

“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN PARA LA INTEGRIDAD DE ACTIVOS EN UN CAMPO DE LA INDUSTRIA PETROLERA”

SAMUEL ANDRÉS AYALA GÜIZA
ÁLVARO FABIÁN RINCÓN GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERIA FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2016

“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN PARA LA INTEGRIDAD DE ACTIVOS EN UN CAMPO DE LA INDUSTRIA PETROLERA”

SAMUEL ANDRÉS AYALA GÜIZA
ÁLVARO FABIÁN RINCÓN GUTIÉRREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Directora:
KATHY MARGARITA DAZA BROCHERO
Ingeniera Industrial
Magister en Gestión de la Industria de Hidrocarburos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERIA FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, porque me brindo la paciencia y el autocontrol en los momentos más complicados durante la realización de esta investigación.

A mis padres Samuel Ayala y Nidia Güiza, que día tras día estuvieron pendientes y apoyándome por medio de sus consejos para culminar con éxito esta investigación.

A mi hermana Alejandra Ayala, por ser esa compañía incondicional la cual aprecio y valoro demasiado.

A mis abuelos Alberto y Juana, y a cada uno de los familiares que siempre estuvieron atentos a apoyarme para no desfallecer en el intento de ser un profesional.

A mi novia Mónica García, por ser esa persona que siempre estuvo aconsejándome en mis alegrías y frustraciones durante el desarrollo de esta investigación.

Samuel Andrés Ayala Güiza.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS por las bendiciones que he recibido en el transcurso de mi vida, principalmente en mi carrera universitaria, por llenarme de salud, fortaleza y tranquilidad durante el desarrollo de esta meta que está próxima a culminar.

A mis padres Álvaro Rincón Noriega y Ligia María Gutiérrez por su apoyo y motivación incondicional, por el esfuerzo y sacrificios realizados para verme crecer como persona y como profesional.

A mis hermanos Luis Carlos Rincón, Javier Enrique Rincón, Carmen Cecilia Rincón y Lina María Rincón por sus consejos de superación y su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera.

A mi novia Karol Daniela Chaparro por estar siempre conmigo y demostrar su apoyo en los momentos difíciles.

A mis amigos Richard García, Yorman Collantes, Samuel Ayala, Cesar Medrano, Luis Atuesta, Natalia Bejarano, Kevin Atencia, Jhoiner Villarreal, Kevin Guerrero, Cristian Nova, Luis Fernando Gutierrez, Ximena Pinto y demás seres queridos que estuvieron conmigo siempre en las buenas y en las malas.

Álvaro Fabián Rincón Gutiérrez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

A Dios, por darnos la oportunidad de levantarnos cada día con ganas de salir adelante y luchar por nuestras metas.

A nuestros padres, quienes con su apoyo incondicional y sus esfuerzos diarios hicieron de nosotros personas llenas de sueños, dándonos animo día tras día.

A la Ingeniera Kathy Margarita Daza, quien con su conocimiento nos guio para poder encaminar con éxito esta investigación.

A los ingenieros Édison y Omar, por poner a disposición su valioso tiempo y experiencia para llevar a cabo la aplicación de nuestra investigación.

A Sandra Güiza, por ser la promotora de nuestra visita al Campo Teca-Cocorná.

A nuestros compañeros, quienes siempre tenían palabras de apoyo y consejos para no desfallecer en cada inconveniente presentado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES DEL CAMPO TECA-COCORNÀ	19
1.1 CAMPO COCORNÁ	19
1.2 CAMPO TECA	20
1.3 LOCALIZACIÓN.....	21
1.4 INFRAESTRUCTURA DEL CAMPO.....	22
1.4.1 Sistema de Producción	23
1.4.1.1 Módulo 1	23
1.4.1.2 Módulo 4	26
1.4.1.3 Batería Cocorná.....	28
1.4.1.4 Estación de Bombeo Teca.....	29
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	33
2.1 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN ACTIVOS FÍSICOS	33
2.1.1 Análisis de Modos y efectos de falla (AMEF).....	34
2.1.2 Análisis de causa raíz (RCA)	36
2.1.3 Análisis De Árbol De Eventos (ETA).....	37
2.2 METODOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE INTEGRIDAD EN ACTIVOS.....	39
2.2.1 Inspección Basada en Riesgo (IBR)	39
2.2.1.1 Generación de base de datos.	40
2.2.1.2 Descripción de los circuitos de corrosión.	40
2.2.1.3 Modos de falla.....	40
2.2.1.4 Probabilidades y Consecuencias de falla.....	41
2.2.1.5 Medidas a tomar.	41
2.2.1.6 Índice de confianza.	41
2.2.1.7 Programas de inspección.....	42

2.2.2 Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)	42
2.2.2.1 Las siete preguntas del RCM (tesis RCM y articulo RCM2).....	44
2.2.2.2 Proceso de implementación del RCM.....	44
2.2.2.3 Desarrollo e implementación del análisis AMEF.....	44
2.2.2.4 Funciones y parámetros de funcionamiento.....	46
2.2.2.5 Fallas Funcionales.....	46
2.2.2.6 Modos De Falla.....	47
2.2.2.7 Efectos De Falla.....	47
2.2.2.8 Niveles De Riesgo.....	48
2.2.2.9 Tareas Preventivas y Correctivas.....	48
2.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	50
2.3.1 Criterios para evaluar un riesgo.....	51
2.3.2 Probabilidad de falla	52
2.3.3 Consecuencias de falla.....	53
2.3.3.1 Consecuencias al medio ambiente.....	54
2.3.3.2 Consecuencias a la comunidad.....	55
2.3.3.3 Consecuencias económicas y a la imagen de la empresa.....	55
2.3.4 Matriz De Riesgo	56
2.3.5 Valoración Del Riesgo	57
2.4 MANTENIMIENTO.....	59
2.4.1 Tarea de Mantenimiento Preventivo	60
2.4.2 Tarea de Mantenimiento Correctivo.....	61
3. APLICACIÓN Y RESULTADOS DE LA METODOLOGIA IMPLEMENTADA.....	64
3.1 SELECCIÓN DE ACTIVOS CRÍTICOS DEL CAMPO TECA-COCORNÁ	64
3.1.1 Activos presentes en el SIAR - Modulo 1.....	65
3.1.1.1 Sistema piscinas de aguas residuales	68
3.1.1.2 Sistema de desnatación de aguas residuales.....	74
3.1.1.3 Sistema de filtración de agua.....	75
3.1.1.4 Sistema de bombeo de inyección a pozos.....	79

3.1.1.5 Sistema pes	80
3.2 APLICACIÓN Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS (AMEF)	84
3.3 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO SIAR – MODULO 1	86
4. CONCLUSIONES	88
5. RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización Campo Teca - Cocorná.....	22
Figura 2. Localización Módulo 1	24
Figura 3. Localización Módulo 4	26
Figura 4. Localización Batería Cocorná	28
Figura 5. Localización Estación de Bombeo	30
Figura 6. Diagrama de Àrbol de Eventos.	39
Figura 7. Flujograma AMEF.....	46
Figura 8. Proceso de Implementación de la Metodología RCM.	49
Figura 9. Matriz de Riesgo	57
Figura 10. Representación Gráfica de una Tarea de Mantenimiento Preventivo..	61
Figura 11. Representación Gráfica de una Tarea de Mantenimiento Correctivo. .	63
Figura 12. Diagrama General de Flujo Modulo 1	66
Figura 13. Diagrama SIAR Modulo 1	66
Figura 14. Skimmer - Separador API.....	68
Figura 15. Unidad de Bombeo Vertical No. 1 Skimmer API.....	69
Figura 16. Unidad de Bombeo Horizontal No. 2 Piscina API	70
Figura 17. Unidades de Bombeo Tanquilla	71
Figura 18. Unidad de Bombeo Vertical No. 1 Tanquilla SIAR.....	71
Figura 19. Unidad de Bombeo Vertical No. 2 Tanquilla SIAR.....	72
Figura 20. Piscina de Oxidación o Contingencia SIAR	73
Figura 21. Unidad de Bombeo de la Piscina de Oxidación o Contingencia SIAR .	73
Figura 22. Tanque Desnatador TK 5000-2	74
Figura 23. Celda de Flotación	75
Figura 24. Unidades de Bombeo Transferencia a Filtros	75
Figura 25. Unidad de Bombeo Transferencia a Filtros No.1	76
Figura 26. Unidad de Bombeo Transferencia a Filtros No.2	76
Figura 27. Filtros Cascara de Nuez	77

Figura 28. Tanque de Agua Filtrada TK 5000-8.....	77
Figura 29. Unidades de bombeo Booster de Inyección	78
Figura 30. Unidad de bombeo Booster No.1	78
Figura 31. Unidad de bombeo Booster No.2.....	79
Figura 32. Unidad de bombeo de Retrolavado de Filtros.....	79
Figura 33. Unidad de bombeo No.1 Triplex Inyección a Pozos	80
Figura 34. Sistema PES.....	81
Figura 35. Unidad de bombeo Vertical PES a TK Trompo.....	81
Figura 36. Unidades de Bombeo Horizontales PES	82
Figura 37. Unidades de Bombeo No. 1 TK-500-1 a Tanquilla PES	82
Figura 38. Unidades de Bombeo No. 2 TK-500-1 a Tanquilla PES	82
Figura 39. Tanque Horizontal TK-500-1 PES	83
Figura 40. Tanque Trompo 500 Bbls PES	83
Figura 41. Matriz de Riesgo Implementada en el RCM	85

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla.....	93
Anexo B. Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla.....	103
Anexo C. Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1.	106
Anexo D. Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1.	112
Anexo E. Foto Evidencia de Ingreso al Campo Teca-Cocorná.....	117
Anexo F. Foto Placa de Inauguración del Campo Teca.....	118
Anexo G. Foto Acceso Oficinas Campo Teca-Cocorná.....	118
Anexo H. Foto Oficinas Campo Teca-Cocorná.....	119
Anexo I. Foto Oficina Dirección de Mantenimiento Campo Teca-Cocorná.....	119
Anexo J. Foto Vía de acceso al Módulo 1.....	120
Anexo K. Foto Vista desde afuera del Módulo 1.....	120
Anexo L. Foto Vista desde afuera del Módulo 1.....	121
Anexo M. Foto Vista desde afuera del Módulo 1.....	121

RESUMEN

TÍTULO: “DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN PARA LA INTEGRIDAD DE ACTIVOS EN UN CAMPO DE LA INDUSTRIA PETROLERA”¹

AUTOR: SAMUEL ANDRÉS AYALA GÜIZA. ÁLVARO FABIÁN RINCÓN GUTIÉRREZ²

PALABRAS CLAVE: INTEGRIDAD, MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, ANÁLISIS DE RIESGOS.

DESCRIPCIÓN:

El programa de manejo y administración para mejorar la integridad de los activos explicado en esta investigación se desarrolla específicamente para los equipos que pertenecen al sistema de inyección de aguas residuales (SIAR) del campo Teca-Cocorná, la metodología implementada para el desarrollo es el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), dicha metodología se aplica con el fin de implementar un modelo de gestión de mantenimiento que ayude a reforzar las tareas de mitigación de riesgos implementada por el personal de mantenimiento del campo.

Concretamente, el objetivo principal de este trabajo es diseñar un programa de manejo, administración, planificación y programación integrada de los recursos físicos del campo, para esto se pretende analizar las amenazas o modos en los cuales pueden fallar los equipos dentro del proceso de inyección de aguas residuales y se darán a conocer las posibles consecuencias o efectos de los fallos en función del riesgo que se corre al no realizar la función para la cual fueron implementados, por último se asociara una tarea de acción directa y de prevención a cada amenaza identificada en el análisis.

¹ Trabajo de grado

² Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: Kathy Margarita Daza Brochero Ing.

ABSTRACT

TITLE: “DESIGN OF A PROGRAM OF MANAGEMENT AND ADMINISTRATION FOR THE INTEGRITY OF ASSETS IN A FIELD OF PETROLEUM INDUSTRY”³

AUTHORS: SAMUEL ANDRÉS AYALA GÜIZA. ÁLVARO FABIÁN RINCÓN GUTIÉRREZ⁴

KEY WORDS: INTEGRITY, MAINTENANCE, RELIABILITY, RISK ANALYSIS.

DESCRIPTION:

The program of management and administration to improve the integrity of the assets explained in this investigation develops is specifically for equipment that belong to the system of injection of waste water (SIAR) of the field Teca-Cocorná, the methodology used for development is Reliability Centered Maintenance (RCM), the above mentioned methodology is applied in order to implement a maintenance management model to help to strengthen the tasks of mitigation of risks implemented by the maintenance staff of the field.

Specifically, the main objective of this investigation is to design a program of management, administration, planning and integrated programming of physical resources of the field, will be analyzed threats and ways in which equipment can fail within the injection process waste water and will be announced the possible consequences or effects of failures depending on the risk taken by not performing the function for which they were implemented, finally there will be associated a task of direct action and of prevention with every threat identified in the analysis.

³ Trabajo de grado

⁴ Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: Kathy Margarita Daza Brochero Ing.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en cualquier tipo de industria se están implementando nuevas técnicas con el objetivo principal de reforzar, manejar, administrar y optimizar sus procesos de gestión y control del mantenimiento. En la industria petroquímica priman dos tipos de técnicas conocidas comúnmente como el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) y la inspección basada en riesgo (RBI), dentro de estas nuevas técnicas, la metodología RCM constituye actualmente, una de las principales y más efectivas herramientas para mejorar y optimizar el mantenimiento en las organizaciones.

El éxito del RCM a nivel mundial, se ha debido principalmente a que esta metodología permite establecer los requerimientos necesarios de mantenimiento de los distintos equipos en su contexto operacional, tomando en cuenta básicamente, el posible impacto que pueden provocar las fallas de estos equipos: al ambiente, la seguridad humana, la imagen de la compañía y las operaciones, aspectos que actualmente son considerados de vital importancia dentro de cualquier proceso productivo. Por lo expuesto anteriormente, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se convierte hoy en día, en una de las principales herramientas utilizadas por las organizaciones de categoría Mundial, especialmente en las organizaciones donde se llevan a cabo procesos petroquímicos.

Debido a esto se crea la necesidad de dar a conocer un programa de manejo y administración para la integridad de los activos que acobija el sistema de inyección de aguas residuales (SIAR) del campo Teca-Cocorná. La razón principal de aplicar el programa se lleva a cabo con el fin de dar una idea de que tan críticos pueden llegar a ser los activos analizados, para que a la hora de llevar a cabo su mantenimiento, se les dé prioridad a estos equipos y de esta manera disminuyan

tiempo y costos en el campo. Dicho programa es ejecutado a partir de la metodología RCM aplicada con el fin de fortalecer las acciones de mantenimiento que se manejan en el campo, específicamente en el SIAR. Este modelo de gestión toma inicialmente el plan de mantenimiento sugerido por el fabricante en condiciones ideales y será ajustado al entorno operativo del Campo con lo que se crea un plan de mantenimiento hecho a la medida, con el objetivo de plantear una guía para analizar las fallas desde una visión más amplia.

El desarrollo del siguiente programa se estructura inicialmente con una descripción general del campo Teca-Cocorná en el que se describen algunas de sus generalidades; con esto presente, en el segundo capítulo se hace una recolección de información que va desde los métodos que existen para el análisis de los riesgos en los activos físicos, hasta las metodologías implementadas para el control de activos; todo esto con el fin de dar a conocer los pasos que se ejecutan cuando se quiere dar un diagnóstico confiable y efectivo sobre la integridad de un grupo de activos, una vez se tiene conocimiento de los procesos anteriormente mencionados se pasó a la ejecución del programa, en donde se llevó a cabo un análisis sobre qué clase de activos se querían diagnosticar, que para el caso presente fueron aquellos activos dinámicos que se encontraban en el sitio de aplicación. Teniendo claro el grupo de activos, se aplica cada uno de los procesos que contiene la metodología escogida, en donde se analizaron las amenazas que pueden llegar a tener cada activo y con el diagnóstico obtenido se elaboró un plan de mantenimiento acorde al contexto operacional ya sea para mitigar dichas amenazas o en tal caso corregirlas.

1. GENERALIDADES DEL CAMPO TECA-COCORNÁ

El Área Teca-Cocorná está conformada por dos campos independientes los cuales estaban diferenciados por aspectos netamente contractuales, el Campo Teca que hace parte del Contrato de Asociación Cocorná el cual revirtió oficialmente a ECOPETROL S.A. en octubre de 2008 y el Campo Cocorná el cual se desarrolló mediante el Contrato de Concesión-844 y revirtió a ECOPETROL S.A. en febrero de 1997.

Los pozos Cocorná corresponden al Campo que lleva el mismo nombre y los pozos Teca al Campo Teca; sin embargo; en septiembre de 2010 se elaboró el documento de Solicitud de unificación de los Campos Teca y Cocorná, teniendo en cuenta que en la evaluación de la información geológica y de ingeniería se evidenció que se trata de un solo campo y por ello se propuso su unificación, con el fin de facilitar la administración.

Por lo anteriormente mencionado el Ministerio de Minas y Energía aprueba a ECOPETROL S. A. la explotación unificada de los campos Teca y Cocorná como uno solo denominado Campo Área Teca-Cocorná.

1.1 CAMPO COCORNÁ

En 1958 se aprobó el contrato de Concesión Petrolera Cocorná-844, mediante escritura Pública 6722 entre el Estado y Texas Petroleum Company.

El primer descubrimiento en la zona fue realizado por la Texas Petroleum Company en 1963 con la perforación del pozo Cocorná 1, para recopilación de información estratigráfica y estructural, por lo que, con fundamento en el régimen vigente para esa fecha, se celebró con el Ministerio de Minas el contrato de

Concesión Cocorná para la exploración y desarrollo del área, al cual perteneció el Campo Cocorná.

En diciembre de 1995, el Ministerio de Minas y Energía mediante la Resolución 147 del 20 de diciembre, acepta el traspaso que la firma Texas Petroleum Company hace del contrato para la exploración y explotación de petróleo de propiedad nacional, denominado Concesión Cocorná-844 a favor de las sociedades Omimex de Colombia LTD y Sabacol Inc.

El 25 de febrero de 1997, el contrato de Concesión Cocorná-844 revierte a la Nación; siendo éste operado por ECOPETROL hasta la fecha.

Finalmente, el 22 de julio de 2011 el Ministerio de Minas y Energía aprueba a ECOPETROL S. A., mediante la Resolución 0124429, la explotación unificada de los campos Teca y Cocorná como uno solo denominado Campo Área Teca-Cocorná.

1.2 CAMPO TECA

El 1 y 3 de Septiembre de 1980, ECOPETROL y Texas Petroleum Company celebraron el contrato de Asociación Cocorná y Nare, para la exploración y explotación de petróleo, haciendo parte de este contrato el Campo Teca.

En 1995, Texas Petroleum Company cedió la totalidad de sus intereses, derechos y obligaciones en el contrato de Asociación Cocorná a las sociedades Omimex y Sabacol. Desde finales de 1995 los campos Teca y Nare Sur fueron operados por la empresa Omimex de Colombia Ltd. bajo los contratos de Asociación Cocorná y Nare. Sin embargo, en septiembre de 2006 se llevó a cabo la compra del 50% correspondiente a Omimex de Colombia Ltd. por la empresa Mansarovar Energy

de Colombia Ltd, cambiando su razón social y entrando en operación oficialmente desde diciembre de 2006 del Campo.

La finalización del Contrato de Asociación Cocorná se da el 1 mayo de 2010, fecha en la cual el Contrato revierte al Estado e inicia la operación del Campo Teca por parte de ECOPETROL.

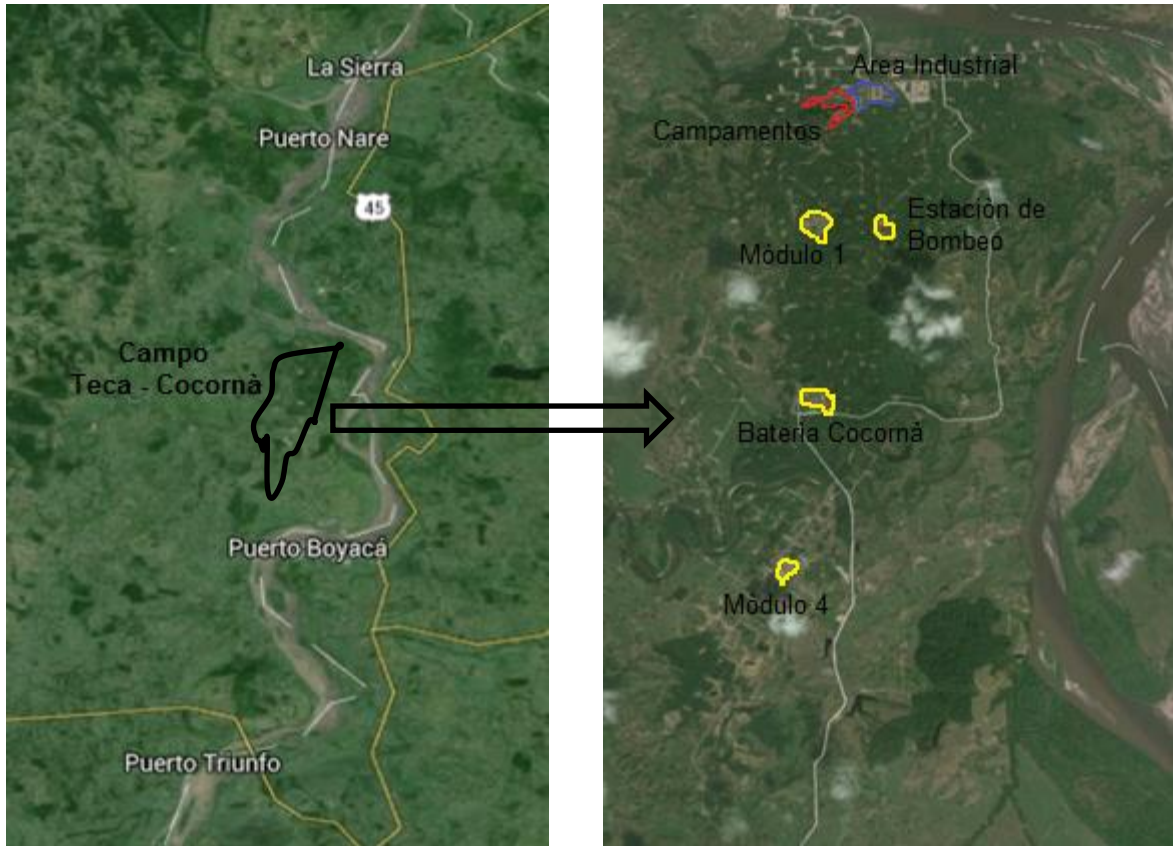
El 22 de julio de 2011 el Ministerio de Minas y Energía aprueba a ECOPETROL S. A., mediante la Resolución 0124429 la explotación unificada de los campos Teca y Cocorná como uno solo denominado Campo Área Teca-Cocorná.

