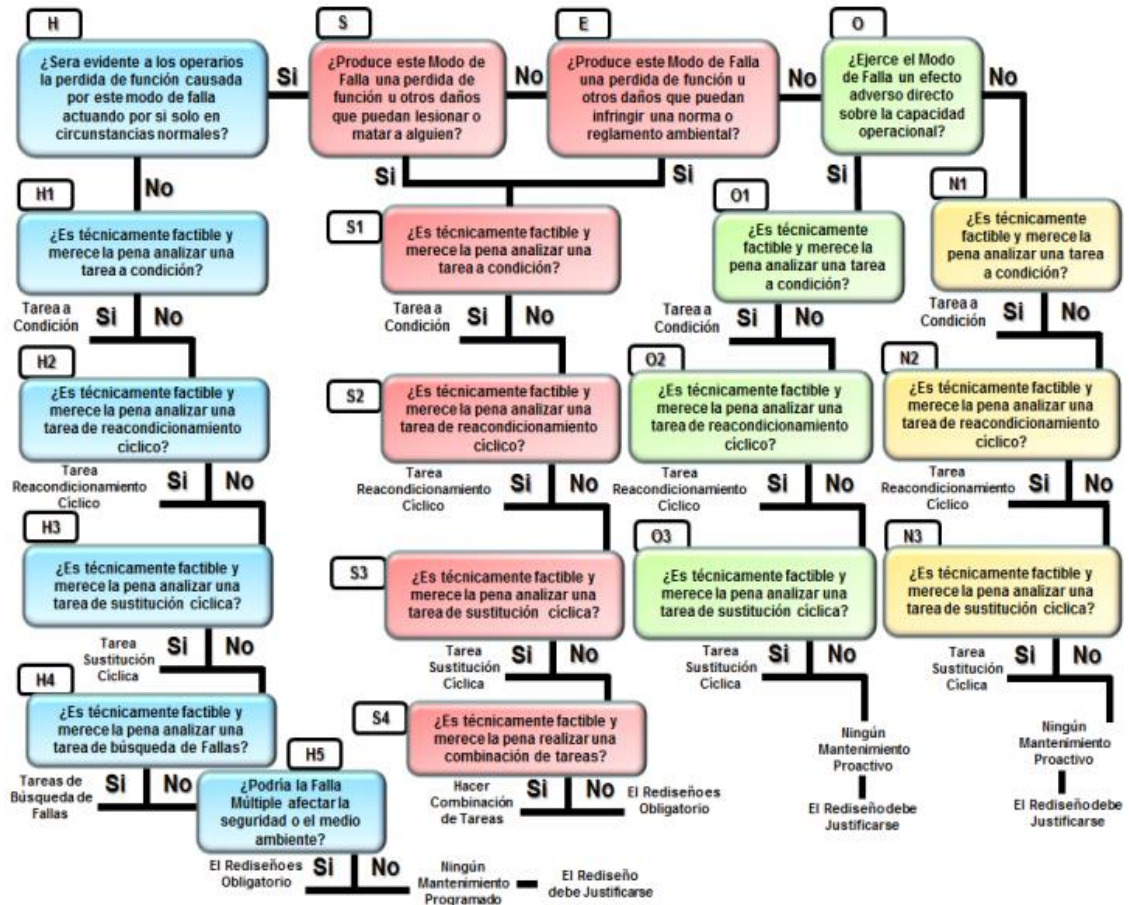
allí algún tiempo en el futuro. Así que las realidades de hoy deben tratarse con anterioridad a los cambios de diseño de mañana.

La mayoría de las organizaciones encaran muchos más las oportunidades de mejora de diseño deseables que son física y económicamente factibles. Por enfocarse en las consecuencias de la falla,.


Los cambios una sola vez son costosos. Estos incluyen el costo de desarrollar la nueva idea (el diseño de una nueva máquina, la incorporación de un nuevo procedimiento operacional), el costo de llevar la idea a la realidad (la fabricación de una parte nueva, la compra de una nueva máquina, la compilación de un nuevo programa de entrenamiento). Adicionalmente se incurre en costos indirectos si el equipo o las personas tienen que estar fuera de servicio mientras se está implementando el cambio.

Existe un riesgo de que el cambio fallara en la eliminación o incluso en el alivio del problema que está supuesto a resolver. En algunos casos, puede incluso crear más problemas. Por todas estas razones las aproximaciones de los diagramas de decisión buscan obtener el desempeño deseado de cualquier sistema en su configuración actual antes de intentar cambiar la configuración del sistema.

Árbol de decisión RCM



Anexo E. Ecuaciones de pérdida.

 Ecuaciones de Perdida						
Ec	Linea / Insumo	Producto	Capacidad Despacho (bl/hr)	Costo Barril Crudo (COL\$/bl)	Multa Demoras (\$/hora)	Impacto / hr
1						
Descripción:						
Ec	Linea / Insumo	Producto	Capacidad Despacho Nafta (Bl/hr)	Costo Barril Crudo (COL\$/bl)	Multa Demoras (COL\$/hora)	Impacto / hr
2						
Descripción:						
Ec	Linea / Insumo	Producto	Capacidad Despacho Nafta (Bl/hr)	Costo Barril Crudo (COL\$/bl)	Multa Demoras (COL\$/hora)	Impacto / hr
3						
Descripción:						

Anexo F. Recomendaciones y Rediseño.

 Recomendaciones de Rediseño															
Campo	UPR-1	Descripción UPR-1	UPR-2	Descripción UPR-2	Equipo	Descripción Equipo	Componente	Descripción Componente	Cod Componente	Descripción Código Componente	Disciplina	Modo de Falla	Criticidad Modo de Falla	Comentarios	Recomendación