Finalmente, el 9 de enero de 2014 la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, autoriza la cesión parcial de los derechos y obligaciones originados y derivados de los pronunciamientos por la Autoridad Ambiental, en relación al proyecto Campo Teca, en lo referente al área, infraestructura y operación a la empresa; en la que actúan la empresa Mansarovar Energy Colombia Ltda en calidad de Cedente y la empresa ECOPETROL S.A. en calidad de Cesionaria.

1.3 LOCALIZACIÓN

El Campo de producción Teca – Cocorná cuenta con una superficie aproximada de 1272 hectáreas y se encuentra ubicado en el flanco Oeste de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena entre las cordilleras central y oriental, 23 Km. Al nordeste de la Autopista Bogotá-Medellín, aproximadamente a 156 km al noroeste de la ciudad de Bogotá y 190 Km. Al sur de la Refinería de Barrancabermeja, en los municipios de Puerto Nare y Puerto Triunfo del departamento de Antioquia.

Figura 1. Localización Campo Teca - Cocorná



Tomado y modificado de: Google maps. . {En línea}. {10 de Noviembre de 2015}. Disponible en: (<https://www.google.it/maps/@6.0342832,-74.6172893,12654m/data=!3m1!1e3>).

El área Teca – Cocorná se localiza en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro y Nare – CORNARE, en el área que se ubica al sur del río Cocorná, y la Corporación Autónoma Regional de Antioquia – CORANTIOQUIA, en el área que se ubica al norte del río Cocorná.

1.4 INFRAESTRUCTURA DEL CAMPO

La infraestructura petrolera existente actualmente en el campo Teca consta aproximadamente de 381 pozos de hidrocarburos y 4 pozos inyectores (Ecopetrol S.A.), 87 Km de vía, 3 módulos de producción (Módulo 1, Módulo 4 y Estación Cocorná), 2 módulos abandonados, 1 Estación de Bombeo, líneas de producción,

líneas de vapor, líneas de recolección de gas, un área administrativa, una red de canales y una red del sistema eléctrico.

1.4.1 Sistema de Producción. El sistema de producción de crudo se inicia con el crudo extraído de los pozos, que con la ayuda de inyección de vapor se reduce la viscosidad, para ser llevado por bombeo de cada pozo hacia los módulos de producción y, de estos, a la estación de bombeo.

El Campo Teca-Cocorná cuenta actualmente con 3 módulos petroleros de producción activos; módulo 1, módulo 4 y la Batería Cocorná en funcionamiento. Los módulo 2 y módulo 3 se encuentran actualmente fuera de funcionamiento y desmantelados.

Las principales actividades y procesos realizados en los módulos activos son:

- ✓ Recibo y tratamiento del crudo extraído de los pozos
- ✓ Tratamiento de agua de producción para su reinyección
- ✓ Generación de vapor para inyección en el yacimiento

1.4.1.1 Módulo 1. El Módulo 1, actualmente en funcionamiento, está localizado al norte del río Cocorná en jurisdicción del municipio de Puerto Nare y cuenta con un área aproximada de 35.590 m².

Figura 2. Localización Módulo 1



Tomado y modificado de: Google maps. {En línea}. {10 de Noviembre de 2015}.

Disponible en: (<https://www.google.it/maps/@6.0623819,-74.5953688,413m/data=!3m1!1e3>).

En este módulo se realizan principalmente los procesos de tratamiento de fluidos, tratamiento de aguas de inyección y la generación de vapor como se establece a continuación:

✓ Tratamiento, almacenamiento y bombeo de hidrocarburo:

Esta facilidad procesa el aceite con una gravedad API de 12.5°. El crudo es recibido en el módulo a través de 4 líneas principales de las cuales se derivan líneas de prueba para evaluación de calidad del crudo. Cada línea de crudo principal está conectada a una serie de pozos productores, las líneas principales entran al módulo conectándose en un manifold.

Al manifold llegan 5 colectores generales de 6" y 5 líneas de prueba de 4" con la producción de los pozos. Para el procesamiento del crudo la facilidad cuenta con 1

tanque FWKO y 2 tratadores térmicos electrostáticos; del manifold al área de tratamiento se conduce por una línea de 12”.

El hidrocarburo deshidratado y desgasificado se dirige al área de tanques. Para el almacenamiento del crudo en el Modulo 1 se cuenta con (2) tanques de 500 Bbl cada uno, para almacenar el crudo limpio y 1 tanque de 5000 Bbl para el crudo sucio. El hidrocarburo tratado es enviado por las bombas de transferencia en una línea de 6” hacia la estación de bombeo.

Al skimmer del módulo se dirige el agua proveniente del FWKO y los tratadores térmicos, el contenido de hidrocarburos retirado en este proceso pasa a los tanques de crudo sucio, para su retratamiento. El agua residual es conducida al área de tratamiento para su posterior envío por el sistema de inyección de aguas residuales a los pozos inyectoros.

La facilidad recibe también el gas anular de pozos, el cual se utiliza para alimentar los equipos de generación de vapor y tratadores térmicos. Este gas se procesa en las trampas de condensado y scrubbers, para ser usado en los equipos. Sin embargo la producción de gas del campo no es suficiente para alimentar estos equipos por lo cual el modulo recibe gas de TGI.

✓ Sistema de Tratamiento e Inyección de Aguas Residuales:

Este sistema está conformado por un tanque desnatador de 5.000 Bbls el cual recibe las aguas del skimmer, de allí pasa a las celdas de flotación, posteriormente el flujo pasa por los filtros tipo cáscara de nuez para finalmente, ser enviados al tanque de almacenamiento de agua filtrada de 5.000 Bbl y de allí es impulsada por bombas triplex a los pozos de inyección con presiones cercanas a los 800 PSI. En el filtro tipo cáscara de nuez el efluente sale con un alto contenido de sólidos, los cuales son sedimentados en el sistema de tratamiento de sólidos. Los sedimentos recuperados son tratados y el líquido es enviado nuevamente al skimmer.

✓ Sistema de Generación de Vapor:

El sistema de generación de vapor, se alimenta con agua proveniente de pozos en la zona, esta agua es almacenada en un tanque de 20.000 Bbl de capacidad y posteriormente suavizada. El agua tratada se conduce a las unidades de generación de vapor las cuales a través de bombas quintuplex y de su proceso de calentamiento logran presiones de 800 PSI y temperaturas superiores a 550°F. El vapor generado se conduce a través de las líneas de vapor a los pozos productores para su inyección.

1.4.1.2 Módulo 4. El Módulo 4 actualmente en funcionamiento, está localizado al sur del río Cocorná en jurisdicción del municipio de Puerto Triunfo. La extensión de área es de aproximadamente 17.143,63 m².

Figura 3. Localización Módulo 4



Tomado y modificado de: Google maps. {En línea}. {10 de Noviembre de 2015}.

Disponible en: (<https://www.google.it/maps/@6.0338926,-74.5971811,413m/data=!3m1!1e3>).

Al manifold llegan 5 colectores generales de 8" y 5 líneas de prueba de 4" con la producción de los pozos. El módulo cuenta con 1 tanque FWKO y 2 Tratadores Térmicos Electrostáticos a donde se dirige la producción proveniente de las líneas generales. Estos equipos se encargan de retirar el gas y agua contenidos con el hidrocarburo.

El hidrocarburo deshidratado y desgasificado se dirige al área de tanques. Para el almacenamiento del crudo en el Módulo 4 se cuenta con 1 tanque de 1.000 Bbl para almacenar el crudo limpio, un 1 tanque de 1000 Bbl para el crudo sucio y un 1 tanque de 5.000 Bbl, como back up de almacenamiento de crudo.

Para el envío a la Estación de bombeo se cuenta con (2) bombas; la primera con una capacidad de 380 barriles por hora a 125 PSI, y la segunda con una capacidad de 240 barriles por hora a 75 PSI.

Al skimmer del módulo se dirige el agua proveniente del FWKO y los tratadores térmicos, el contenido de hidrocarburos retirado en este proceso pasa a los tanques de crudo sucio, para su retratamiento. El agua residual es conducida a tratamiento para su uso en el sistema de inyección de aguas residuales.

✓ Sistema de Tratamiento e Inyección de Aguas Residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por un tanque desnatador 5.000-5, el cual recibe las aguas del skimmer, de allí pasan a las celdas de flotación, posteriormente el flujo pasa por los filtros tipo cáscara de nuez para finalmente ser enviado al tanque de almacenamiento de agua filtrada 5.000-7 y, de allí son impulsadas por bombas triplex a los pozos de inyección con presiones cercanas a los 800 PSI.

✓ Sistema de Generación de Vapor

El sistema de generación de vapor se alimenta con agua proveniente de pozos en la zona, esta agua es almacenada en un tanque de 10.000 Bbl de capacidad y

posteriormente enviada al cuarto de bombas de suavizado y a los filtros de suavizado. El agua tratada se conduce a las unidades de generación de vapor las cuales a través de bombas quintuplex y de su proceso de calentamiento logran presiones de 800 PSI y temperaturas superiores a 550°F.

El vapor generado se conduce a través de las líneas de vapor a cualquiera de los pozos productores para su inyección.

1.4.1.3 Batería Cocorná. La Batería Cocorná está localizada al norte del río Cocorná, en jurisdicción del municipio de Puerto Nare, en un área aproximada de 51.098,65 m².

Figura 4. Localización Batería Cocorná



Tomado y modificado de: Google maps. {En línea}. {10 de Noviembre de 2015}.

Disponible en: (<https://www.google.it/maps/@6.0475224,-74.5951015,417m/data=!3m1!1e3>).

En esta Batería se llevan a cabo los procesos de tratamiento y cargue de crudo, envío de agua residual industrial para tratamiento en el Módulo 4, recibo de agua limpia para uso doméstico y del sistema contra incendio. Las facilidades de generación de vapor y bombeo a oleoducto se encuentran unas en uso, unas desmanteladas y otras abandonadas.

✓ Recibo, tratamiento y cargue del crudo extraído de los pozos

El crudo es recibido en la Batería a través de líneas principales, de las cuales se derivan líneas de prueba para evaluación de calidad del crudo. Cada línea de crudo principal está conectada a una serie de pozos productores, las líneas principales entran a la batería Cocorná conectándose en un manifold.

Una vez el crudo es recibido, se lleva a tratamiento en dos tratadores electrostáticos, donde el agua remanente es extraída y enviada al skimmer, para posteriormente ser enviada al skimmer del Módulo 4, con el fin de continuar con su tratamiento e inyección.

El crudo limpio es llevado a los tanques de almacenamiento (tanque 5009 y tanque 5003), y luego al cargadero de crudo para ser transportado por carrotanques a la estación *Ayacucho*.

1.4.1.4 Estación de Bombeo Teca. La Estación de Bombeo Teca se localiza en el costado norte-central del Campo Teca-Cocorná cuenta con un área aproximada de 21.023,31m².

Figura 5. Localización Estación de Bombeo



Tomado y modificado de: Google maps. {En línea}. {10 de Noviembre de 2015}.

Disponible en: (<https://www.google.it/maps/@6.0625455,-74.5898995,413m/data=!3m1!1e3>).

La Estación de Bombeo tiene como objetivo principal la recepción, almacenamiento, fiscalización y despacho del crudo producido en los Módulos 1, 4 y Nare - Under River, bombeando crudo limpio y tratado hacia el cargadero de carrotanques, la Estación Vasconia o hacia la Refinería de Barrancabermeja a través del oleoducto Velásquez -Galán.

La Estación de Bombeo Teca tiene actualmente una capacidad nominal instalada para recibir y almacenar 150.000 Barriles.

La planta de recibo y despacho de crudo está conformada por 3 tanques de almacenamiento, cada uno con una capacidad de 50.000 Bbls, 1 probador de medidores de 4 vías, 2 medidores de recibo, 3 pares de ventiladores, 1 equipo de 3 bombas de despacho de crudo con motores eléctricos, 2 medidores de despacho de crudo, 1 equipo de 2 compresores-motores y las respectivas casetas de instalación de la estación de bombeo.

Las instalaciones existentes en la estación de bombeo son la oficina, los controladores, las unidades de ventiladores de bombeo y la zona de compresores, sobre el sector central de la estación se localizan los tanques de almacenamiento y en el costado oriental está ubicado el separador API. Sobre el costado suroccidental se encuentra el sistema de bombeo de la red contra incendio el cual es alimentado por un lago contiguo a este.

✓ Almacenamiento y bombeo del hidrocarburo

El hidrocarburo procedente de los módulos es recibido en el manifold de la estación a una temperatura de 110°F, para luego dirigirse al set de válvulas y equipos de medición y prueba. El área de almacenamiento está conformada por 3 tanques cada uno con una capacidad de 50.000 barriles, en donde se mezclan los hidrocarburos y se realiza el proceso de fiscalización.

Estos tanques cuentan con un serpentín interno para calentar el hidrocarburo, utilizando vapor proveniente de los generadores del Módulo 1, de esta manera el hidrocarburo alcanza una temperatura de 135°F.

Los tanques 50.000-1, 50.000-2 y 50.000-3 envían el hidrocarburo al oleoducto Velásquez – Galán y/o la estación Vasconia usando para el despacho 2 bombas con motores de 400 H.P y una línea de 20". A 100 metros de la estación Vasconia se encuentra la válvula que permite dirigir el hidrocarburo a cualquiera de los dos

puntos de entrega. La operación de bombeo se realiza a una rata de 875 barriles por hora y una presión de 160 psi.

El tanque 50.000-3 está habilitado para el cargue de carrotanques. Diariamente se despachan de la estación aproximadamente 10 vehículos tipo cisterna.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN ACTIVOS FÍSICOS

Normalmente en la industria petrolera existen planes de mantenimiento para los equipos los cuales se determinan para periodos fijos, basados en políticas internas de cada empresa o simplemente aplicando un mantenimiento correctivo, esto significa que se repara hasta que falla. No obstante, la finalidad de todo plan de administración de mantenimiento está encaminado a mantener sus equipos con la máxima disponibilidad y confiabilidad para así poder asegurar una producción continua, pero esto no garantiza que los esfuerzos del mantenimiento sean enfocados adecuadamente.

Es por eso que hoy en día en la planeación del mantenimiento se están incorporando criterios de riesgo y confiabilidad, de tal manera que se tenga un impacto positivo tanto en el rendimiento de los activos como en la seguridad, el medio ambiente y la imagen de la empresa, logrando así disminuir, evaluar y controlar los riesgos, administrándolos efectivamente.

La industria petrolera motivada por la disminución de riesgos, ha venido empleando métodos para el análisis de los mismos en cada uno de sus procesos, entre los cuales tienen mayor auge actualmente el AMEF (análisis de modo y efecto de falla) y el RCA (Análisis de causa raíz), estos métodos tienen el objeto de identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente implementar la metodología adecuada para el control de integridad de activos y así seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, correctiva o en su caso, acciones adicionales o complementarias.

2.1.1 Análisis de Modos y efectos de falla (AMEF). Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que generan las fallas de cada componente de un equipo, igualmente es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar su riesgo asociado.⁵ Sus objetivos principales se enuncian a continuación:

- 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.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Cuantificar riesgos y confiabilidad.
- Documentar el proceso.

Existen dos tipos de AMEF, como se mostrara a continuación:

➤ **AMEF DE DISEÑO**

El AMEF potencial de diseño es una técnica analítica utilizada por ingeniería de producto como medio para asegurar que se ha considerado y estudiado cada falla potencialmente concebible.

El AMEF de diseño afecta a las fallas concebibles en un diseño y a sus efectos potenciales.

Las ventajas del AMEF de diseño se pueden ver a continuación:

⁵ TROFFÉ, Mario. Base de datos de confiabilidad, dirigido a la gestión del conocimiento y mitigación de riesgos. En: Petrotecnia. Argentina: (Febrero, 2009). p 14.

- Evitar la retirada de un producto, si el AMEF se realizó de forma completa, incluyendo un seguimiento de los puntos preocupantes más críticos.
- Sistematizar la lógica que una ingeniería debe seguir en cualquier proceso de diseño.

El AMEF de diseño se enfoca en el intento de diseño y asume que el producto será manufacturado y ensamblado para dicho fin. Los modos y causas de falla potencial que pudieran ocurrir durante el proceso de manufactura o ensamble, no deben incluirse en un AMEF de diseño ya que su identificación, efecto y control están cubiertos por un AMEF de proceso.

El AMEF de diseño deberá ser actualizado continuamente conforme se den los cambios a lo largo de la fase de desarrollo del producto y debe estar fundamentalmente terminado con los dibujos finales; el AMEF de diseño no se basa en los controles del proceso para superar las debilidades potenciales en el diseño, pero si toma en consideración los límites técnicos y físicos de un proceso de manufactura y ensamble, por ejemplo:

- Limitaciones del acabado superficial.
- Espacio para ensamble y acceso para herramienta.
- Dureza limitada de los aceros
- Habilidad del proceso
- Salidas necesarias de moldeo

➤ **AMEF DE PROCESO**

Un AMEF potencial de proceso es una técnica analítica utilizada por los ingenieros de mantenimiento como una herramienta en la que, en la medida de lo posible, los problemas potenciales se han considerado y atacado.

El AMEF potencial de proceso identifica los modos de falla de procesos, evalúa los efectos potenciales de falla en el activo e identifica variables significativas del proceso para enfocar los controles para reducción de ocurrencia o detención de las condiciones de falla.

El AMEF de proceso asume que el activo, tal como está diseñado, cumplirá con su función; las fallas potenciales que puedan ocurrir por una debilidad de diseño, no se incluyen en el AMEF de proceso. Su efecto y forma de evitarse está cubierto por el AMEF de diseño.

2.1.2 Análisis de causa raíz (RCA). El Análisis Causa Raíz (RCA) es una metodología de confiabilidad que emplea un conjunto de técnicas o procesos, para identificar factores casuales de falla.

Es decir, el origen de un problema definido, relacionado con el personal, los procesos, las tecnologías, y la organización, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que los eliminen.

Sin embargo, la mayoría de estos se pueden clasificar en cinco "escuelas" que se nombran según su origen:

- RCA basado en la seguridad: del análisis de accidentes y la seguridad ocupacional y la salud.
- RCA basada en la producción: su origen es el ámbito del control de calidad de manufactura industrial.
- RCA basado en el proceso: es básicamente una continuación de la RCA basado en la producción, pero con un alcance que se ha ampliado para incluir los procesos de negocio.
- RCA basado en la falla: tiene sus raíces en la práctica de análisis de fallas como los usados en ingeniería y mantenimiento.

- RCA basado en los sistemas: ha surgido como una mezcla de las escuelas anteriores, con ideas tomadas de ámbitos como la gestión de cambios, gestión de riesgos y análisis de sistemas.

A pesar de la aparente disparidad en cuanto al propósito y la definición entre las diferentes “escuelas” de análisis de causa raíz, hay algunos principios generales que podrían ser considerados como universales.

1. Realizar la ejecución de medidas de mejoramiento en las causas raíz es más efectivo que simplemente tratar los síntomas de un problema.
2. Para ser eficaz, el RCA debe realizarse de forma sistemática, con conclusiones y causas respaldadas por pruebas documentadas.
3. Generalmente hay más de una causa potencial de un determinado problema.
4. Para ser eficaz, el análisis, debe establecer todas las relaciones causales conocidas entre la causa(s) y el problema definido.
5. Análisis de causa raíz transforma una antigua cultura que reacciona a los problemas a una nueva cultura que resuelve los problemas antes de que se intensifiquen, creando una reducción de la variabilidad y una actitud para evitar riesgos.

2.1.3 Análisis De Árbol De Eventos (ETA). La técnica de análisis por árboles de eventos consiste en evaluar las consecuencias de posibles accidentes resultantes del fallo específico de un sistema, equipo, suceso o error humano, considerándose como sucesos iniciadores y/o sucesos o sistemas intermedios de mitigación, desde el punto de vista de la atenuación de las consecuencias.

El árbol de eventos es una ilustración gráfica de sucesos potenciales que puedan dar como resultado fallas de equipos específicos o errores humanos. El Análisis por Árbol de eventos considera la respuesta del personal y los sistemas de seguridad en relación con la presentación de la falla.

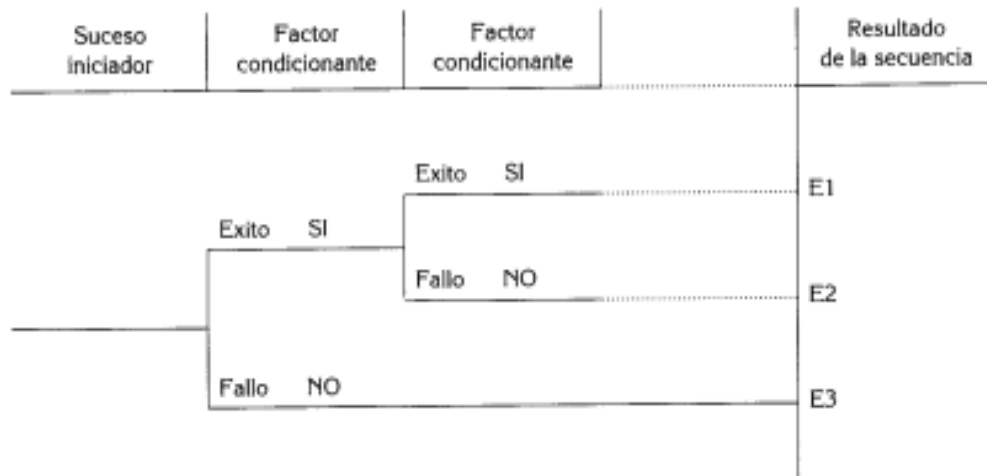
El resultado del análisis de un evento por Árbol de Eventos son las secuencias de un accidente, por ejemplo, un juego de fallas/errores en forma ramificada y cronológica que definen un accidente. El Árbol de eventos no es aplicable al análisis de riesgos, pero es de gran utilidad para analizar el efecto de sistemas de seguridad o procedimientos de emergencia en la prevención y mitigación de eventos peligrosos.

Las conclusiones de los árboles de sucesos son consecuencias de accidentes, es decir, conjunto de sucesos cronológicos de fallos o errores que definen un determinado accidente. Partiendo del suceso iniciador, se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo.

Construcción del Árbol

- La construcción del árbol comienza por la identificación de los N factores condicionantes de la evolución del suceso iniciador.
- A continuación se colocan estos como cabezales de la estructura gráfica.
- Partiendo del iniciador se plantea sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo.

Figura 6. Diagrama de Árbol de Eventos.



Tomado y modificado de: Métodos cuantitativos para el análisis de riesgo. {En línea}. {14 de Octubre de 2015}. Disponible en: http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiatec/Metodos_cuantitativos/cuant_252.htm.

2.2 METODOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE INTEGRIDAD EN ACTIVOS

La razón principal para implementar un modelo de gestión de mantenimiento se basa primordialmente en el factor económico de la empresa, la necesidad de mantener nuevos proyectos requiere de un buen programa de manejo y administración en el que se pueda asegurar la función del activo físico en el marco operacional.

2.2.1 Inspección Basada en Riesgo (IBR). Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

2.2.1.1 Generación de base de datos. El proceso RBI comienza con la generación de una base de datos que contiene toda la información relevante para evaluar la integridad de los equipos. Esta base de datos debe incluir: datos de proceso, datos de diseño, descripción y evaluación de los mecanismos de degradación, y una compilación de las historias de inspección de cada equipo y cañería de la unidad.

2.2.1.2 Descripción de los circuitos de corrosión. Luego, se deben definir y describir los circuitos de corrosión (CC) de la unidad. Un CC es una sección de la unidad que tiene materiales de construcción y condiciones de proceso “similares”. Como consecuencia, un CC se encuentra expuesto a “similares” mecanismos de degradación. Debe destacarse que los equipos pueden estar subdivididos en más de un componente. Cada parte (que se le llamará “TAG”) puede estar sometida a diferentes mecanismos de corrosión, por lo que pueden pertenecer a diferentes CC.

2.2.1.3 Modos de falla. El paso siguiente es asignar los modos de falla relevantes a cada TAG del CC. Cada TAG puede tener asignado más de un modo de falla, por lo que el estudio S-RBI se realiza para cada combinación TAG-Modo de Falla posible. Por ejemplo, una unidad de alquilación existen en total 18 intercambiadores de calor, 10 recipientes, 5 columnas de fraccionamiento, 1 horno y gran cantidad de cañerías, los cuales suman un total de 120 TAGs. Al asignar los modos de falla a cada TAG, se obtienen 175 combinaciones TAG-Modo de Falla a analizar. A continuación, deben evaluarse las criticidades de todas las combinaciones TAG-Modo de Falla definidas.

2.2.1.4 Probabilidades y Consecuencias de falla. Las probabilidades de falla se evalúan respondiendo cuestionarios, dependiendo del modo de falla asignado al equipo. Las consecuencias de falla son independientes de los modos de falla asignados. Se evalúan respondiendo cuestionarios, que tienen en cuenta consecuencias en las siguientes áreas: económicas, de salud y seguridad y medio ambiente. La de mayor severidad es la que determina la clase de consecuencia del componente y se introduce en la matriz.

Esta metodología permite la ubicación de los equipos analizados en una matriz, la cual representa una serie de niveles de clasificación de riesgo, que pueden ser escogidos arbitrariamente; en donde por lo general se tiene: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio-alto graficado en naranja y riesgo alto mostrado en rojo.

2.2.1.5 Medidas a tomar. Una vez evaluadas las criticidades, según sea el nivel de las mismas, se tomarán diferentes medidas. Si la criticidad es baja, en principio no es necesario realizar una inspección formal y/o plan de monitoreo (siempre y cuando esto cumpla con las regulaciones locales). Si la criticidad es media o alta, se deberá realizar un análisis más detallado, que se encuentra fuera del alcance del S-RBI.

Este análisis involucra una etapa de toma de decisiones, en la que se evalúa la aceptabilidad de estos riesgos con las distintas opciones de mitigación, teniendo además en cuenta un análisis costo/beneficio.

2.2.1.6 Índice de confianza. Dependiendo del modo de falla asignado, se responderán diferentes cuestionarios, a partir de los cuales se obtiene una “puntuación” que define el índice de confianza. En general, el índice de confianza depende de varios factores, como por ejemplo, la cantidad de inspecciones llevadas a cabo previamente. Esto significa que si el equipo ya tiene varias

inspecciones (lo que forma parte de su historia); se obtiene un mayor índice de confianza.

2.2.1.7 Programas de inspección. El próximo paso es definir los programas de inspección. El objetivo de un programa de inspección es especificar y realizar las actividades necesarias para detectar el deterioro del equipo en servicio antes de que ocurra la falla y de esta forma evitarla. Muchas situaciones pueden llevar a la falla del equipo, tales como errores de diseño, defectos de fabricación, mal funcionamiento de dispositivos de control, daño progresivo, etc. De todas estas situaciones, la inspección estará destinada principalmente a la detección del daño progresivo. Los parámetros que definen un programa de inspección son: ubicación de la inspección, técnica a utilizar, alcance de la inspección e intervalo entre inspecciones.

El análisis llevado a cabo en esta metodología es más exhaustivo que el realizado en cualquier otra metodología de criticidad y los procedimientos para realizarlo están delineados por las Normativas API 580 y 581.

2.2.2 Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM). El mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, útil para el desarrollo u optimización de un plan de mantenimiento, cuyo principal objetivo es hacer que los esfuerzos de mantenimiento se enfoquen en conservar la función de los activos en cuestión.

La metodología RCM, aparte de asegurar la función del equipo y generar un plan de mantenimiento, analiza cada una de las variables que pueden llegar a afectar el correcto funcionamiento de los equipos, logrando un mejor desempeño y manteniendo la seguridad en el campo laboral, de esta manera se pretende generar mayores tiempos de operación en los activos físicos presentes en el campo durante su ciclo de vida útil.

Teniendo en cuenta la necesidad de generar una solución a las constantes fallas en los activos físicos presentes en un campo petrolero, se plantea una solución desde una visión enfocada en el manejo y la administración, dando a conocer la creación de una dirección estratégica y un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para conseguir que el personal capacitado de mantenimiento mejore el manejo y la administración para conservar y si es posible, mejorar la integridad de los equipos en el campo. El manejo, gestión y administración de los equipos son tareas necesarias para identificar las fuentes de generación del riesgo y así mismo mantener la seguridad física, ambiental, de producción, económica y a la imagen de la empresa.

La metodología analiza cada sistema y como éstos pueden fallar funcionalmente, los efectos que producen cada falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación, imagen y el costo. El objetivo principal es que los esfuerzos de mantenimiento estén dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que a los equipos mismos; esto implica que se debe conocer con gran detalle las condiciones que interrumpen o dificultan dicha función.

El éxito de la metodología RCM depende en gran medida tanto de la experiencia de los participantes como de la posibilidad de contar con datos de tasas de fallas y períodos de ocurrencia registrados, información que comúnmente es difícil de encontrar o elaborar. La división en sistemas y subsistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del equipo de análisis. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada modo de falla / causa de falla; sólo limitada por el grado de detalle con el que se realice el análisis.

En este sentido, la metodología RCM es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados en donde los tiempos para la implementación del método se extiendan en demasía.

2.2.2.1 Las siete preguntas del RCM. La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociado al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Que ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

2.2.2.2 Proceso de implementación del RCM. La acción principal en la implementación del RCM es la conformación del equipo que se encargará de llevar a cabo el análisis. La experiencia que posean las personas que conforman este grupo de trabajo hará que el desarrollo de la metodología tenga un mayor grado de confiabilidad.

Una vez conformado el equipo de trabajo se debe establecer cuales activos físicos estarán contemplados en el programa antes de comenzar, a los cuales se les especificará una serie de datos relacionados a su diseño y configuración para así tener un control más específico de cada equipo.

Después de tener seleccionado el grupo de equipos a los cuales se les aplicará la metodología, se lleva a cabo el siguiente proceso de implementación:

2.2.2.3 Desarrollo e implementación del análisis AMEF. Una vez identificados los activos físicos, comienza la fase de la implementación en sí de la metodología, la

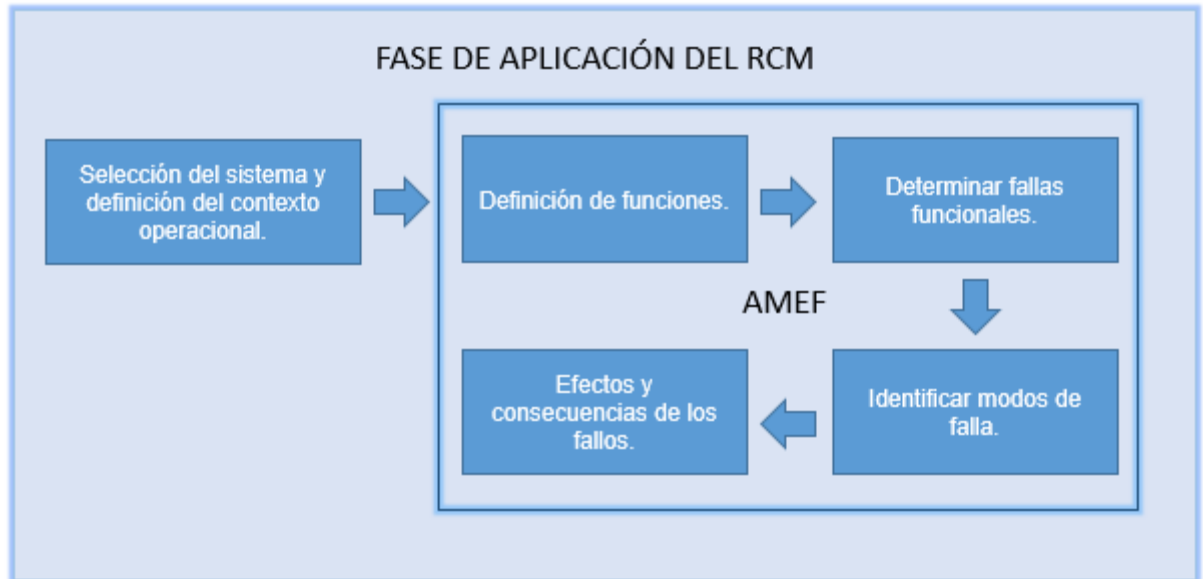
cual puede ser desarrollada por el método anteriormente mencionado como AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla), que ayuda a resolver las primeras cinco preguntas del RCM y como se mencionaba anteriormente, nos permitirá determinar los modos de falla (Que podría salir mal), causas de falla (por qué sucede la falla) y efectos de falla (cuales serían las consecuencias de las fallas); de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presenta.

A la hora de realizar un análisis AMEF se debe tener en cuenta los eventos que han sucedido y los que pueden suceder, las fuentes más comunes para recopilar esta información se encuentran inicialmente en el fabricante del equipo, otros usuarios que posean el mismo equipo, históricos del equipo, personal de mantenimiento y operaciones.

El personal con la experiencia suficiente es la fuente de información más valiosa para preparar un AMEF ya que conocen el funcionamiento del equipo, conocen el estado del equipo, cuanto afecta cada falla a la totalidad del equipo y que acciones o razonamientos se deben de tomar al momento que se presenta una falla.

Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del RCM, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias. A continuación se muestra el flujograma para el desarrollo del AMEF.

Figura 7. Flujograma AMEF.



Tomado y modificado de: PARRA, Carlos. RCM. En: Mantenimiento centrado en confiabilidad nivel avanzado. Bogotá: Elite Training, 2012. p 14.

2.2.2.4 Funciones y parámetros de funcionamiento. Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar que debe hacerse para que los activos físicos contemplados en el programa continúen haciendo su trabajo en el área operacional, es necesario determinar el papel que el usuario le asignará a cada activo y asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga. Por tal motivo el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto a los parámetros de funcionamiento deseados.

2.2.2.5 Fallas Funcionales. Una vez se tienen los activos y su respectiva función, el paso siguiente es la determinación de la falla funcional del equipo.

En el mundo del RCM, los estados de fallas son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Sumado a la

incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Pero estas solo pueden claramente identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

2.2.2.6 Modos De Falla. Teniendo identificada la falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de falla (Que podría salir mal). Estos hechos se denominan modos de falla.

Al hablar de modos de falla, hay que referirnos a las fallas que han ocurrido en equipos iguales o de características similares operando en el mismo contexto y aquellas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existente, así como las fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por el uso normal del equipo. Sin embargo, para que todas las causas probables de falla en los equipos puedan ser identificadas esta lista debe incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentado tratar síntomas en lugar de causas reales.

2.2.2.7 Efectos De Falla. El siguiente paso en el proceso de RCM consiste en hacer un análisis de los efectos de falla.

Esta interpretación sirve para apoyar la evaluación de las consecuencias de falla, es decir, de acuerdo al efecto que genera la falla funcional del equipo se producen

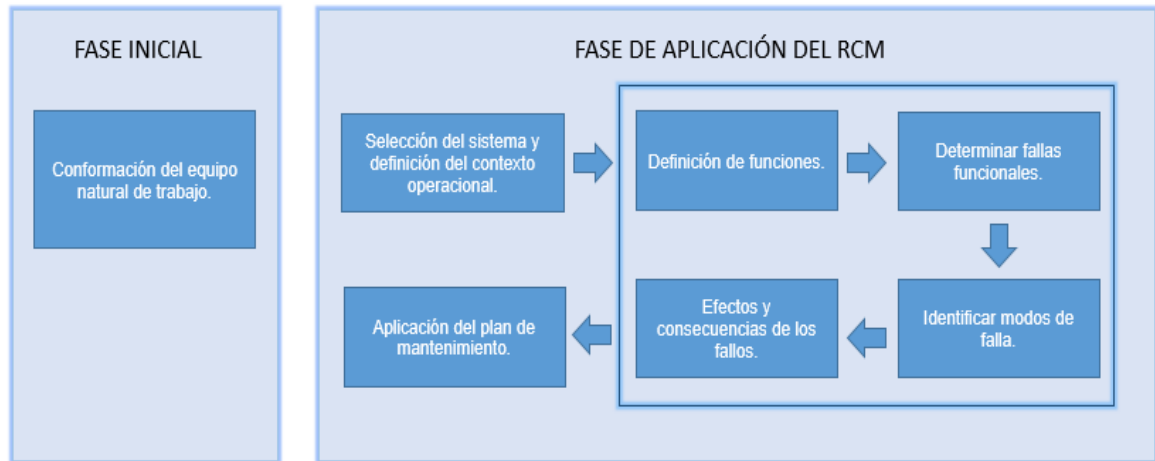
unas consecuencias ligadas al ambiente, producción, imagen y economía de la empresa. La definición de la consecuencia de falla será mostrada más adelante al enfatizar en la metodología para la evaluación de riesgos.

2.2.2.8 Niveles De Riesgo. Una vez realizado el análisis AMEF, se pasa a evaluar el nivel de riesgo que puede llegar a tener cada equipo debido al modo de falla contemplado, lo cual se hace por medio de una matriz de riesgo que contempla la probabilidad de que ocurra la falla y las consecuencias de la misma, para posteriormente jerarquizar cada uno de los equipos y así poder realizar un mantenimiento más efectivo.

2.2.2.9 Tareas Preventivas y Correctivas. Una vez jerarquizados los equipos se debe seleccionar el tipo de actividad que ayudará a prevenir la aparición de cada uno de los modos de falla preestablecidos. Por medio de esta metodología se identifican dos tipos de actividades como lo son: las tareas preventivas y correctivas, las primeras corresponden a todas las actividades desarrolladas antes que ocurra la falla, mientras que las actividades correctivas se definen como las tareas en donde la intervención se realiza después que la falla se presenta.

A continuación se representa gráficamente el proceso de implementación de la metodología RCM.

Figura 8. Proceso de Implementación de la Metodología RCM.



Tomado y modificado de: PARRA, Carlos. RCM. En: Mantenimiento centrado en confiabilidad nivel avanzado. Bogotá: Elite Training, 2012. p 14.

NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224 es una norma internacional la cual brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de producción de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM y AMEF.

La norma presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de los equipos y compararla con la de otros de características similares.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

- a. Especificar qué datos serán recolectados para el análisis de:
 - Diseño y configuración del sistema
 - Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y plantas

- Costo del ciclo de vida
 - Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.
- b. Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:
- Permitir el intercambio de datos entre plantas
 - Asegurar que los datos sean de la calidad suficiente para el análisis que se pretende.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de operación, como también la calificación de la jerarquía de las fallas.

Básicamente parte desde el modo de falla (pérdida de la función) hasta el detalle de la causa de falla y el componente que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el ingeniero de mantenimiento (y las que quedan para un especialista).

2.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS

Para llevar a cabo la evaluación de los diferentes riesgos se debe tener en cuenta que es un proceso iterativo a través del cual se tendrá una base efectiva para realizar de la mejor manera una gestión activa que relaciona desde la seguridad y salud en el trabajo hasta los impactos ocasionados a la imagen de la empresa.

Además nos brindará ciertas facilidades para determinar los tipos de eventos o condiciones adversas que pueden impactar la integridad de los diferentes activos presentes en un campo petrolero, la posibilidad de que estos eventos o condiciones puedan terminar en una pérdida del activo físico, la severidad de las consecuencias que pueden ocurrir después de la falla y finalmente establecer cuál será la decisión que se adoptará para prevenir y/o mitigar cada uno de estos

escenarios que pueden llegar a ocurrir. Para el desarrollo de este programa el riesgo se define como “La posibilidad de que un evento de cómo resultado una falla a la integridad del activo que se está considerando y por lo tanto llegue a afectar a las personas, al medio ambiente, y/o a la empresa”.

Matemáticamente el riesgo estará definido como:

$$RIESGO = POSIBILIDAD * CONSECUENCIA$$

Al combinar la posibilidad de uno o más eventos con sus consecuencias se determinará el riesgo a la operación en el campo petrolero. Algunas fallas podrán producirse con relativa frecuencia sin un significado adverso en términos de seguridad, impacto al medio ambiente o económico. De forma similar algunas fallas pueden originar serias consecuencias, pero si la consecuencia es baja, el riesgo puede no requerir una acción inmediata. No obstante si la combinación de Posibilidad y Consecuencia es inaceptablemente alta, entonces se deberán recomendar medidas de mitigación para predecir o prevenir el evento o controlar las consecuencias del evento si este llegase a ocurrir.

En base al análisis previamente realizado se puede decir que una evaluación de riesgos considera dentro de su concepto, que existen dos partes diferenciadas que son el análisis de riesgos y la valoración de los mismos.

2.3.1 Criterios para evaluar un riesgo. A la hora de evaluar un riesgo, se debe tener ciertas especificaciones para posteriormente dar el mejor análisis, y de esta manera reducir las posibilidades de fallar en cuanto a considerar una actividad como riesgo. Para esto se debe tener una serie de criterios como lo son:

La predicción: Cuando se requiere hacer una evaluación de riesgos lo que se busca es identificar amenazas previamente no reconocidas para la integridad de

los equipos, razón por la cual se debe tener la capacidad de ir más allá de los eventos que anteriormente pudieron haber ocurrido y de esta manera llegar a predecir incidentes futuros, incluyendo escenarios creíbles que pueden no haber ocurrido nunca.

La experiencia: Por medio del conocimiento adquirido con respecto al tema se tendrá cierta ventaja a la hora de considerar la frecuencia y severidad de incidentes que pueden llegar a ocurrir sobre cada uno de los equipos contemplados en el programa. Esta experiencia es vital ya que reduce tiempo y aumenta la eficacia a la hora de la realización del programa, ya sea para captar problemas que normalmente una persona sin experiencia pasaría por alto o para analizar consecuencias más específicas que de ser ignoradas podrían traer graves problemas en un futuro.

La capacidad de buscar soluciones: cuando hablamos de un programa en el cual lo que se busca es el análisis de ciertos riesgos que se están presentando en una área determinada, es necesario tener autonomía para decidir cómo afrontarlos y por consiguiente cómo darles la mejor solución. Esta capacidad es de gran ayuda debido a que nos estamos enfrentando a un programa iterativo, el cual se basa en la retroalimentación de información, razón por la cual si no se toma la solución más viable se incurrirá en el mismo error una y otra vez.

2.3.2 Probabilidad de falla. La probabilidad o posibilidad de que un hecho ocurra, se evaluará teniendo en cuenta la continuidad del evento (Frecuencia de ocurrencia) por año. Comprende la determinación de la condición, evento o serie de eventos que conllevarán a la falla.

El grupo de trabajo otorgará un número que represente la posibilidad de falla a cada escenario establecido. Este número representa la mejor estimación de la

posibilidad, probabilidad o frecuencia con la que puede ocurrir este evento en particular.

De manera general, este número muestra la experiencia de los integrantes del equipo de trabajo. El número asignado estará comprendido entre 1 y 5, en donde 1 representa una probabilidad despreciable y 5 representa una probabilidad muy alta de ocurrir, de acuerdo con los siguientes rangos:

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Despreciable

Para una buena evaluación de la probabilidad o posibilidad de falla, se puede llegar a utilizar una combinación de los alcances cualitativos y cuantitativos, esto será decisión de cada grupo de trabajo y de la cantidad de información que se tenga.

2.3.3 Consecuencias de falla. En términos generales se puede definir la consecuencia como el resultado de un evento, por tal motivo cuando se esté realizando el análisis de las consecuencias ocasionadas por cada posible falla se deben considerar una serie de criterios como lo son impactos en seguridad, higiene, ambiente e impactos financieros.

Las consecuencias de falla se miden teniendo en cuenta los daños, interrupción del negocio o impactos financieros asociados con un evento en particular. La consecuencia de que ocurra un escenario se puede expresar como un valor adimensional o un valor en dinero por evento.

De forma similar a la asignación de la probabilidad de falla, el equipo de trabajo asignará un número que represente las consecuencias de la falla a cada escenario establecido.

Este número representa el mejor estimado de los impactos adversos que se tendrían si el evento analizado llegara a ocurrir. Nuevamente, en términos generales este número refleja la experiencia de los integrantes del equipo de trabajo. El número asignado deberá estar entre 1 y 5, en donde 1 representa un evento con consecuencias muy bajas y 5 representa un evento con consecuencias muy altas.

El personal para la valoración de riesgos debe tener un profundo conocimiento del análisis de riesgos, bien sea por su educación académica, por su formación o por su experiencia. Debe haber recibido entrenamiento detallado acerca de la metodología y procedimientos a seguir durante la valoración de manera que comprenden como opera el programa y los aspectos vitales que afectan los resultados finales.

Este entrenamiento se enfoca principalmente en la comprensión y aplicación de la metodología a seguir establecida, de igual manera puede ser impartido por el personal de valoración de riesgos que pertenezca al equipo o bien por una persona con conocimientos sobre la metodología específica de valoración de riesgos.

2.3.3.1 Consecuencias al medio ambiente. Las consecuencias ambientales incluyen aquellos efectos que pueden ocurrir en el predio del Campo petrolero y afectar directamente a la ecología circundante debido a la liberación no deseada de crudo y/o cualquier otro fluido.

La magnitud de las consecuencias ambientales está directamente asociada con:

- ✓ Volumen liberado al medio ambiente.
- ✓ Medios impactados por la falla estructural del activo (suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, etc.).
- ✓ Tipo de fluido.
- ✓ Uso de la tierra a los alrededores, sensibilidad ecológica del área, condiciones del suelo y de las aguas subterráneas, etc.

2.3.3.2 Consecuencias a la comunidad. Las consecuencias a la comunidad debido a los diferentes modos por los cuales puede fallar un activo específico incluye la evaluación de los impactos a la salud y seguridad de las comunidades, empleados y contratistas que se encuentran en el campo petrolero, el efecto potencial resultante de la liberación del fluido, el número de personas impactadas por la ocurrencia de dicha falla, entre otras.

Para determinar la magnitud de cada una de estas consecuencias se debe tener en cuenta una serie de aspectos relacionados con:

- ✓ Proximidad de los diferentes activos al personal y a las comunidades circundantes.
- ✓ Flamabilidad y toxicidad del producto.
- ✓ Cercanía de estos activos a otras instalaciones.
- ✓ Densidad de la población.

2.3.3.3 Consecuencias económicas y a la imagen de la empresa. Las consecuencias a la empresa incluyen la evaluación de posibles escenarios específicos de falla y sus efectos económicos y operacionales. Estos afectan directamente los costos asociados con la interrupción del negocio, pérdida de producto, impactos al mercado, litigios, entre otros.

La magnitud está directamente asociada con:

- ✓ Costo de las reparaciones y/o pérdidas de los diferentes activos que se están evaluando.
- ✓ Tiempo que demora la operación parada debido a la falla.
- ✓ Multas generadas por la ocurrencia de las fallas.
- ✓ Imagen y reputación.

2.3.4 Matriz De Riesgo. Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada “Críticidad”; que es proporcional al “Riesgo” creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis. Una matriz de riesgo es una forma muy efectiva de comunicar la distribución de riesgos a lo largo de una planta o unidad de proceso sin la necesidad de utilizar valores numéricos.

Figura 9. Matriz de Riesgo

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Tomado de: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Sevilla: Ingeman, 2012. p 64.

Normalmente es deseable asociar valores numéricos con las categorías para proporcionar una guía al personal que realiza la evaluación. Se pueden usar diferentes tamaños de matrices (por ejemplo, 5 x 5, 4 x 4, etc.). Sin tener en cuenta la matriz seleccionada, las categorías de consecuencia y de probabilidad deben proporcionar la discriminación suficiente entre los componentes a evaluar.

Esta será la herramienta que nos dice que tan grave es el riesgo al cual nos estamos enfrentando, por medio de la cual se analizan diferentes posibilidades.

2.3.5 Valoración Del Riesgo. Una vez se calculen los resultados de los riesgos se procederá a ordenarlos por prioridad, lo cual consiste en emitir un juicio sobre el nivel de tolerancia de los mismos y de esta manera poder determinar la necesidad de efectuar diferentes estrategias de inspección/mitigación.

Esta valoración de riesgos es un proceso que debe mantenerse al día, ya que al variar una condición o actividad de trabajo habrá la posibilidad de que se generen nuevos riesgos. Lo cual está establecido en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, donde se obliga al empresario a realizar la actualización de las evaluaciones, cada vez que cambien las condiciones de trabajo.

Las dos variables, Posibilidad de Falla y Consecuencia de Falla, son fundamentales para establecer la magnitud de los riesgos en el Campo Petrolero y de esta forma facilitar la selección de las estrategias de mitigación de aquellos riesgos que sean inaceptablemente altos.

Este proceso será también utilizado para analizar la incidencia de las medidas de mitigación propuestas en la disminución de la posibilidad de falla o en la consecuencia de la falla con el fin de determinar cuáles son las medidas más eficientes a implementar.

La valoración de los riesgos relacionados con la integridad de un Campo Petrolero es un proceso continuo en el cual periódicamente se debe recopilar información y experiencia operativa, la cual será luego utilizada para comprender los riesgos asociados con un equipo específico o con operaciones específicas. A medida que esta información se va complementando, el Campo Petrolero puede ajustar su programa de integridad, lo cual terminará haciendo que la valoración de riesgos sea un proceso iterativo.

Un paso que toma una importancia trascendental a la hora de complementar la valoración de los riesgos es la evaluación de nuevas tecnologías que puedan llegar a mejorar todo el proceso, ya que traerían técnicas capaces de reducir los diferentes riesgos presentes en el campo petrolero. El conocimiento de cada una de estas tecnologías disponibles permitirá aplicar las técnicas más apropiadas para un riesgo específico.

2.4 MANTENIMIENTO

Se puede definir el mantenimiento como el " conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados".

Como los equipos no pueden mantenerse en buen funcionamiento por si solos, se debe contar con un grupo de personas que se encarguen de ello, conformando así el departamento de mantenimiento de nuestras empresas.

En cualquier empresa, el mantenimiento debe cumplir con dos objetivos fundamentales: reducir costos de producción y garantizar la seguridad industrial.

Cuando se habla de reducir los costos de producción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para la producción.
- Se busca reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de los equipos, mediante la aplicación de una determinada cantidad de mantenimiento en los momentos más apropiados.
- Incrementarla vida útil de los equipos.

El objetivo del mantenimiento es:

- a) Corregir una avería (mantenimiento correctivo).
- b) (Como acción periódica y planificada) Evitar la ocurrencia de averías (mantenimiento preventivo).

Como se observa en el párrafo anterior, según la ISO 14224 existen dos tipos de mantenimiento, el mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo y un mantenimiento de oportunidad. El mantenimiento preventivo se divide en rutinario, predictivo y en monitoreo de la condición.

2.4.1 Tarea de Mantenimiento Preventivo. Este tipo de mantenimiento tiene su importancia en que realiza inspecciones periódicas sobre los equipos, teniendo en cuenta que todas las partes de un mecanismo se desgastan en forma desigual y es necesario atenderlos para garantizar su buen funcionamiento. El mantenimiento preventivo se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), con el fin de anticipar las posibles fallas en el equipo. Tiene en cuenta cuales actividades se deben realizar sobre el equipo en marcha o cuando esté detenido.

El mantenimiento preventivo inicia desde el momento que se diseña el equipo pensando en proporcionar al usuario la flexibilidad en el mantenimiento y montaje inicial, los elementos básicos del mantenimiento preventivo se basan en la identificación de partes y componentes a inspeccionar, intervalos específicos de intervención y control sobre el cumplimiento de las tareas de inspección.

Para que el mantenimiento preventivo sea exitoso se debe de analizar previamente que eventos (modos de falla) se presentaran para identificarlos y analizar qué consecuencias se presentaran si suceden, evaluar sus repercusiones y decidir que se debe de hacer para anticiparse, prevenirlo, detectarlo o corregirlo; quiere decir que para cada modo de falla existirá una tarea de mantenimiento clara.

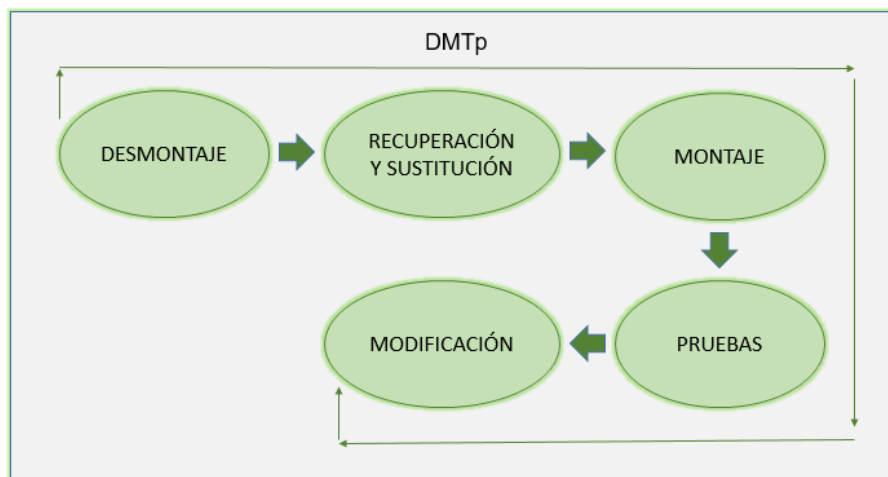
Como se explicó anteriormente el mantenimiento preventivo en primer lugar se divide en mantenimiento rutinario o periódico basado en frecuencias establecidas, segundo en mantenimiento predictivo monitoreando la condición basado en

inspecciones y mediciones y finalmente en rondas de inspección y monitoreo realizadas por el operador basado en sus sentidos.

El mantenimiento preventivo típico consta de las siguientes actividades de mantenimiento: desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas y verificación.

En la Figura se da una representación gráfica de la tarea de mantenimiento PRT (Preventive Task, PRT), la duración de la tarea de mantenimiento preventivo se representa por el tiempo de mantenimiento de la tarea (DMTp).

Figura 10. Representación Gráfica de una Tarea de Mantenimiento Preventivo.



Tomado y modificado de: KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid: Isdefe, 1996. p 54.

2.4.2 Tarea de Mantenimiento Correctivo. Es aquel mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presente en determinado momento. Se puede afirmar que es el equipo quien determina cuando se debe parar.

Su función principal es poner en marcha el equipo lo más rápido posible y al mínimo costo posible. Para que este mantenimiento tenga éxito se deberá estudiar la causa del problema, estudiar las diferentes alternativas para su reparación y

planear el trabajo con el personal y equipos disponibles. Este mantenimiento es común encontrarlo en las empresas pequeñas y medianas, presentando una serie de inconvenientes a saber:

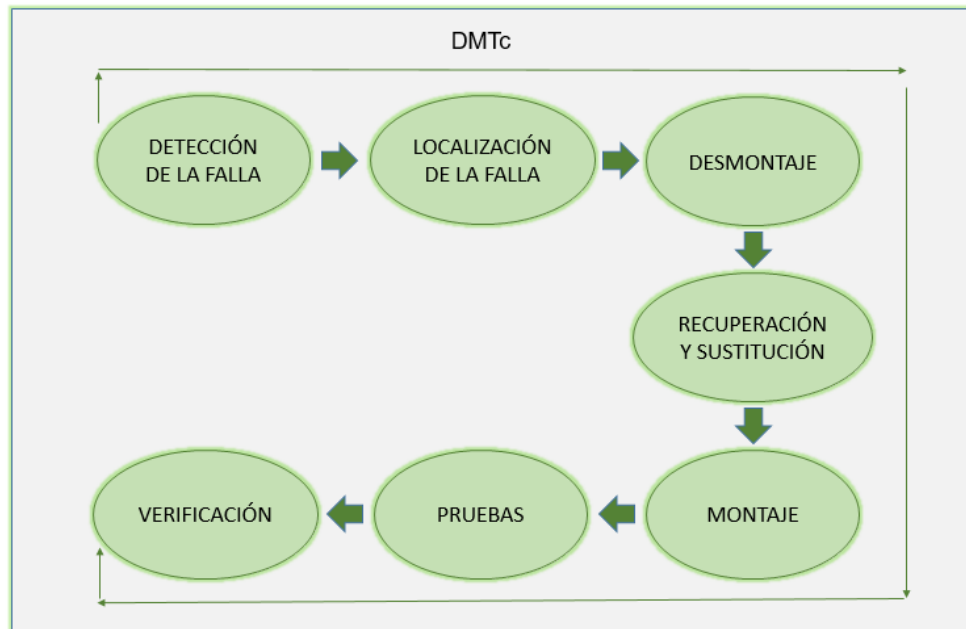
- Normalmente cuando se hace una reparación no se alcanzan a detectar otras posibles fallas porque no se cuenta con el tiempo disponible.
- Por lo general el repuesto no se encuentra disponible porque no se tiene un registro del tipo y cantidad necesarios.
- Generalmente la calidad de la producción cae debido al desgaste progresivo de los equipo.

En otras palabras, las tareas de mantenimiento correctivo (Corrective Tasks, CRT) son las tareas que se realizan con intención de recuperar la funcionabilidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren.

Una tarea de mantenimiento correctivo típica consta de actividades como la detección de la falla, localización de la falla, desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas y verificación.

En la Figura se muestra una representación gráfica de la tarea de mantenimiento CRT. La duración de la tarea se representa por DMTc, que representa el tiempo transcurrido necesario para la conclusión con éxito de la tarea de mantenimiento correctivo.

Figura 11. Representación Gráfica de una Tarea de Mantenimiento Correctivo.



Tomado y modificado de: KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid: Isdefe, 1996. p 52.

3. APLICACIÓN Y RESULTADOS DE LA METODOLOGIA IMPLEMENTADA

La metodología implementada en el siguiente programa es la metodología RCM (Mantenimiento Basado en la Confiabilidad). La selección e implementación de la metodología se lleva a cabo partiendo de la idea de cumplir con el objetivo general planteado en el desarrollo del programa y por la disposición de información referente a los activos dinámicos que se encuentran en campo.

Estas razones fueron la base que nos llevaron a encaminar nuestro trabajo de investigación hacia la implementación de un programa de manejo y administración de activos enfocado en equipos dinámicos.

3.1 SELECCIÓN DE ACTIVOS CRÍTICOS DEL CAMPO TECA-COCORNÀ

Para llevar a cabo la selección de los activos a los cuales se les aplicará el análisis por medio de la metodología RCM se tuvo en cuenta la opinión del grupo de trabajo (ingenieros de mantenimiento y confiabilidad) que se conformó en el Campo Teca-Cocornà.

En esta selección de activos la criticidad de los mismos nos dio la pauta principal para proceder, razón por la cual se eligió el sistema SIAR (Sistema de Inyección de Aguas Residuales) del módulo 1 del Campo Teca-Cocornà ya que es el sistema encargado de evacuar toda el agua residual producto del proceso de disminución del BS&W en el tratamiento de crudo, en donde aproximadamente el 80% del proceso es agua y sedimentos, y algún tipo de falla puede llegar a parar la producción del campo.

Teniendo en cuenta que el sistema SIAR es considerado un sistema de alta criticidad, por los motivos anteriormente mencionados, se procede a aplicar la

metodología RCM a los activos dinámicos que conforman el sistema de inyección de aguas residuales.

3.1.1 Activos presentes en el SIAR - Modulo 1. El sistema de Inyección de Aguas Residuales presente en el Modulo 1 está conformado por los siguientes sistemas:

1. SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES

- a. SKIMMER-SEPARADOR API
- b. TANQUILLA AGUAS RESIDUALES
- c. PISCINA OXIDACION O CONTINGENCIA SIAR

2. SISTEMA DE DESNATACIÓN AGUAS RESIDUALES

- a. TK-5000-2 TANQ AGUAS RESID DESNATD 5000 Bbls
- b. CELDA DE FLOTACION

3. SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA

- a. UNIDADES DE BOMBEO TRANSFERENCIA A FILTROS
- b. FILTROS CASCARA DE NUEZ
- c. TK-5000-8 TANQ DE AGUA FILTRADA 5000 Bbls
- d. UNIDADES DE BOMBEO BOOSTER DE INYECCION
- e. UNIDAD DE BOMBEO RETROLAVADO FILTROS

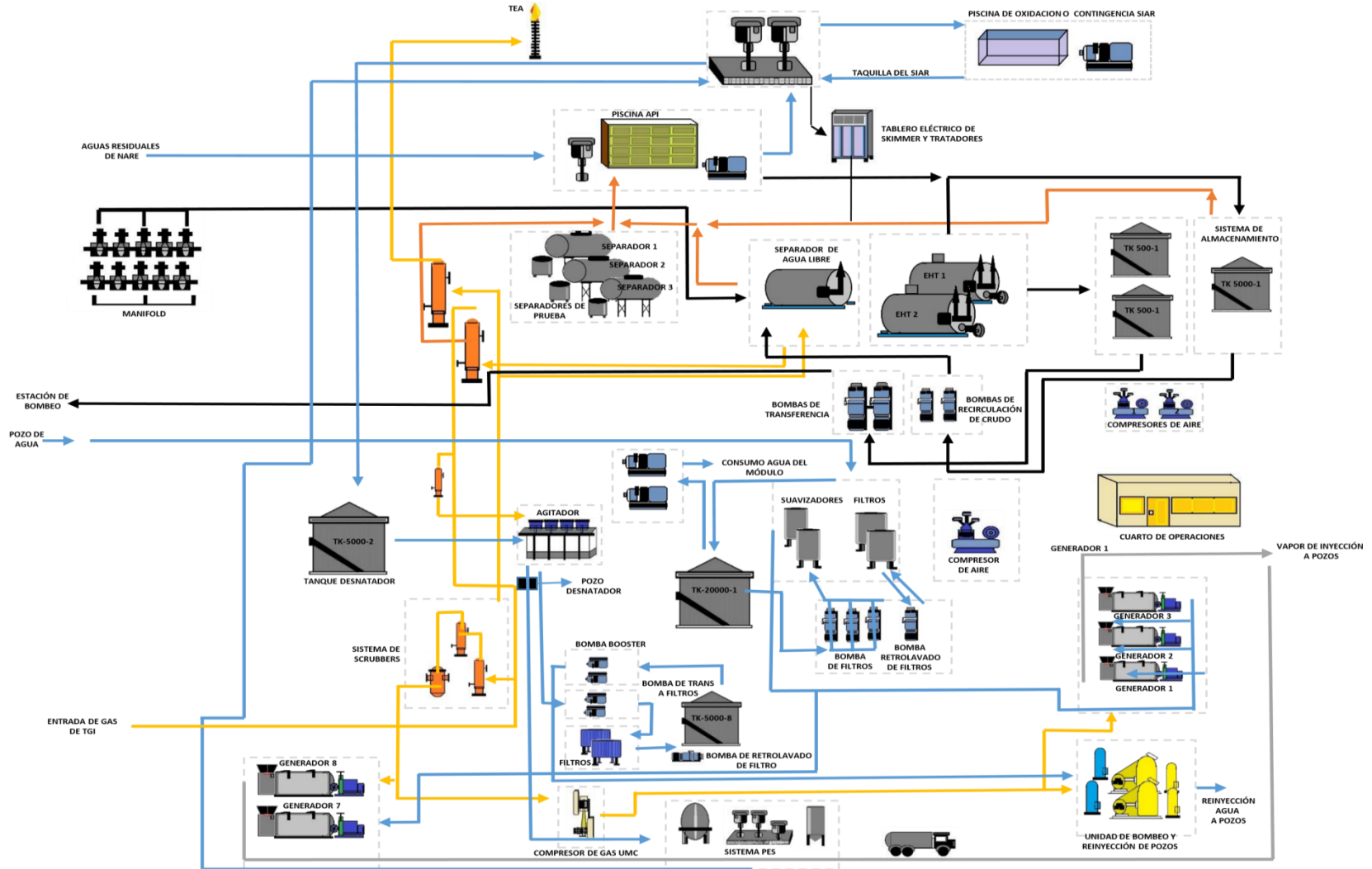
4. SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCIÓN A POZOS

- a. UNIDADES DE BOMBEO TRIPLEX INYECCION A POZOS

5. SISTEMA PES

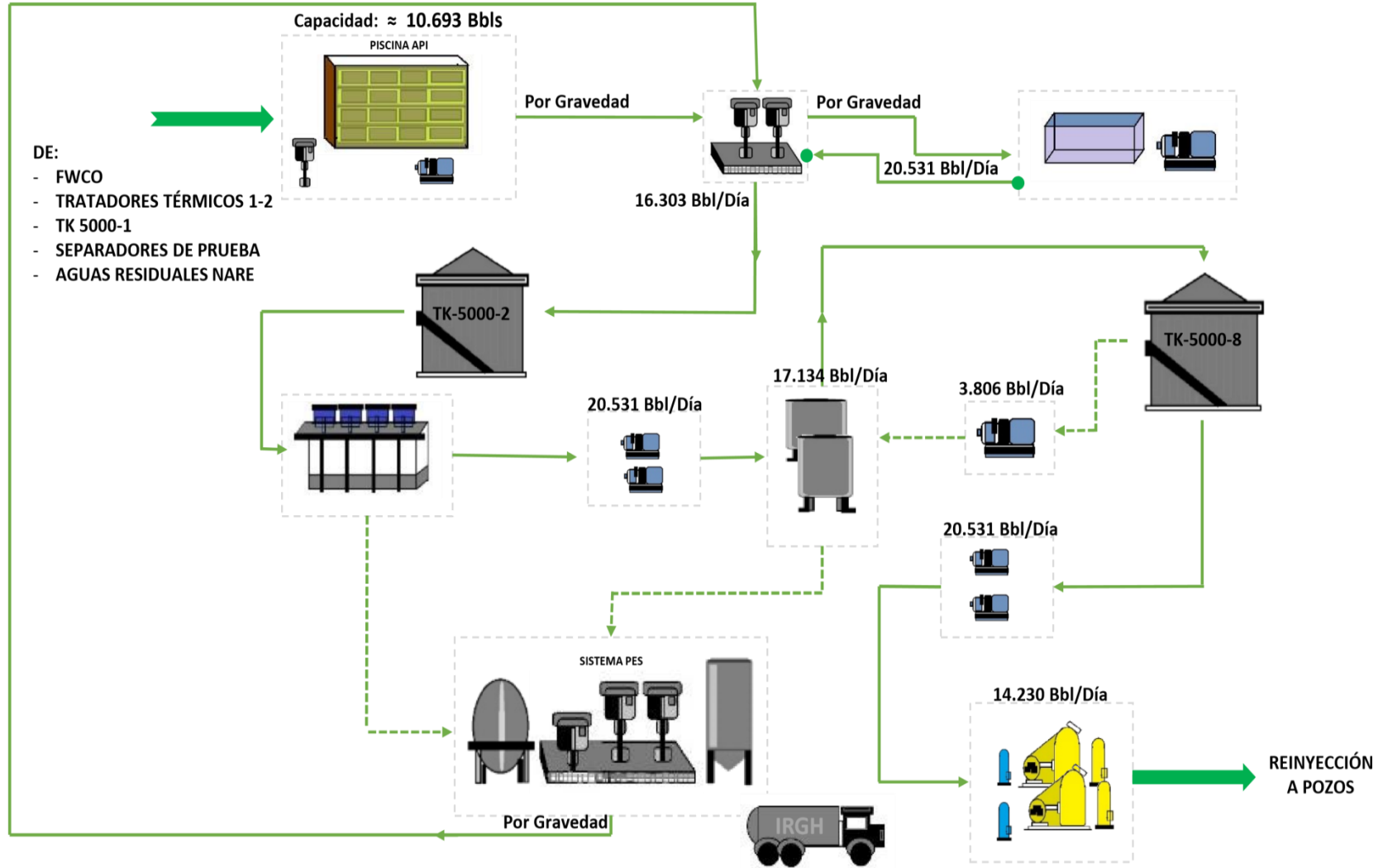
- a. UNIDAD DE BOMBEO DE PES A TK TROMPO
- b. UNIDADES DE BOMBEO DE TK-500-1 A TANQUILLA DEL PES
- c. TANQUE HORIZONTAL TK 500-1 PES
- d. TANQUE TROMPO PES

Figura 12. Diagrama General de Flujo Modulo 1



Tomado y modificado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1 - Noviembre 2015

Figura 13. Diagrama SIAR Modulo 1



Tomado y modificado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1 – Noviembre 2015

3.1.1.1 Sistema piscinas de aguas residuales

a. SKIMMER-SEPARADOR API

El skimmer-separador API es una piscina rectangular (Profundidad: 2,8 mts; Largo: 25,6 mts; Ancho: 4,2 mts – Nivel a 2.1mts) hecha en concreto y es la encargada de recibir (Capacidad: \approx 40.000 BOPD) el fluido (Crudo – Agua) proveniente de los separadores, de los tratadores, de los tanques de crudo y los drenajes de los manifold de recibo de crudo.

Este skimmer-separador API está diseñado para separar las grandes cantidades de aceite y solidos suspendidos provenientes de las aguas residuales, recibe este nombre ya que fue diseñado bajo lineamientos establecidos por la American Petroleum Institute (API).

Las válvulas de alivio de presión de los separadores y tratadores de crudo, descargan al separador API (skimmer).

Figura 14. Skimmer - Separador API



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

El skimmer-separador API está conformado por dos unidades de bombeo las cuales se encargan de regresar el crudo que llega al skimmer - separador API y bombearlo al sistema de crudo sucio (TK-5000-1 CJ).

La caja colectora de agua esta provista de dos flotadores que inician y paran las bombas automáticamente para impedir que por los canales colectores de aceite fluya agua.

Adicionalmente este separador recibe el agua de proceso proveniente del Módulo Nare. El Skimmer está conformado por:

➤ UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 SKIMMER API

Unidad de bombeo encargada de bombear el crudo recuperado en el skimmer hacia el TK-5000-1 CJ.

Figura 15. Unidad de Bombeo Vertical No. 1 Skimmer API



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD DE BOMBEO HORIZONTAL No. 2 PISCINA API

Unidad de bombeo encargada de bombear el crudo recuperado en el skimmer hacia el TK-5000-1 CJ.

Figura 16. Unidad de Bombeo Horizontal No. 2 Piscina API



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

b. TANQUILLA AGUAS RESIDUALES

En la Tanquilla es donde inicia el proceso del sistema de inyección de aguas residuales, toda el agua con crudo proveniente de los desechos del sistema de tratamiento de crudo se vierte en el Skimmer, en donde por nivel, gravedad y densidad se separa el agua del crudo, esta agua es almacenada en la Tanquilla.

Luego por medio de las bombas de Tanquilla el agua es bombeada por una tubería de 6" en la cual se le inyectan una serie de químicos como antiespumantes y dispersantes de sólidos y así ser almacenada en un tanque desnatador de 5000 Bbls.

Figura 17. Unidades de Bombeo Tanquilla



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

La tanquilla está conformada por:

➤ UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 TANQUILLA SIAR

Unidad de bombeo encargada de bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2.

Figura 18. Unidad de Bombeo Vertical No. 1 Tanquilla SIAR



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 2 TANQUILLA SIAR

Unidad de bombeo encargada de bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2.

Figura 19. Unidad de Bombeo Vertical No. 2 Tanquilla SIAR



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

c. PISCINA DE OXIDACION O CONTINGENCIA SIAR

La piscina de oxidación o contingencia SIAR (Profundidad: 2.5 mts; largo: 35 mts; ancho: 20 mts.) es la encargada de recibir los drenajes de agua que se vierten de los diferentes equipos del módulo 1 cuando las unidades de bombeo de la tanquilla fallan para luego bombearla al sistema de re-inyección.

Figura 20. Piscina de Oxidación o Contingencia SIAR



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

La piscina de Oxidación cuenta con la siguiente unidad de bombeo:

➤ UNIDAD DE BOMBEO PISCINA CONTINGENCIA

Esta unidad de bombeo es la encargada de succionar de la piscina de contingencia y enviar de regreso al módulo para su posterior proceso.

Figura 21. Unidad de Bombeo de la Piscina de Oxidación o Contingencia SIAR



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

3.1.1.2 Sistema de desnatación de aguas residuales

a. TK-5000-2 TANQUE AGUAS RESIDUALES DESNATADOR 5000 Bbls

En el tanque desnatador se retira mediante decantación parte de las natas presentes en el agua, el TK-5000-2 tiene una capacidad de 5,000 Bbls de agua y cuenta con las siguientes dimensiones: tamaño: 10,63 x 9.15 mt, diámetro: 10,63 mt y longitud total: 9,15 mt

Figura 22. Tanque Desnatador TK 5000-2



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

b. CELDA DE FLOTACIÓN

La celda de flotación cuenta con un depósito principal que recibe agua del tanque desnatador con capacidad de 5000 Bbls. También cuenta con cuatro unidades de agitación marca WEMCO cuya función es la de mantener el agua en constante movimiento y separar el agua de la parafina contenida en ella por medio de unas aspas que continuamente están agitando el agua residual.

Estos bancos agitadores no son considerados como equipos críticos puesto que no es indispensables para el proceso.

Figura 23. Celda de Flotación



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

3.1.1.3 Sistema de filtración de agua

a. UNIDADES DE BOMBEO TRANSFERENCIA A FILTROS

Unidades de bombeo encargadas de succionar agua del proceso del tanque desnatador 5000-2 o de la celda de flotación y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8.

Figura 24. Unidades de Bombeo Transferencia a Filtros



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD DE BOMBEO No1 TRANSFERENCIA A FILTROS

Figura 25. Unidad de Bombeo Transferencia a Filtros No.1



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD DE BOMBEO No2 TRANSFERENCIA A FILTROS

Figura 26. Unidad de Bombeo Transferencia a Filtros No.2



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

b. FILTROS CASCARA DE NUEZ

Los filtros cascara de nuez son los encargados de retirar las impurezas y partículas en suspensión del agua del proceso que viene del sistema de desnatación, este filtro cascara de nuez tiene las siguientes características: tipo de tanque: vertical, longitud total: 3.8 mts, capacidad: 250 GPM (8572 Bbl/Día) c/u, DIAMETRO: 3.2 mts.

Figura 27. Filtros Cascara de Nuez



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

c. TK-5000-8 TANQUE DE AGUA FILTRADA 5000 Bbls

El tanque de agua filtrada de 5000 Bbls suministra el agua a las booster, las cuales alimentan a las bombas triplex del sistema de reinyección. Este tanque tiene las siguientes dimensiones: Tamaño: 10,63 mt x 9,15 mt, longitud total: 9.4 mt, tipo de tanque: techo fijo, tipo de cabeza: plana-soldada

Figura 28. Tanque de Agua Filtrada TK 5000-8



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

d. UNIDADES DE BOMBEO BOOSTER DE INYECCION

Una vez se ha filtrado el agua residual de partículas sólidas y se ha almacenado en el TK-5000-8, las bombas Booster son las encargadas de trasladar el agua

hacia las bombas de inyección Triplex, suministrando la presión necesaria para su funcionamiento.

Figura 29. Unidades de bombeo Booster de Inyección



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

Las bombas presentan la misma configuración y características, conformadas por un motor eléctrico Siemens acoplado a una bomba Sterling que las bombas de transferencia a Filtros.

➤ UNIDAD BOMBEO No. 1 BOOSTER DE INYECCION

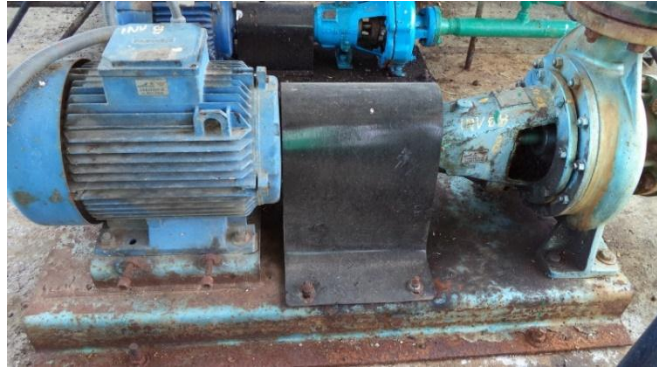
Figura 30. Unidad de bombeo Booster No.1



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD BOMBEO No. 2 BOOSTER DE INYECCION

Figura 31. Unidad de bombeo Booster No.2



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

e. UNIDAD DE BOMBEO DE RETROLAVADO DE FILTROS

Unidad encargada de realizar el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque TK 5000-8 y el producto del retrolavado es almacenado en el tanque horizontal de 500 Bbls que se encuentra en el sistema Pes.

Figura 32. Unidad de bombeo de Retrolavado de Filtros



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

3.1.1.4 Sistema de bombeo de inyección a pozos

a. UNIDADES DE BOMBEO TRIPLEX INYECCION A POZOS

Estas unidades de bombeo son las encargadas de inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final, este sistema

debería estar compuesto por: dos unidades de bombeo con motor a gas cada una con sus respectivas válvulas de seguridad e instrumentación.

➤ **UNIDAD BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCION A POZO**

Figura 33. Unidad de bombeo No.1 Triplex Inyección a Pozos



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ **UNIDAD BOMBEO No. 2 TRIPLEX INYECCION A POZO**

NO existe físicamente Motor-Bomba de backup para el Sistema de inyección de aguas residuales para el Modulo 1.

3.1.1.5 Sistema pes. Sistema encargado de recoger todos los sólidos producto del lavado de los filtros de cáscara de nuez que posteriormente son retirados por el camión de vacío.

Figura 34. Sistema PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

a. UNIDAD DE BOMBEO DE PES A TK TROMPO

Figura 35. Unidad de bombeo Vertical PES a TK Trompo



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

b. UNIDADES DE BOMBEO DE TK-500-1 A TANQUILLA DEL PES

Figura 36. Unidades de Bombeo Horizontales PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD BOMBEO No. 1 TK-500-1 A TANQUI PES

Figura 37. Unidades de Bombeo No. 1 TK-500-1 a Tanquilla PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

➤ UNIDAD BOMBEO No. 2 TK-500-1 A TANQUI PES

Figura 38. Unidades de Bombeo No. 2 TK-500-1 a Tanquilla PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

c. TANQUE HORIZONTAL TK 500-1 PES

El tanque horizontal TK 500-1 pes tiene una capacidad de 500 barriles y su función es la recibir el agua producto del lavado de los filtros de cascara de nuez, para posteriormente ser enviados al tanque trompo pes por medio de las unidades de bombeo de la tanquilla PES.

Figura 39. Tanque Horizontal TK-500-1 PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

d. TANQUE TROMPO PES

El tanque trompo pes tiene una capacidad de 500 barriles y su función es la recibir el agua que es bombeada desde el tanque horizontal pes y por el sistema de rebose pasa a la estanquilla WEMCO. Sus dimensiones son: Diámetro: 3.4 mts, longitud Total: 5.2 mts.

Figura 40. Tanque Trompo 500 Bbls PES



Tomado de: INFORME DE ESTADO - SIAR M1

3.2 APLICACIÓN Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS (AMEF)

✓ ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

Para llevar a cabo este análisis, lo primero que se hizo junto con el conocimiento de los ingenieros de mantenimiento y confiabilidad del campo fue definir la función principal para la cual se había obtenido cada uno de los activos, una vez conocida esta función el paso siguiente fue reconocer los diferentes fallos funcionales derivados de las funciones encontradas, de esta manera limitamos los modos por los cuales podría llegar a fallar cada activo (modos de falla), dependiendo del contexto operacional en el cual se encontraban.

Para hacer este análisis más detallado pasamos a investigar las posibles causas que podrían ocasionar los diferentes modos de falla y con esto tener un control más preciso a la hora de encontrar soluciones a los problemas que se puedan llegar a presentar en el proceso. Este análisis se ve reflejado en el Anexo A. Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla.

✓ ANÁLISIS DE EFECTOS DE FALLAS

Una vez culminado el análisis anterior, se identificaron cuales podrían llegar a ser los posibles efectos potenciales que traen consigo la ocurrencia de las diferentes fallas funcionales que previamente se habían establecido para cada uno de los activos.

Teniendo en cuenta estos posibles efectos potenciales se determinaron una serie de consecuencias en función de criterios humanos, medio ambientales, económicos y de imagen de la empresa, que junto con la probabilidad de ocurrencia (en tiempo) de cada falla funcional se llegó a determinar la criticidad de los activos analizados.

Este análisis de criticidad fue llevado a cabo por medio de una matriz de riesgo, en la cual se observa: consecuencias vs probabilidad de ocurrencia.

Figura 41. Matriz de Riesgo Implementada en el RCM

MATRIZ DE RIESGO - ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LAS FALLAS FUNCIONALES									
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD DE OCURRENCIA				
					1	2	3	4	5
Humanas	Ambientales	Económicas	Imagen de la empresa	Categoría Consecuencias	Menos de 1 falla/año	1 falla/año	2 fallas/año	3 fallas/año	4 o mas fallas/año
Muerte en una o mas personas	Daños masivos al ambiente	Grave US\$1M - US\$10M	Internacional	5	CM	CM	CA	CA	CMA
Incapacidad permanente en una o mas personas	Daños moderados al ambiente	Severo US\$100K - US\$1M	Nacional	4	NC	CM	CM	CA	CA
Incapacidad temporal (menor a 1 día)	Incidentes ambientales menores que requieren ser reportados	Importante US\$10k - US\$100k	Regional	3	NC	NC	CM	CM	CA
Las personas requieren primeros auxilios sin incapacidad	Mínimos daños ambientales	Marginal < US\$10k	Interna	2	NC	NC	NC	CM	CM
Sin impacto en las personas	Sin daños ambientales	Sin repercusiones económicas	Sin impacto a la imagen	1	NC	NC	NC	NC	NC

Para evaluar el nivel de la consecuencia se tiene un rango que está estipulado en la matriz, los cuales van de 1 a 5, en donde 1 equivale a la consecuencia de menor impacto y 5 la consecuencia de mayor impacto, las categorías como se mencionó anteriormente son: humanas, ambientales, económicas e imagen de la empresa.

Se pasa a evaluar una por una cada categoría de las consecuencias y se escoge el rango más alto que haya arrojado cualquiera de estas.

En cuanto a la evaluación de la probabilidad de ocurrencia, se tiene un rango de 1 a 5, en donde 1 equivale a la probabilidad más baja de ocurrencia y 5 la

probabilidad más alta de ocurrencia, esta evaluación va a depender del número de fallas funcionales que le puedan ocurrir al activo en el lapso de un año.

Una vez se tiene el rango de consecuencias y el de probabilidad de ocurrencia, se procede a “chocarlos” en la matriz, para así determinar la criticidad que posee dicho activo con respecto a la falla funcional analizada.

Como podemos observar este análisis de efectos de falla tiene como objetivo darnos la criticidad del activo, para así poder llevar a cabo un plan de mantenimiento que se adecue al mismo, y de esta manera ahorrar el tiempo de parada de los equipos, dinero, entre otras. Dicho análisis se ve reflejado en el Anexo B. Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla.

3.3 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO SIAR – MODULO 1

Actualmente en el sistema de inyección de aguas residuales (SIAR) del campo Teca-Cocorná se está manejando como tal el concepto de prevención y reacción, pero no se está aplicando una metodología, en la mayoría de los casos se realizan intervenciones en el activo cuando este tiene una falla, es decir, el proceso de mantenimiento en ocasiones se limita a actividades urgentes y reactivas.

Por lo tanto, lo que se realizó fue un tipo de mantenimiento que le da prioridad a aquellos activos que debido a su falla funcional llegaron a ser considerablemente críticos. El tipo de tarea que se da a conocer en el plan de mantenimiento, se lleva a cabo teniendo como fuentes de consulta el fabricante de cada equipo del SIAR y el conocimiento del ingeniero de confiabilidad del campo, este último con la capacidad suficiente de reconocer las acciones que se deben llevar a cabo tanto para prevenir como para corregir cualquier tipo de inconveniente relacionado al funcionamiento de los activos físicos, pero la base para la estructuración del plan

de mantenimiento se encuentra en tratar de evitar los fallos potenciales y previsibles dentro del contexto operacional.

Dicho análisis se ve reflejado en el Anexo C. Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1, y en el anexo D. Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR - Modulo 1; en donde se describe el tipo de decisión que se va a implementar, la descripción de la tarea y la frecuencia para las tareas preventivas.

4. CONCLUSIONES

1. Como es de saberse, la estructuración de un programa para la integridad de activos es una herramienta de mejora continua, por lo cual deberá ser analizado y evaluado constantemente, todo esto con el fin de asegurar un mejoramiento del mismo, dando como resultado un proceso que garantice la integridad de los activos contemplados a lo largo del tiempo de vida útil.
2. Mediante la aplicación de la metodología RCM se logró identificar las funciones principales del sistema de inyección de aguas residuales del campo Teca-Cocorná, de igual manera, se identificó la forma como estas funciones pueden no llegar a cumplirse y por consiguiente que actividades deben desarrollarse para que la función del activo perdure durante su tiempo de vida útil.
3. Por medio de la metodología AMEF se identificaron las amenazas o modos de falla de los activos que conforman el sistema de inyección de aguas residuales (SIAR) del campo; asociando a cada una de estas las acciones de mantenimiento preventivas y de acción directa requeridas (correctivas) para conservar la función.
4. Las visitas a campo realizadas durante el desarrollo de este proyecto fueron de gran ayuda para identificar los equipos a los cuales aplicar el programa de manejo y administración e identificar la metodología adecuada (RCM) que se adaptara a la clase de equipos (dinámicos) ubicados en el módulo 1 del Campo Teca-Cocorná.
5. Para obtener un programa de manejo y administración con alto grado de eficiencia, se requiere construir un plan de mantenimiento basado en una

metodología específica que se encuentre claramente definida dentro del contexto operacional del campo.

6. La seguridad en el ambiente laboral debe ser prioridad en cualquier organización, razón por la cual el análisis de la misma debe tomar un papel importante a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de evaluación en el contexto operacional, ya que de esta forma se minimizan los impactos que puedan llegar a ocurrir en las personas, al ambiente y a la imagen de la empresa.

7. Con la aplicación de esta metodología en el Campo Teca-Cocorná, se pretende crear conciencia en la importancia que día a día va adquiriendo el uso del mantenimiento integral, por medio del cual se tiene mayor control y se minimizan riesgos.

5. RECOMENDACIONES

1. Para lograr mayor efectividad en el programa de manejo y administración, el ingeniero encargado de mantenimiento y/o confiabilidad deberá tener en cuenta que dicho programa se debe rediseñar periódicamente, y así ir estructurando la asignación de tareas teniendo en cuenta el contexto operacional para que no se generen gastos innecesarios y se asegure el cumplimiento de la función principal del activo.
2. El coordinador de mantenimiento y/o confiabilidad debe ser consciente que la gestión orientada en el gerenciamiento de los activos deberá tener acogida por todas las áreas y niveles de la organización, por lo cual se recomienda involucrar a todo el personal en la formación de la metodología RCM, con el fin de crear conciencia en ellos sobre la importancia de la misma.
3. La información recolectada en esta investigación es de gran ayuda para minimizar los problemas que se presentan con los activos, por tal motivo se recomienda transferirla a una base de datos que garantice un análisis más completo cuando se deba ejecutar una reestructuración de los programas de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR OTERO, José; TORRES ARCIQUE, Rocío y MAGAÑA JIMENEZ, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. En: Tecnología, Ciencia, Educación. Vol. 25. No 1 (2010); p. 15-26.

BRAVO MENDOZA. Oscar y SÁNCHEZ CELIS, Marleny. Gestión Integral de Riesgos. Bogotá: Bravo & Sánchez, 2006. 469p.

CERÓN, René y ROJAS Juan Diego. Diseño De Un Modelo de Gestión de Mantenimiento Basado en RCM Para las Instalaciones de Producción de la Estación Cohembi en el Activo Suroriente. Bucaramanga, 2014, 187p. Monografía de Grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

GESTIOPOLIS. Manual AMEF Análisis de Modo y Efecto de Falla Potenciales. {En línea}. {9 de Octubre del 2015}. Disponible en: (<http://www.gestiopolis.com/amef-analisis-modo-efecto-fallas-potenciales/>).

INTEREMPRESAS. Aplicación de la Metodología de Inspección Basada en el Riesgo en Instalaciones de Proceso. {En línea}. {25 de Septiembre del 2015}. Disponible en: (<http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/14311-Aplicacion-de-la-metodologia-de-inspeccion-basada-en-el-riesgo-en-instalaciones-de-proceso.html>).

ISO 14224. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2004. 219 p.

KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid: Isdefe, 1996. p 50-55.

Online Browsing Platform (OBP). ISO 14224. {En línea}. {16 de Septiembre del 2015}. Disponible en: (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14224:ed-2:v1:en>).

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Sevilla: Ingeman, 2012. 260p.

RENOVETEC. ¿Qué es RCM?. {En línea}. {28 de Septiembre del 2015}. Disponible en: (<http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>).

TROFFÉ, Mario. Base de datos de confiabilidad, dirigido a la gestión del conocimiento y mitigación de riesgos. En: Petrotecnia. (Febrero, 2009); p 12-14.

VERA MUÑOZ, Hernando. Aplicación de la Metodología Análisis Causa Raíz (RCA), Para la Eliminación de un Mal Actor en Equipos Críticos de la SOM-Ecopetrol. Bucaramanga. 2011, 114p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

VERGARA GUTIÉRREZ, Carlos Antonio. Gerenciamiento de Programas de Gestión de Integridad en Terminales Marítimos Petroleros. Bucaramanga, 2013, 75p. Monografía de Grado (Especialista en Gerencia de Hidrocarburos). Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

ANEXOS

Anexo A. Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla.

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TANQUILLA SIAR				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2.	No es capaz de bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2 o lo hace intermitentemente.	La bomba no distribuye líquido.	BTSMF1-C1	La bomba no esta cebada
			BTSMF1-C2	El eje rota en la dirección incorrecta
			BTSMF1-C3	La línea de aspiración está obstruida
			BTSMF1-C4	El impulsor, el tubo de descarga o el filtro están obturados.
			BTSMF1-C5	La elevación estática de aspiración es demasiado alta
		La bomba arranca y se detiene y deja de bombear.	BTSMF2-C1	El filtro está obstruido
			BTSMF2-C2	La línea de aspiración tiene una fuga de aire
			BTSMF2-C3	Los controles del flotador no están ajustados correctamente.
			BTSMF2-C4	La línea de aspiración tiene bolsas de aire o vapor
		La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTSMF3-C1	La base no esta rígida.
			BTSMF3-C2	Las piezas rotativas están flojas, rotas o se frotran entre sí
			BTSMF3-C3	Los cojinetes están desgastados
			BTSMF3-C4	La tubería de aspiración o de descarga no está correctamente sujeta
			BTSMF3-C5	El accionador está parcialmente obstruido.
			BTSMF3-C6	La bomba y el accionador están alineados incorrectamente
		El motor requiere una potencia excesiva.	BTSMF4-C1	Las piezas rotativas rozan unas con otras.
			BTSMF4-C2	La velocidad del motor es demasiado alta.
			BTSMF4-C3	La separación del accionador es demasiado estrecha.
			BTSMF4-C4	La potencia de descarga ha caído y bombea demasiado líquido.
		Sobrecalentamiento de la bomba	BTSMF5-C1	La bomba no esta cebada
BTSMF5-C2	La lubricación es insuficiente			
BTSMF5-C3	La elevación estática de aspiración es demasiado alta			

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 2/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES				
CAMPO TECA - MODULO 1				
SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES				
UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TANQUILLA SIAR				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2.	No es capaz de bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2 o lo hace intermitentemente.	El motor no arranca	MTSMF6-C1	Fuente de alimentación defectuosa
			MTSMF6-C2	Conexiones sueltas o mal apretadas en el circuito de control.
			MTSMF6-C3	El contactor magnético no hace buen contacto
			MTSMF6-C4	Fusibles primarios o secundarios defectuosos/quemados
			MTSMF6-C5	Terminales mal conectadas.
		El motor vibra	MTSMF7-C1	Desalineamiento del eje de la bomba.
			MTSMF7-C2	Disturbio hidráulico en el tubo de descarga.
			MTSMF7-C3	Chumaceras del eje de la bomba desgastadas o eje de la bomba pando.
			MTSMF7-C4	Frecuencia natural del sistema (resonancia)
		El motor no alcanza su velocidad	MTSMF8-C1	Conexiones incorrectas en el motor.
			MTSMF8-C2	Sobrecarga - mecánica.
			MTSMF8-C3	Tensión baja o incorrecta.
		El motor se sobrecalienta	MTSMF9-C1	Sobrecarga.
			MTSMF9-C2	Bobinas abiertas en el estator.
			MTSMF9-C3	Baja / Sobre tensión.
			MTSMF9-C4	Conexiones equivocadas.
			MTSMF9-C5	La entrada o salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.
		Los rodamientos del motor se sobrecalientan.	MTSMF10-C1	Rodamiento sobreengrasado.
			MTSMF10-C2	Aceite incorrecto, o nivel de aceite muy alto o muy bajo
			MTSMF10-C3	Motor sobrecargado
MTSMF10-C4	La entrada o salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.			

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 3/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 TRANSFERENCIA A FILTROS				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Succionar agua del proceso de la celda de flotación o del tanque desnatador 5000-2 y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8.	No es capaz de succionar agua del proceso de la celda de flotación o del tanque desnatador 5000-2 y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8 o lo hace intermitentemente.	Deficiencia de succión en la bomba	BTFMF1-C1	El impulsor presenta atascamiento
			BTFMF1-C2	Altura de aspiración demasiado alta o bien altura de carga demasiado pequeña
			BTFMF1-C3	Sentido de giro erróneo
			BTFMF1-C4	Cuerpos extraños sueltos o atascados en la bomba
			BTFMF1-C5	Fuga en el sello del eje, carcasa de la bomba, válvula de pie o tubería de aspiración
		Sobrecalentamiento de la bomba	BTFMF2-C1	Bomba funciona con la válvula de impulsión cerrada
			BTFMF2-C2	Empaquetadura muy apretada
			BTFMF2-C3	Altura de aspiración demasiado alta o bien altura de carga demasiado pequeña
			BTFMF2-C4	La lubricación es insuficiente
			BTFMF2-C5	La Bomba o tuberías no están completamente llenas de liquido (cebada)
		La bomba presenta fugas	BTFMF3-C1	Juntas defectuosas
			BTFMF3-C2	Tornillos de la carcasa de la bomba no están bien ajustados
			BTFMF3-C3	Sello mecánico presenta fuga
			BTFMF3-C4	Fuga en el prensaestopas
		La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTFMF4-C1	Altura de aspiración demasiado alta o bien altura de carga demasiado pequeña
			BTFMF4-C2	Las piezas rotativas están flojas, rotas o se frotran entre sí
			BTFMF4-C3	La bomba no esta bien nivelada o esta sometida a tensiones
			BTFMF4-C4	Cuerpos extraños sueltos o atascados en la bomba
			BTFMF4-C5	La bomba o las tuberías no están llenas de liquido

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 4/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES				
CAMPO TECA - MODULO 1				
SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA				
UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 TRANSFERENCIA A FILTROS				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Succionar agua del proceso de la celda de flotación o del tanque desnatador 5000-2 y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8.	No es capaz de succionar agua del proceso de la celda de flotación o del tanque desnatador 5000-2 y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8 o lo hace intermitentemente.	El motor no arranca	MTFMF5-C1	Baja tensión
			MTFMF5-C2	Carga excesiva
			MTFMF5-C3	Funcionando con una sola fase en el arrancador
			MTFMF5-C4	Terminales mal conectados
		Ruido excesivo del motor	MTFMF6-C1	Rotor desbalanceado
			MTFMF6-C2	Alta tensión
			MTFMF6-C3	Desgaste excesivo de los cojinetes de manguito
		Vibración excesiva del motor	MTFMF7-C1	Desalineación e el acoplamiento o las patas
			MTFMF7-C2	Acumulación de suciedad en el ventilador
			MTFMF7-C3	Vibración en la maquina accionada
			MTFMF7-C4	Frecuencia natural del sistema (Resonancia)
		Sobrecalentamiento del motor	MTFMF8-C1	Suciedad en el motor
			MTFMF8-C2	Tubos de intercambiador de calor flojos o bloqueados
			MTFMF8-C3	Fricción del rotor sobre el estator
			MTFMF8-C4	Sobrecarga
			MTFMF8-C5	Conexión a tierra
			MTFMF8-C6	Sobretensión/ baja tensión
		Sobrecalentamiento de los cojinetes	MTFMF9-C1	Nivel de aceite demasiado alto o demasiado bajo (Cojinete de manguito)
			MTFMF9-C2	Tensión excesiva en la transmisión por correas
			MTFMF9-C3	Desalineación
MTFMF9-C4	Anillo de aceite pegajoso (Cojinete de manguito)			

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 5/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO DE RETROLAVADO DE FILTROS				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Realiza el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque 500-8.	No es capaz de realizar el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque 500-8 o lo hace intermitentemente	Sobrecalentamiento del motor	MRFMF1-C1	Tapón en el ducto de ventilación
			MRFMF1-C2	Sobrevoltaje
			MRFMF1-C3	Fusible volado
			MRFMF1-C4	Voltaje trifásico desbalanceado
			MRFMF1-C5	Contacto defectuoso en los circuitos de los Switches
		Motor sin ruido y sin movimiento	MRFMF2-C1	El Switch esta pagado
			MRFMF2-C2	Bobinas descompuestas
			MRFMF2-C3	Sin fusible
		Fusible volado	MRFMF3-C1	Corto circuito en los circuitos de los switches
			MRFMF3-C2	Terminales y contactos malos
			MRFMF3-C3	Conexiones erróneas de los switches
		Sobrecalentamiento de las chumaceras	MRFMF4-C1	Floja tensión en el cinturón
			MRFMF4-C2	Tensión en el cinturón
			MRFMF4-C3	Desalineamiento entre el motor y las flechas de la maquinas
			MRFMF4-C4	Ruido excesivo de las chumaceras
		Ruido mecánico en el motor	MRFMF5-C1	Vibración del ventilador
			MRFMF5-C2	Acoplamiento o cajón flojos
			MRFMF5-C3	Perdida del cinturón de la polea
		Vibración mecánica del motor	MRFMF6-C1	Rotor desbalanceado
			MRFMF6-C2	Ventilador desbalanceado
			MRFMF6-C3	La cama de montaje del motor no es lo suficientemente fuerte

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 6/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO DE RETROLAVADO DE FILTROS				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Realiza el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque 500-8.	No es capaz de realizar el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque 500-8 o lo hace intermitentemente	La bomba consume mucha potencia	BRFMF7-C1	Desalineamiento entre el eje de la bomba y el eje del motor
			BRFMF7-C2	Exceso de lubricante en los rodamientos
			BRFMF7-C3	Impulsor parcialmente atascado o dañado
			BRFMF7-C4	Rozamiento entre las partes giratorias y las estacionarias
			BRFMF7-C5	Velocidad del motor muy alta
		La bomba vibra o hace ruido excesivamente	BRFMF8-C1	Cuerpos extraños en el impulsor
			BRFMF8-C2	Juntas defectuosas
			BRFMF8-C3	Elementos rotarios desbalanceados.
			BRFMF8-C4	Apoyos y anclajes en mal estado
			BRFMF8-C5	Obstrucción en las tuberías de succión/descarga
		La bomba no genera flujo	BRFMF9-C1	La bomba no fue cebada
			BRFMF9-C2	Velocidad del motor muy baja
			BRFMF9-C3	Línea de succión taponada
			BRFMF9-C4	Bolsillos de aire o vapor en la bomba o tuberías
		La bomba desarrolla menos flujo que el esperado	BRFMF10-C1	Obstrucción en las líneas de succión o descarga
			BRFMF10-C2	Cavitación en la bomba
BRFMF10-C3	Cuerpos extraños en el impulsor			
BRFMF10-C4	Filtros sucios u obstruidos			

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 7/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 BOOSTER DE INYECCION				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Traslada el agua hacia las bombas de inyección Triplex, suministrando la presión necesaria para su funcionamiento.	No es capaz de trasladar el agua hacia las bombas de inyección Triplex o lo hace intermitentemente.	Bajo rendimiento de la bomba	BTFMF1-C1	El impulsor presenta atascamiento
			BTFMF1-C2	Contrapresión demasiado alta
			BTFMF1-C3	Bomba o tuberías no están completamente llenas de líquido (cebada)
			BTFMF1-C4	Fuga en la carcaza de la bomba
		La bomba presenta fugas	BTFMF2-C1	Juntas defectuosas
			BTFMF2-C2	Tornillos de la carcasa de la bomba no están bien ajustados
			BTFMF2-C3	Sello mecánico presenta fuga
			BTFMF2-C4	Fuga en el prensaestopas
		La bomba no aspira o lo hace intermitentemente	BTFMF3-C1	Cuerpos extraños sueltos o atascados en la bomba
			BTFMF3-C2	Fuga en el sello del eje, carcaza de la bomba, válvula de pie o tubería de aspiración
		La bomba presenta Sobrecalentamiento	BTFMF4-C1	Bomba funciona con la válvula de impulsión cerrada
			BTFMF4-C2	Empaquetadura muy apretada
			BTFMF4-C3	La lubricación es insuficiente
			BTFMF4-C4	La Bomba o tuberías no están completamente llenas de líquido (cebada)
		La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTFMF5-C1	Altura de aspiración demasiado alta o bien altura de carga demasiado pequeña
			BTFMF5-C2	Las piezas rotativas están flojas, rotas o se frotan entre sí
			BTFMF5-C3	La bomba no esta bien nivelada o esta sometida a tensiones
			BTFMF5-C4	Cuerpos extraños sueltos o atascados en la bomba
			BTFMF5-C5	La bomba o las tuberías no están llenas de líquido

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 8/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 BOOSTER DE INYECCION				
Función	Falla Funcional	Modo Falla	Código Causa	Causa
Traslada el agua hacia las bombas de inyección Triplex, suministrando la presión necesaria para su funcionamiento.	No es capaz de trasladar el agua hacia las bombas de inyección Triplex o lo hace intermitentemente.	Sobrecalentamiento del motor	MTFMF6-C1	Suciedad en el motor
			MTFMF6-C2	Tubos de intercambiador de calor flojos o bloqueados
			MTFMF6-C3	Fricción del rotor sobre el estator
			MTFMF6-C4	Desvanados del estator abiertos
			MTFMF6-C5	Recirculación de aire
			MTFMF6-C6	Funcionando con una sola fase
			MTFMF6-C7	Sobretensión/ baja tensión
		El motor no arranca	MTFMF7-C1	Baja tensión
			MTFMF7-C2	Carga excesiva
			MTFMF7-C3	Funcionando con una sola fase en el arrancador
			MTFMF7-C4	Terminales mal conectados
		Sobrecalentamiento de los cojinetes	MTFMF8-C1	Nivel de aceite demasiado alto o demasiado bajo (Cojinete de manguito)
			MTFMF8-C2	Tensión excesiva en la transmisión por correas
			MTFMF8-C3	Demasiada grasa
			MTFMF8-C4	Desalineación
			MTFMF8-C5	Anillo de aceite pegajoso (Cojinete de manguito)
		Vibración o ruido excesivo del motor	MTFMF9-C1	Rotor desbalanceado
			MTFMF9-C2	Desgaste excesivo de los cojinetes de manguito
			MTFMF9-C3	Desalineación en el acoplamiento o las patas
			MTFMF9-C4	Acumulación de suciedad en el ventilador
MTFMF9-C5	Frecuencia natural del sistema (Resonancia)			

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 9/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCION A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCION A POZOS				
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Código Causa	Causa
Inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final.	No es capaz de inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final. o lo hace intermitentemente.	Batería descargada o sobrecargada	MTIPMF1-C1	Alternador defectuoso
		Vibraciones o ruidos excesivos del motor	MTIPMF2-C1	Daños en el amortiguador de vibraciones del cigüeñal
			MTIPMF2-C2	Desgaste en los cojinetes de biela
			MTIPMF2-C3	Rotura en el soporte o suspensión del motor
			MTIPMF2-C4	Deformación del cigüeñal
			MTIPMF2-C5	Correa(s) del alternador y/o del ventilador desgastadas
		Cambios en la presión de los cilindros del motor	MTIPMF3-C1	Válvula(s) rota(s)
			MTIPMF3-C2	Anillos del pistón o camisas del cilindro desgastadas
			MTIPMF3-C3	Resortes de las válvulas débiles o rotos
			MTIPMF3-C4	Depósitos excesivos
			MTIPMF3-C5	Consumo excesivo de aceite
		Sobrecalentamiento del motor	MTIPMF4-C1	Suciedad en el sistema de refrigeración
			MTIPMF4-C2	Lubricación insuficiente
			MTIPMF4-C3	Soporte de la polea del ventilador fracturado
			MTIPMF4-C4	Desgaste o agrietamiento de las correas del ventilador
		El motor no arranca	MTIPMF5-C1	Piñones del motor de arranque en malas condiciones
			MTIPMF5-C2	Bobinas averiadas
			MTIPMF5-C3	Conexiones eléctricas sueltas
			MTIPMF5-C4	Terminales mal conectados

Aplicación y Resultados del Análisis de Modos de Falla. 10/10

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCION A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCION A POZOS				
Función	Falla Funcional	Modo de falla	Código Causa	Causa
Inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final.	No es capaz de inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final. o lo hace intermitentemente.	Presión de descarga o succión insuficiente	BTIPMF6-C1	Conjunto de válvulas desgastadas o dañadas
			BTIPMF6-C2	Aire, gas o vapor en el líquido que es bombeado.
			BTIPMF6-C3	Válvulas entreabiertas
			BTIPMF6-C4	Fugas de fluidos
			BTIPMF6-C5	Lectura del medidor errónea
			BTIPMF6-C6	Insuficiente capacidad de carga de la bomba
		Fluido no bombeado	BTIPMF7-C1	La bomba no se encuentra cebada
			BTIPMF7-C2	Aire o vapor en la línea de succión
			BTIPMF7-C3	Obstrucción en la línea de succión
			BTIPMF7-C4	Válvulas de succión y/o descarga entreabiertas
		Cavitación	BTIPMF8-C1	Estabilizador de succión y amortiguador de pulsaciones defectuosos
			BTIPMF8-C2	Alta viscosidad o temperatura del fluido
			BTIPMF8-C3	Aire o gas presente en el líquido a bombear
			BTIPMF8-C4	Resorte de la válvula de succión demasiado rígido
		Golpe al final de la carrera en la bomba	BTIPMF9-C1	Perno de la cruceta desgastado
			BTIPMF9-C2	Espacio muerto inadecuado
			BTIPMF9-C3	Rotación incorrecta de la bomba
			BTIPMF9-C4	Caja de los cojinetes flojos
			BTIPMF9-C5	Biela, cigüeñal, cruceta, o cojinete principal desgastado

Anexo B. Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla.

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TANQUILLA SIAR		
Los efectos ocasionados en el caso potencial de que estas unidades de bombeo vertical no sean capaces de bombear el agua del proceso proveniente del skimmer hacia el TK-5000-2 o lo hagan intermitentemente, se pueden ver a continuación:	Personas:	En cuanto al riesgo humano, no representa ningún tipo de amenaza a las personas.
	Ambiental:	En el peor de los casos pueden llegar a ocurrir mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.
	Económico:	Importante: US\$10k - US\$100k ; debido a pérdida de producción, cambio y/o repuestos de equipos.
	Imagen de la empresa:	La imagen de la empresa se puede llegar a ver afectada de manera interna (Modulo 1).
	Probabilidad de Ocurrencia:	Entre 1-2 Fallas/año
	Una vez llevado a cabo este análisis, podemos concluir que en el caso potencial de que ocurra dicha falla funcional, el nivel de criticidad es: CRITICIDAD MEDIA	

Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla. 2/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TRANSFERENCIA A FILTROS		
Los efectos ocasionados en el caso potencial de que estas unidades de bombeo vertical no sean capaces de succionar agua del proceso de la celda de flotación o del tanque desnatador 5000-2 y enviarla a los filtros de cascara de nuez para su almacenamiento en el tanque TK 5000-8 o lo hagan intermitentemente, se pueden ver a continuación:	Personas:	En cuanto al riesgo humano, no representa ningún tipo de amenaza a las personas.
	Ambiental:	En el peor de los casos pueden llegar a ocurrir incidentes ambientales menores.
	Económico:	Importante: US\$10k - US\$100k ; debido a pérdida de producción, cambio y/o repuestos de equipos.
	Imagen de la empresa:	La imagen de la empresa se puede llegar a ver afectada de manera interna (Modulo 1).
	Probabilidad de Ocurrencia:	Entre 1-2 Fallas/año
	Una vez llevado a cabo este análisis, podemos concluir que en el caso potencial de que ocurra dicha falla funcional, el nivel de criticidad es: CRITICIDAD MEDIA	

Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla. 3/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO DE RETROLAVADO DE FILTROS		
Los efectos ocasionados en el caso potencial de que esta unidad de bombeo no sea capaz de realizar el lavado de los tanques filtrantes en modo de retrolavado con agua filtrada del tanque 500-8 o lo haga intermitentemente, se pueden ver a continuación:	Personas:	En cuanto al riesgo humano, no representa ningún tipo de amenaza a las personas.
	Ambiental:	En el peor de los casos pueden llegar a ocurrir mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.
	Económico:	Marginal: < US\$10k ; debido a cambio y/o repuestos de equipos.
	Imagen de la empresa:	No se ve representado ningún impacto con respecto a la imagen de la empresa.
	Probabilidad de Ocurrencia:	Entre 1-2 Fallas/año
	Una vez llevado a cabo este análisis, podemos concluir que en el caso potencial de que ocurra dicha falla funcional, el nivel de criticidad es: NO CRITICO	

Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla. 4/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 BOOSTER DE INYECCION		
Los efectos ocasionados en el caso potencial de que estas unidades de bombeo no sean capaces de trasladar el agua hacia las bombas de inyección Triplex o lo hagan intermitentemente, se pueden ver a continuación:	Personas:	En cuanto al riesgo humano, no representa ningún tipo de amenaza a las personas.
	Ambiental:	En el peor de los casos pueden llegar a ocurrir incidentes ambientales menores.
	Económico:	Importante: US\$10k - US\$100k ; debido a perdida de producción, cambio y/o repuestos de equipos.
	Imagen de la empresa:	La imagen de la empresa se puede llegar a ver afectada de manera interna (Modulo 1).
	Probabilidad de Ocurrencia:	Entre 1-2 Fallas/año
	Una vez llevado a cabo este análisis, podemos concluir que en el caso potencial de que ocurra dicha falla funcional, el nivel de criticidad es: CRITICIDAD MEDIA	

Aplicación y Resultados del Análisis de Efectos de Falla. 5/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCION A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCION A POZOS		
Los efectos ocasionados en el caso potencial de que esta unidad de bombeo no sea capaz de Inyectar el agua residual al pozo inyector donde se vierten las aguas para su disposición final, se pueden ver a continuación:	Personas:	En cuanto al riesgo humano, no representa ningún tipo de amenaza a las personas.
	Ambiental:	Las consecuencias en el peor de los casos pueden llegar a causar daños moderados al ambiente.
	Económico:	Importante: US\$10k - US\$100k ; debido a pérdida de producción, cambio y/o repuestos de equipos.
	Imagen de la empresa:	La imagen de la empresa se puede llegar a ver afectada de manera interna (Modulo 1).
	Probabilidad de Ocurrencia:	Entre 1-2 Fallas/año
Una vez llevado a cabo este análisis, podemos concluir que en el caso potencial de que ocurra dicha falla funcional, el nivel de criticidad es: CRITICIDAD MEDIA		

Anexo C. Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1.

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TANQUILLA SIAR		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Bomba	Frecuencia
INSPECCIÓN	Controle los ruidos inusuales, la vibración y las temperaturas de los cojinetes.	RUTINARIA
	Controle si la bomba y las tuberías tienen fugas.	RUTINARIA
	Analice la vibración.	RUTINARIA
	Inspeccione la presión de descarga.	RUTINARIA
	Inspeccione la temperatura.	RUTINARIA
	Compruebe los controles de flotación para una configuración y funcionamiento adecuados.	RUTINARIA
	Controle si la cámara del sello y el prensaestopas tienen fugas. Asegúrese de que no haya fugas en el sello mecánico. Ajuste o reemplace la empaquetadura en la caja de empaque si observa fugas excesivas.	RUTINARIA
INSPECCIÓN	Controle que la base y los pernos de sujeción estén ajustados.	TRIMESTRAL
	Controle el empaque si la bomba estuvo sin funcionar y reemplácelo si es necesario.	TRIMESTRAL
	Controle el alineamiento del eje y vuelva a alinearlo si es necesario.	TRIMESTRAL
INSPECCIÓN	Controle la capacidad de la bomba.	ANUAL
	Controle la presión de la bomba.	ANUAL
	Controle la potencia de la bomba.	ANUAL
MANTENIMIENTO	Lubrique los cojinetes de empuje.	RUTINARIO
	Inspeccione el sello o la empaquetadura si están presentes.	
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Motor	Frecuencia
INSPECCIÓN	Verifique el aceite del motor, en busca de humedad u oxidación.	MENSUAL
	Verifique que los rodamientos estén lubricados con grasa, en busca de humedad u oxidación extrayendo una pequeña muestra por el drenaje.	MENSUAL
MANTENIMIENTO	A todos los motores se les deberá girar el eje, para asegurar que haya una capa de lubricante recubriendo todas las superficies de los rodamientos.	MENSUAL
MANTENIMIENTO	Cambie el aceite o la grasa de los rodamientos.	ANUAL

Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1. 2/6

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TRANSFERENCIA A FILTROS		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Bomba	Frecuencia
MANTENIMIENTO	Lubrique con grasa o aceite el soporte del eje a presión, a través de los engrasadores cónicos previstos en las tapas de rodamiento.	SEMESTRAL
INSPECCIÓN	Verifique que los anillos de la empaquetadura no pierdan elasticidad, de ser así ,cámbiela.	ANUAL
INSPECCIÓN	Asegúrese de que no hayan fugas excesivas en el sello mecánico.	RUTINARIA
	Controle los ruidos inusuales y la vibración de la bomba.	RUTINARIA
	Controle si la bomba y las tuberías tienen fugas.	RUTINARIA
	Compruebe los controles de flotación para una configuración y funcionamiento adecuados.	RUTINARIA
	Analice la vibración.	RUTINARIA
	Inspeccione la presión de descarga.	RUTINARIA
	Inspeccione la temperatura.	RUTINARIA
INSPECCIÓN	Controle el empaque si la bomba estuvo sin funcionar y reemplácelo si es necesario.	TRIMESTRAL
	Controle el alineamiento del eje y vuelva a alinearlos si es necesario.	TRMESTRAL
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Motor	Frecuencia
INSPECCIÓN	Verifique que el motor esté limpio y que los conductos de ventilación del estator y el rotor no estén obstruidos.	MENSUAL
	Controle que la carga o el factor de servicio no sean excesivos.	MENSUAL
	Verifique que el aumento de temperatura del devanado no supere el valor nominal.	RUTINARIA
	Verifique que la resistencia del aislamiento esté por encima del mínimo recomendado.	RUTINARIA
	Verifique que las temperaturas de los cojinetes se encuentren dentro de los límites y que el lubricante esté limpio y en el nivel correcto.	MENSUAL

Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1. 3/6

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL DE RETROLAVADO DE FILTROS		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Motor	Frecuencia
MANTENIMIENTO	Asegúrese de limpiar con aspiradora o trapo el interior del motor, para evitar la acumulación de suciedad, polvo, grasa etc.	ANUAL
INSPECCIÓN	Verifique que los filtros de aire exteriores del motor no tengan obstrucciones.	RUTINARIA
MANTENIMIENTO	Verifique que las chumaceras estén engrasadas con el tipo y la cantidad de grasa adecuados.	TRIMESTRAL
MANTENIMIENTO	En caso de utilizar aceite, verifique que las chumaceras estén lubricadas con el tipo y la cantidad de aceite adecuada.	ENTRE 4 Y 6 MESES
INSPECCIÓN	Asegúrese que el volumen y la cantidad de lubricación de aceite en la camisa de la chumacera, acaten las especificaciones	DIARIA
	Asegúrese del movimiento del aceite en el anillo de la camisa de la chumacera y que no esté atorado ni trabado.	DIARIA
MANTENIMIENTO	Las reservas de aceite de la camisa de la chumacera, deben drenarse y rellenarse	CADA SEIS MESES
MANTENIMIENTO	Asegúrese de lubricar con grasa los soportes de los rodamientos de la bomba.	TRIMESTRAL
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Bomba	Frecuencia
INSPECCIÓN	Verifique los sellos de la bomba en busca de fugas.	DIARIO
MANTENIMIENTO	En condiciones normales de funcionamiento, asegúrese de cambiar el sello mecánico de la bomba.	ANUAL
INSPECCIÓN	Verifique que los anillos de la empaquetadura no pierdan elasticidad, de ser así ,cámbiela.	ANUAL
INSPECCIÓN	Controle los ruidos inusuales y la vibración de la bomba.	DIARIO
INSPECCIÓN	Controle si la bomba y las tuberías tienen fugas.	DIARIO
	Inspeccione la presión de descarga.	DIARIO

Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1. 4/6

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 BOOSTER DE INYECCIÓN		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Bomba	Frecuencia
INSPECCIÓN	Controle el empaque si la bomba estuvo sin funcionar y reemplácelo si es necesario.	TRIMESTRAL
	Controle el alineamiento del eje y vuelva a alinearlo en el caso de ser necesario.	TRMESTRAL
INSPECCIÓN	Verifique que los anillos de la empaquetadura no pierdan elasticidad, de ser así ,cambie la empaquetadura.	ANUAL
MANTENIMIENTO	Lubrique con grasa o aceite el soporte del eje a presión, a través de los engrasadores cónicos previstos en las tapas de rodamiento.	SEMESTRAL
INSPECCIÓN	Asegúrese de que no se presenten fugas excesivas en el sello mecánico.	RUTINARIA
	Controle los ruidos inusuales y la vibración de la bomba.	RUTINARIA
	Controle si la bomba y las tuberías tienen fugas.	RUTINARIA
	Analice la vibración.	RUTINARIA
	Inspeccione la presión de descarga.	RUTINARIA
	Inspeccione la temperatura.	RUTINARIA
	Compruebe los controles de flotación para una configuración y funcionamiento adecuados.	RUTINARIA
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Motor	Frecuencia
INSPECCIÓN	Verifique que la resistencia del aislamiento esté por encima del mínimo recomendado.	RUTINARIA
	Verifique que las temperaturas de los cojinetes se encuentren dentro de los límites establecidos y que el lubricante esté limpio y en el nivel correcto.	MENSUAL
	Verifique que el motor esté limpio y que los conductos de ventilación del estator y el rotor no estén obstruidos.	MENSUAL
	Controle que la carga o el factor de servicio no sean relativamente excesivos.	MENSUAL
	Verifique que el aumento de temperatura del devanado no supere el valor nominal.	RUTINARIA

Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1. 5/6

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCIÓN A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCIÓN A POZOS		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Bomba	Frecuencia
MANTENIMIENTO	Controle el nivel de aceite en la Sistema de impulsión de la reserva de aceite lubricante.	DIARIO
	Controle el nivel de aceite en la reserva de aceite lubricante del émbolo.	DIARIO
	Controle que la bomba del émbolo no presente pérdidas de aceite o de fluido.	DIARIO
	Controle que el sistema de aceite lubricante del Sistema de impulsión no presente pérdidas.	DIARIO
	Controle que el sistema de lubricante del émbolo no presente pérdidas.	DIARIO
	Controle que la tubería de sobrealimentación no presente pérdidas.	DIARIO
MANTENIMIENTO	Verifique y controle todos las tareas a realizar en el mantenimiento diario.	SEMANTAL
	Controle todas las válvulas, insertos, asientos de válvulas y resortes.	SEMANTAL
	Controle todos los sellos de las tapas de descarga y succión.	SEMANTAL
	Cambie los filtros de aceite lubricante del Sistema de impulsión.	SEMANTAL
	Limpie completamente el filtro de succión de lubricante del Sistema de impulsión.	SEMANTAL
INSPECCIÓN	Retire e inspeccione los componentes del conjunto del prensaestopas y del émbolo.	SEMANTAL
MANTENIMIENTO	Reemplace los émbolos gastados y los cojinetes del prensaestopas.	ANUAL
MANTENIMIENTO	Reemplace las cubiertas de válvula gastadas y corroídas, llaves de paso de succión, tuercas de prensaestopas, bridas de descarga, instrumentos de la bomba, etc.	ANUAL
MANTENIMIENTO	Reemplace todos los sellos de la brida de descarga y los sellos del múltiple de succión.	ANUAL
INSPECCIÓN	Revise si el filtro del aceite de los engranajes, cojinetes y chumaceras presenta algún indicio como trozos de metal. También verifique el juego lateral de las piezas en el eje del piñón.	MENSUAL

Actividades de Mantenimiento Preventivo SIAR - Modulo 1. 6/6

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCIÓN A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCIÓN A POZOS		
Tipo de Decisión	Descripción de Tarea - Motor	Frecuencia
INSPECCIÓN	Verifique que el panel de instrumentos del motor esté funcionando de la manera correcta.	DIARIO
	Verifique que el panel de control esté funcionando de la manera correcta.	DIARIO
	Compruebe que el nivel de aceite del motor sea el correcto.	DIARIO
MANTENIMIENTO	Drene la humedad y sedimentos en el tanque de aire del motor.	DIARIO
MANTENIMIENTO	Es recomendable obtener una muestra de aceite del motor.	SEMANAL
INSPECCIÓN	Compruebe que el nivel de electrolitos de la batería del motor sea el correcto.	MENSUAL
	Compruebe que el regulador de control de gas esté funcionando de la manera correcta.	MENSUAL
	Verifique que el radiador esté libre de obstrucciones.	MENSUAL
	Verifique que los rotores de válvulas, el sistema de entrada de aire y los tubos de escape del motor estén funcionando de la manera correcta.	MENSUAL
MANTENIMIENTO	Se recomienda cambiar el aceite y el filtro del motor.	MENSUAL
	Se recomienda reemplazar las mangueras y abrazaderas del motor	MENSUAL
INSPECCIÓN	Compruebe la relación Aire/combustible del carburador.	DE 2 A 4 MESES
	Asegúrese de que no hayan obstrucciones en el sistema de ventilación del Carter del motor.	DE 2 A 4 MESES
	Verifique que el motor arranque de la manera correcta.	DE 2 A 4 MESES
INSPECCIÓN	Verifique que el alternador del motor funcione de la manera correcta.	SEMESTRAL
INSPECCIÓN	Verifique que el turbocompresor del motor funcione de la manera correcta.	ANUAL
MANTENIMIENTO	Se recomienda realizar revisión general al motor.	ENTRE 1 Y 2 AÑOS

Anexo D. Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1.

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA PISCINAS DE AGUAS RESIDUALES UNIDAD DE BOMBEO VERTICAL No. 1 y 2 TANQUILLA SIAR					
Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas	Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas
La bomba no distribuye líquido	BTSMF1-C1	Se debe asegurar que el foso se llene con líquido por encima de la carcasa. En unidades de foso seco, la carcasa y el tubo de aspiración deben estar llenos por completo.	El motor no arranca	MTSMF6-C1	Verificar la tensión en todas las fases, antes del interruptor de seguridad.
	BTSMF1-C2	Se recomienda cambiar la rotación del eje, la rotación inversa puede provocar el contacto de piezas metálicas, generación de calor y brecha de contaminación.		MTSMF6-C2	Se debe inspeccionar visualmente todas las conexiones del circuito de control.
	BTSMF1-C3	Se recomienda quitar las obstrucciones que afectan a la línea de aspiración.		MTSMF6-C3	Abra el interruptor de seguridad, cierre manualmente el contactor magnético y examine los contactos y resortes.
	BTSMF1-C4	Se recomienda extraer las obstrucciones en el impulsor, tubo de descarga o filtro, en el mayor de los casos lavar la bomba.		MTSMF6-C4	Se debe verificar la tensión después de los fusibles en todas las fases, con el interruptor de seguridad cerrado.
	BTSMF1-C5	Si la elevación estática de aspiración es demasiado alta, se recomienda acortar la tubería de aspiración.		MTSMF6-C5	Se debe verificar la numeración y conexión de terminales.
La bomba arranca y se detiene y deja de bombear	BTSMF2-C1	Verifique el sumidero en busca de elementos grandes que puedan estar ingresando en la bomba.	El motor vibra	MTSMF7-C1	Se debe remover el acople del eje y verificar la alineación entre el motor y la bomba.
	BTSMF2-C2	Revise la línea de aspiración y repare las fugas.		MTSMF7-C2	Verifique la junta aislante en el tubo de descarga cerca del cabezal de la bomba.
	BTSMF2-C3	Se recomienda verificar los controles del flotador.		MTSMF7-C3	Se recomienda desacoplar la bomba del motor y operar el motor para tratar de determinar la fuente de la vibración.
	BTSMF2-C4	Vuelva a acomodar la línea de aspiración para eliminar las bolsas de aire.		MTSMF7-C4	Se recomienda revisar la rigidez de la estructura de soporte, por personal experimentado.
La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTSMF3-C1	Asegúrese de que la plancha de base esté bien asentada, sin bolsas de aire.	El motor no alcanza su velocidad	MTSMF8-C1	Se recomienda verificar la conexión correcta del motor y comparar con el diagrama de conexiones.
	BTSMF3-C2	Se deben inspeccionar y en dado caso reemplazar las piezas rotativas flojas, rotas o aquellas que se frotan entre sí.		MTSMF8-C2	Se recomienda verificar el ajuste de los impulsores. Verificar que el eje no este bloqueado o apretado.
	BTSMF3-C3	se recomienda lubricar los cojinetes, si presentan demasiado desgaste entonces es necesario cambiarlos.		MTSMF8-C3	Se recomienda verificar tensión en T1, T2 y T3 el panel de control y en las terminales del motor.
	BTSMF3-C4	Ancle la tubería de aspiración o de descarga según sea necesario, de acuerdo con las recomendaciones del Manual.	El motor se sobrecalienta	MTSMF9-C1	Mida la carga y compárela con el régimen de placa. Verifique que no haya fricción excesiva en el motor o en todo el sistema. Reduzca la carga o reemplace el motor.
	BTSMF3-C5	Es necesario reemplazar el accionador o el eje, si este presenta obstrucciones.		MTSMF9-C2	Desacople el motor de la carga. Verifique que la corriente en vacío esté balanceada. Verifique la resistencia del estator en las tres fases.
	BTSMF3-C6	Vuelva a alinear la bomba y el impulsor.		MTSMF9-C3	Verifique la tensión y compárela con la indicada en la placa.
El motor requiere una potencia excesiva.	BTSMF4-C1	Controle que las piezas que se están desgastando no afecten las separaciones correctas.	Los rodamientos del motor se sobrecalientan.	MTSMF9-C4	Se recomienda revisar las conexiones pertinentes.
	BTSMF4-C2	Se recomienda verificar la velocidad del motor por personal experimentado.		MTSMF9-C5	Limpie la entrada y salida del aire de ventilación. Limpie las rejillas o los filtros si los tiene el motor.
	BTSMF4-C3	Se debe ajustar la separación del accionador por personal autorizado.		MTSMF10-C1	Alivie la grasa de la cavidad del rodamiento al nivel especificado en la sección de lubricación.
	BTSMF4-C4	Controle la potencia de descarga de la bomba. Si esto no ayuda, acorte el diámetro del impulsor.		MTSMF10-C2	Vuelva a llenar el depósito con el aceite correcto y verifique que el nivel de aceite sea el correcto.
Sobrecalentamiento de la bomba	BTSMF5-C1	Se recomienda volver a cebar la bomba, compruebe que la bomba y la tubería de aspiración estén llenas de líquido.	Los rodamientos del motor se sobrecalientan.	MTSMF10-C3	Mida la carga y compárela con el régimen de placa. Verifique que no haya fricción excesiva en el motor o en todo el sistema. Reduzca la carga o reemplace el motor por otro de más capacidad.
	BTSMF5-C2	Se debe controlar que el grado del lubricante sea el adecuado.		MTSMF10-C4	Limpie la entrada y salida del aire de ventilación. Limpie las rejillas o los filtros si los tiene el motor.
	BTSMF5-C3	Si la elevación estática de aspiración es demasiado alta, se debe acortar la tubería de aspiración.			

Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1. 2/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 TRANSFERENCIA A FILTROS					
Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas	Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas
Deficiencia de succión en la bomba	BTFMF1-C1	Se debe desmontar la bomba y limpiar el impulsor.	El motor no arranca	MTFMF5-C1	Se recomienda controlar la tensión en los terminales del motor, Comparándola con la placa de identificación.
	BTFMF1-C2	Limpie los filtros instalados en la aspiración. Controle los niveles de liquido, abra las válvulas de aspiración.		MTFMF5-C2	Reduzca la carga o reemplace el motor por una unidad de mayor capacidad.
	BTFMF1-C3	Compruebe las conexiones de bridas. Se recomienda sustituir la junta de la carcasa de la bomba.		MTFMF5-C3	Verifique sobrecargas y fusibles. Controle la tensión y compárela con la capacidad nominal de la placa de identificación.
	BTFMF1-C4	Se recomienda abrir y limpiar la bomba.		MTFMF5-C4	Se debe verificar la numeración y conexión de terminales.
	BTFMF1-C5	Sustituya la junta de la carcasa de la bomba. Compruebe las conexiones de bridas. Compruebe el cierre del eje.		MTFMF6-C1	Se debe balancear el rotor.
Sobrecalentamiento de la bomba	BTFMF2-C1	Abra la válvula de impulsión.	Ruido excesivo del motor	MTFMF6-C2	Controle la tensión de entrada. Controle que las conexiones sean correctas.
	BTFMF2-C2	Se recomienda aflojar el prensaestopas.	Vibración excesiva del motor	MTFMF6-C3	Reemplace los cojinetes. Igualmente controle la alineación.
	BTFMF2-C3	Limpie los filtros instalados en la aspiración. Controle los niveles de liquido, abra las válvulas de aspiración.		MTFMF7-C1	Realinee el motor y el equipo accionado.
	BTFMF2-C4	Se debe controlar que el grado del lubricante sea el adecuado.		MTFMF7-C2	Limpie el motor.
	BTFMF2-C5	Se debe purgar y llenar la bomba, así como la tubería de aspiración o de carga.		MTFMF7-C3	Ponga en funcionamiento el motor desconectado de la carga accionada y controle la vibración.
BTFMF3-C1	Se deben sustituir las juntas.	MTFMF7-C4		Se recomienda modificar la rigidez de la estructura de la base.	
La bomba presenta fugas	BTFMF3-C2	Se recomienda comprobar el par de apriete de los tornillos de la carcasa de la bomba.	Sobrecalentamiento del motor	MTFMF8-C1	Se recomienda limpiar el motor, controlar el flujo de aire. Revisar si los filtros están instalados.
	BTFMF3-C3	Revise las superficies de las caras de roces y elastómeros. Si esta dañado se debe sustituir el sello mecánico.		MTFMF8-C2	Gire los tubos para expandir el diámetro interno de los tubos.
	BTFMF3-C4	Compruebe la empaquetadura y el apriete del prensaestopas. Si es el caso sustituya la empaquetadura.		MTFMF8-C3	Se recomienda controlar el entrehierro y repare el motor según sea necesario.
	BTFMF4-C1	Controle los niveles de liquido, abra las válvulas de aspiración. Limpie los filtros instalados en la aspiración.		MTFMF8-C4	Se debe medir la carga y compararla con la capacidad nominal de la placa de identificación.
La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTFMF4-C2	Se deben inspeccionar y en dado caso reemplazar las piezas rotativas flojas, rotas o aquellas que se frotan entre sí.	Sobrecalentamiento de los cojinetes	MTFMF8-C5	Se debe localizar la falla con un comprobador de aislamiento.
	BTFMF4-C3	Se recomienda verificar la alineación. Se debe comprobar el montaje de la bomba sobre la base de apoyo o la bancada.		MTFMF8-C6	Se recomienda controlar la tensión y compárela con la placa de capacidad nominal.
	BTFMF4-C4	Se recomienda desmontar y limpiar la bomba		MTFMF9-C1	Se debe corregir el nivel de aceite consultando en el manual correspondiente el nivel de aceite correcto.
	BTFMF4-C5	Se debe purgar y llenar la bomba, así como la tubería de aspiración o de carga.		MTFMF9-C2	Reduzca la tensión al punto adecuado.
				MTFMF9-C3	Se debe volver a alinear el motor y el equipo accionado.
		MTFMF9-C4	Se recomienda limpiar, reparar o reemplazar y volver a montar.		

Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1. 3/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO DE RETROLAVADO DE FILTROS					
Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas	Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas
Sobrecalentamiento del motor	MRFMF1-C1	Se recomienda remover la materia u obstrucciones ajenas presentes en el ducto.	La bomba consume mucha potencia	BRFMF7-C1	El eje de la bomba y del motor se debe alinear correctamente de tal manera que las caras de las dos mitades del acoplamiento, es decir, la del eje de la bomba y la del eje del motor, sean paralelas.
	MRFMF1-C2	En caso de sobrevoltaje se recomienda revisar la fuente de poder.			Se debe controlar que el grado del lubricante utilizado en los rodamientos sea el adecuado.
	MRFMF1-C3	Se recomienda instalar un nuevo fusible.			Se recomienda extraer las obstrucciones en el impulsor, lavando la bomba; en el mayor de los casos reemplazar el impulsor.
	MRFMF1-C4	En este caso se recomienda revisar el circuito y/o consultar con personal experimentado en electricidad.			Se recomienda verificar las piezas flojas o rotas, en el mayor de los casos reemplazarlas para evitar el rozamiento.
	MRFMF1-C5	Se recomienda revisar el switch y en el mayor de los casos reemplazarlo por un switch nuevo.			Se recomienda verificar la velocidad del motor por personal experimentado.
Motor sin ruido y sin movimiento	MRFMF2-C1	Encender el Switch , si aún deja de funcionar, se recomienda reemplazar el swich por uno nuevo.	La bomba vibra o hace ruido excesivamente	BRFMF8-C1 BRFMF8-C2 BRFMF8-C3 BRFMF8-C4 BRFMF8-C5	Se debe desmontar la bomba y limpiar el impulsor.
	MRFMF2-C2	Se recomienda verificar la bobina, en el mayor de los cazos reemplazarla por una nueva.			Es necesario sustituir las juntas.
	MRFMF2-C3	En ausencia de fusible, se debe instalar un fusible nuevo o en buenas condiciones.			Es necesario reemplazar las piezas rotativas flojas, rotas o aquellas que se frotan entre sí.
Fusible volado en el motor	MRFMF3-C1	Se recomienda verificar los circuitos de los switches; detectar y reemplazar el cableado que genera el corto.	La bomba vibra o hace ruido excesivamente	BRFMF8-C3 BRFMF8-C4 BRFMF8-C5	Es necesario asegurar que la plancha de base esté bien asentada, sin bolsas de aire.
	MRFMF3-C2	Se deben apretar las terminales y contactos con la suficiente fuerza, para asegurar su rigidez.			Se recomienda quitar las obstrucciones que afectan cada una de estas tuberías.
	MRFMF3-C3	Se recomienda realizar las conexiones por personal experimentado de acuerdo a la placa.			Se recomienda volver a cebar la bomba , compruebe que la bomba y la tubería de aspiración estén llenas de líquido.
Sobrecalentamiento de las chumaceras del motor	MRFMF4-C1	Se debe ajustar el cinturón, teniendo en cuenta el grado de tensión permitido.	La bomba no genera flujo	BRFMF9-C1 BRFMF9-C2 BRFMF9-C3 BRFMF9-C4	Se recomienda verificar la velocidad del motor por personal experimentado.
	MRFMF4-C2	En este caso, re recomienda ajustar la tensión en el cinturón.			Quitar las obstrucciones que afectan a la línea de succión.
	MRFMF4-C3	Realignar el motor y las flechas de la máquina.			Se recomienda volver a acomodar la tubería (línea de aspiración) para eliminar las bolsas de aire.
	MRFMF4-C4	Es recomendable reemplazar la chumacera que produce ruido excesivo.			Se debe quitar las obstrucciones de la línea de aspiración o bien en la línea de descarga.
Ruido mecánico en el motor	MRFMF5-C1	En este caso, se recomienda ajustar la posición del ventilador.	La bomba desarrolla menos flujo que el esperado	BRFMF10-C1 BRFMF10-C2 BRFMF10-C3 BRFMF10-C4	Se recomienda localizar el problema de cavitación del sistema y corregirlo en el menor tiempo posible.
	MRFMF5-C2	Ajustar la posición del acople, sellar la llave y apretar los tornillos.			Se recomienda extraer las obstrucciones en el impulsor, en el mayor de los casos lavar la bomba.
	MRFMF5-C3	Se recomienda ajustar la llave y apretar los tornillos del cinturón de la polea.			Verifique el sumidero en busca de elementos grandes que puedan estar ingresando en la bomba.
Vibración mecánica del motor	MRFMF6-C1	Se debe remover el acople del rotor y verificar la alineación entre el motor y la bomba.	La bomba desarrolla menos flujo que el esperado	BRFMF10-C1 BRFMF10-C2 BRFMF10-C3 BRFMF10-C4	Se recomienda extraer las obstrucciones en el impulsor, en el mayor de los casos lavar la bomba.
	MRFMF6-C2	Se recomienda remover el ventilador y verificar la alineación.			Verifique el sumidero en busca de elementos grandes que puedan estar ingresando en la bomba.
	MRFMF6-C3	Se recomienda reforzar la cama de montaje.			

Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1. 4/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE FILTRACION DE AGUA UNIDAD DE BOMBEO No. 1 y 2 BOOSTER DE INYECCION					
Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas	Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas
Bajo rendimiento de la bomba	BTFMF1-C1	Se debe desmontar la bomba y limpiar el impulsor.	Sobrecalentamiento del motor	MTF6-C1	Se recomienda limpiar el motor, controlar el flujo de aire. Revisar si los filtros están instalados.
	BTFMF1-C2	Compruebe si la instalación esta limpia. Regule de nuevo el punto de trabajo.		MTF6-C2	Gire los tubos para expandir el diámetro interno de los tubos.
	BTFMF1-C3	Se debe purgar y llenar la bomba, así como la tubería de aspiración o de carga.		MTF6-C3	Se recomienda controlar el entrehierro y repare el motor según sea necesario.
	BTFMF1-C4	Compruebe las conexiones de bridas. Se recomienda sustituir la junta de la carcasa de la bomba.		MTF6-C4	Desconecte el motor de la carga. Controle los amperios en ralentí para verificar el equilibrio en las tres fases.
La bomba presenta fugas	BTFMF2-C1	Se deben sustituir las juntas.		MTF6-C5	Controle que no haya obstrucciones en la entrada y la salida de aire. Controle la temperatura de la entrada de aire.
	BTFMF2-C2	Se recomienda comprobar el par de apriete de los tornillos de la carcasa de la bomba.		MTF6-C6	Se recomienda controlar la corriente en todas las fases.
	BTFMF2-C3	Revise las superficies de las caras de roces y elastómeros. Si esta dañado se debe sustituir el sello mecánico.		MTF6-C7	Se recomienda controlar la tensión y compárela con la placa de capacidad nominal.
	BTFMF2-C4	Compruebe la empaquetadura y el apriete del prensaestopas. Si es el caso sustituya la empaquetadura.		MTF7-C1	Se recomienda controlar la tensión en los terminales del motor, Comparándola con la placa de identificación.
La bomba no aspira o lo hace intermitentemente	BTFMF3-C1	Se recomienda abrir y limpiar la bomba.	El motor no arranca	MTF7-C2	Reduzca la carga o reemplace el motor por una unidad de mayor capacidad.
	BTFMF3-C2	Sustituya la junta de la carcasa de la bomba. Compruebe las conexiones de bridas. Compruebe el cierre del eje.		MTF7-C3	Verifique sobrecargas y fusibles. Controle la tensión y compárela con la capacidad nominal de la placa de identificación.
La bomba presenta sobrecalentamiento	BTFMF4-C1	Abra la válvula de impulsión.		MTF7-C4	Se debe verificar la numeración y conexión de terminales.
	BTFMF4-C2	Se recomienda aflojar el prensaestopas.		MTF8-C1	Se debe corregir el nivel de aceite consultando en el manual correspondiente el nivel de aceite correcto.
	BTFMF4-C3	Se debe controlar que el grado del lubricante sea el adecuado.	MTF8-C2	Reduzca la tensión al punto adecuado.	
La bomba hace ruido o vibra excesivamente	BTFMF5-C1	Controle los niveles de líquido, abra las válvulas de aspiración. Limpie los filtros instalados en la aspiración.	Sobrecalentamiento de los cojinetes	MTF8-C3	Se recomienda disminuir el suministro al punto especificado por el fabricante.
	BTFMF5-C2	Se deben inspeccionar y en dado caso reemplazar las piezas rotativas flojas, rotas o aquellas que se frotan entre sí.		MTF8-C4	Se debe volver a alinear el motor y el equipo accionado.
	BTFMF5-C3	Se recomienda verificar la alineación. Se debe comprobar el montaje de la bomba sobre la base de apoyo o la bancada.		MTF8-C5	Se recomienda limpiar, reparar o reemplazar y volver a controlar el montaje.
	BTFMF5-C4	Se recomienda desmontar y verificar que la bomba este limpia, si no es el caso se debe limpiar.	Vibración o ruido excesivo del motor	MTF9-C1	Se debe balancear el rotor.
	BTFMF5-C5	Se debe purgar y llenar la bomba, así como la tubería de aspiración o de carga.		MTF9-C2	Reemplace los cojinetes. Igualmente controle la alineación.
				MTF9-C3	Realinee el motor y el equipo accionado.
				MTF9-C4	Limpie el motor.
				MTF9-C5	Se recomienda modificar la rigidez de la estructura de la base.

Actividades de Mantenimiento Correctivo SIAR – Modulo 1. 5/5

SET DE INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES CAMPO TECA - MODULO 1 SISTEMA DE BOMBEO DE INYECCION A POZOS UNIDAD DE BOMBEO No. 1 TRIPLEX INYECCION A POZOS					
Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas	Modo Falla	Código Causa	Acciones Correctivas
Batería descargada o sobrecargada	MTIPMF1-C1	Es necesario inspeccionar el cargador de la batería y si es el caso reemplazarlo y/o reducir la tasa de carga en una cantidad significativa.	Presión de descarga o succión insuficiente	BTIPMF6-C1	Es necesario revisar y reemplace el conjunto de válvulas que han sido afectadas.
Vibraciones o ruidos excesivas del motor	MTIPMF2-C1	Se recomienda asegurar que el amortiguador de vibraciones este equilibrado y llegado el caso reemplazarlo.		BTIPMF6-C2	Se debe permitir más tiempo de asentamiento en el tanque de suministro y/o reducir la velocidad de la bomba.
	MTIPMF2-C2	alojamientos donde se van a asentar los nuevos cojinetes.		BTIPMF6-C3	Se recomienda inspeccionar en busca de la obstrucción que esta causando el problema y retirarlo.
	MTIPMF2-C3	Inspeccionar que tan grave es el daño en el soporte o suspensión del motor y decidir si es mas factible soldarlo o reemplazarlo.		BTIPMF6-C4	Es necesario reemplazar los émbolos, empaquetaduras y/o sellos de fluidos, según sea el caso.
	MTIPMF2-C4	Se recomienda alinear el cigüeñal o en su defecto cambiarlo.		BTIPMF6-C5	Vuelva a calibrar el instrumento en cuestión o si es el caso reemplácelo.
	MTIPMF2-C5	Se recomienda reemplazar las correas si estas no están en las mejores condiciones.		BTIPMF6-C6	Se debe revisar si es necesario aumentar la capacidad de la bomba, la velocidad o el tamaño.
Cambios en la presión de los cilindros del motor	MTIPMF3-C1	Es necesario revisar y reemplace el conjunto de válvulas que han sido afectadas.	Fluido no bombeado	BTIPMF7-C1	Se debe purgar y llenar la bomba, así como la tubería de aspiración o de carga.
	MTIPMF3-C2	Limpie obstrucciones en las superficies de contactos para así evitar que se vean afectadas las camisas del cilindro.		BTIPMF7-C2	Vuelva a acomodar la línea de aspiración para eliminar las bolsas de aire.
	MTIPMF3-C3	Se recomienda utilizar un resorte que se ajuste al proceso.		BTIPMF7-C3	Es necesario limpiar la línea de succión.
	MTIPMF3-C4	Es necesario eliminar los depósitos para evitar algún tipo de explosión.		BTIPMF7-C4	Retire la obstrucción del juego de válvulas que se encuentran defectuosas.
	MTIPMF3-C5	Se debe controlar que el grado del lubricante sea el adecuado.	Cavitación	BTIPMF8-C1	Inspeccionar el estabilizador de succión y amortiguador de pulsaciones, si es caso cambiarlo.
Sobrecalentamiento del motor	MTIPMF4-C1	Se recomienda drenar el sistema de refrigeración y enjuagar con agua limpia para eliminar cualquier residuo.		BTIPMF8-C2	Es recomendable reducir la velocidad de la bomba.
	MTIPMF4-C2	Se debe inspeccionar que el grado del lubricante sea el adecuado.		BTIPMF8-C3	Se debe permitir más tiempo de asentamiento en el tanque de suministro y/o reducir la velocidad de la bomba.
	MTIPMF4-C3	Inspeccione que tan grave es el daño en el soporte y decida si es mas factible soldarlo o reemplazarlo.		BTIPMF8-C4	Se recomienda utilizar un resorte que se ajuste al proceso.
	MTIPMF4-C4	Se recomienda reemplazar las correas si estas no están en las mejores condiciones.	BTIPMF9-C1	Se recomienda reemplazar el perno de la cruceta.	
El motor no arranca	MTIPMF5-C1	Reemplace los piñones y verifique que engranen correctamente.	Golpe al final de la carrera en la bomba	BTIPMF9-C2	Inspeccione y ajuste el espacio muerto para que se lleve a cabo un proceso eficiente.
	MTIPMF5-C2	Verifique la bobina con un probador de chispa y defina si es necesario reemplazarla.		BTIPMF9-C3	Es necesario invertir la conexión del motor.
	MTIPMF5-C3	Inspeccione cuales son las conexiones sueltas para determinar que tan afectadas están, dado el caso reemplácelas.		BTIPMF9-C4	Compruebe y apriétela si es necesario o reemplácela si está dañado.
	MTIPMF5-C4	Se debe verificar y comparar con el diagrama de conexiones.		BTIPMF9-C5	Es necesario inspeccionar y reemplazar la biela, cigüeñal, cruceta, o cojinete principal, según sea el caso.

Anexo E. Foto Evidencia de Ingreso al Campo Teca-Cocorná

INSTALACION O PROYECTO:		INGRESO Y SALIDA DE PERSONAL DE LAS INSTALACIONES DE ECOPETROL											
		PERSONAL					RESPONSABILIDAD INTEGRAL DIRECCION DE SEGURIDAD FISICA						
		CODIGO DSF-DSF-F-030		ELABORADO 11/05/2012			VERSION: 2						
		Punto de					INGRESO			SALIDA			
ITEM	DD/MM/AAAA	NOMBRES Y APELLIDOS	REGISTRO / IDENTIFICACION	F	C	V	EMPRESA	HORA ENTRADA	VEHICULO PLACA	FIRMA	HORA SALIDA	VEHICULO PLACA	FIRMA
27-10-15		Auxilio Fabián Rincón	109835963				UIS	8:30	-	[Firma]	3:40	-	[Firma]
27-10-15		Sampel Andrés Ayala	109581244				UIS	8:30	-	[Firma]	3:40	-	[Firma]

Nota: Debido a la restricción Hábeas data que por ley protege los nombres y números de cedula de las personas que ingresan al Campo Teca-Cocorná se procedió a ocultar dicha información en esta foto.

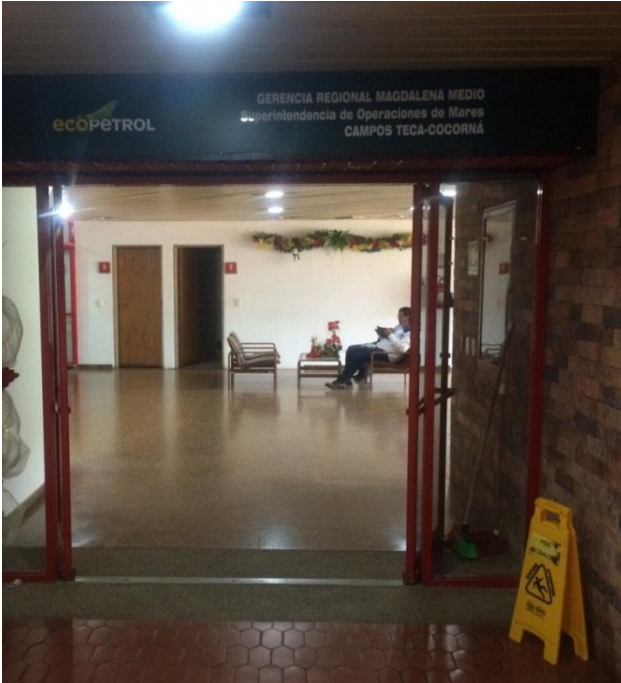
Anexo F. Foto Placa de Inauguración del Campo Teca



Anexo G. Foto Acceso Oficinas Campo Teca-Cocorná



Anexo H. Foto Oficinas Campo Teca-Cocorná



Anexo I. Foto Oficina Dirección de Mantenimiento Campo Teca-Cocorná



Anexo J. Foto Vía de acceso al Módulo 1



Anexo K. Foto Vista desde afuera del Módulo 1



Anexo L. Foto Vista desde afuera del Módulo 1



Anexo M. Foto Vista desde afuera del Módulo 1

