

**IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA RCM, EN EL PROCESO DE
ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE CRUDO EN CAMPO JAZMIN-GIRASOL**

**JUAN BAUTISTA MEJIA DIAZ
NILSON ALBERTO SANCHEZ CASTRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

**IMPLEMENTACION DE LA METOLOGIA RCM, EN EL PROCESO DE
ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE CRUDO EN CAMPO JAZMIN-GIRASOL**

**JUAN BAUTISTA MEJIA DIAZ
NILSON ALBERTO SANCHEZ CASTRO**

**Monografía de Grado para optar el título de
“Especialista en Gerencia de Mantenimiento”**

**Director
ALVARO LUIS LOBELO DIAZ
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este triunfo primeramente a Dios y a toda mi familia, especialmente a mi esposa y a mis hijos que fueron la motivación más grande para poder cumplir este propósito, espero continuar fortaleciendo mis conocimientos a nivel profesional.

Con todo mi corazón agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de alcanzar un nuevo triunfo para mi vida profesional; doy gracias a mi esposa Juana Lucía Mancera Rodríguez, a mis hijos Gabriela Mejía Mancera y Juan Camilo Mejía Mancera, y a mis padres Adán Enrique Mejía Urueta y Carmen Olinda Díaz Barba por su gran apoyo y comprensión en los momentos en que no pude compartir con ellos , por dedicarme al estudio.

JUAN B. AUTISTA MEJÍA DÍAZ

Dedico este trabajo a DIOS todo poderoso, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi esposa Jakelyne y mi hija Maria Fernanda quienes me apoyaron y permitieron sacrificar el tiempo que debía darles para lograr culminar una etapa más en mí vida.

A mis padres, Agapito y Gilma a quienes agradezco infinitamente por sus enseñanzas, cariño, comprensión, amor y apoyo incondicional.

NILSON ALBERTO SANCHEZ CASTRO

ABREVIATURAS

RCS: Reliability Centered Spare.

RCM: Reliability Centered Maintenance.

PM: Mantenimiento preventivo.

PdM: Mantenimiento predictivo.

API: American Petroleum Institute.

FMEA: Análisis de Modos y Efectos de falla.

MECL: Mansarovar Energy Colombia, Ltd.

PLE: Pérdida de producción estimada en pesos de crudo.

CMMS: Computerized Maintenance Management System.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA EN ESTUDIO	18
1.2. RECOLECCION DE LA INFORMACION	22
1.2.1. Datos históricos	22
1.2.2. Ecuaciones de pérdida de producción	23
2. OBJETIVOS.....	25
2.1 OBJETIVO GENERAL	25
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	25
3. CONCEPTOS TEORICOS.....	26
3.1. HISTORIA DEL RCM.....	26
3.2. DESARROLLO METODOLOGICO	27
3.2.1. Desarrollo.....	28
4. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	34
4.1. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	34
4.1.1. Riesgo estimado de la planta.....	37
4.1.2. Implementación del RCM.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipos analizados en el RCM.	19
Tabla 2. Cronograma taller RCM	30
Tabla 3. Definición de Criticidad.....	39
Tabla 4. PDT Implementación RCM.	42

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Referencia sistema de bombeo.	20
Figura 2. Unidad de Bombeo Vasconia.	20
Figura 3. Unidad de bombeo oleoducto.	21
Figura 4. Unidad de bombeo cargadero carrotanques.....	21
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de RCM.	28
Figura 6. Proceso sistema bombeo de crudo	29
Figura 7. Flujograma realización RCM.....	43

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfica 1. Disponibilidad 2013.	23
Gráfica 2. Producción diaria de crudo.	23
Gráfica 3. Pérdida producción de crudo por hora	24
Gráfica 4. Distribución de equipos por disciplina.	35
Gráfica 5. Distribución tareas de mantenimiento resultante del RCM.....	36
Gráfica 6. Distribución de tareas por disciplina más relevantes.....	37
Gráfica 7. Matriz de Criticidad.....	38
Gráfica 8. Distribución criticidad de equipos RCM.	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Función de los Equipos.	46
Anexo B. Lista de equipos Analizados RCM.	47
Anexo C. Distribución de tareas por disciplina resultante del RCM.	49
Anexo D. Tareas de mantenimiento del RCM.	50
Anexo E. Tareas de mantenimiento del RCM asociadas a los Equipos.	57
Anexo F. Guía de Análisis: Explicación y ejemplos de los criterios de evaluación.	61
Anexo G. Análisis FMEA.	65

GLOSARIO

INTERVALO P-F: Es el intervalo que ocurre cuando se identifica una falla (Falla Probable) hasta cuando la falla se manifiesta en su totalidad (Falla Funcional).

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE: es una medida de densidad que, en comparación con el agua y con iguales temperaturas, precisa cuán pesado ó liviano es el petróleo. Índices superiores a 10 implican que son más livianos que el agua y, por lo tanto, flotarían en ésta.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA: es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema.

COSTO DE MANTENIMIENTO POR BARRIL PRODUCIDO: es el costo que se genera por las actividades correspondientes al mantenimiento industrial de las instalaciones de los campos Jazmín y Teca de Mansarovar relacionado con la producción de un Barril. Se determinara como costo de mantenimiento, los costos sobre los cuales tenga influencia la gestión de mantenimiento.

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA RCM, EN EL PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE CRUDO EN CAMPO JAZMIN-GIRASOL*

AUTORES: Juan Bautista Mejia Diaz.
Nilson Alberto Sánchez C**

PALABRAS CLAVES: Implementación, Mantenimiento, Centrado, Bombas, almacenamiento, transporte.

El presente documento muestra la metodología RCM a seguir en un sistema de almacenamiento y despacho de crudo con el fin que sirva para ser aplicado en campo Jazmín. El objetivo principal del sistema es recibir la producción diaria de los campos Jazmin, Girasol, y Underriver, que equivale en promedio a una producción diaria de 16.483 barriles de crudo y a su vez realizar el despacho final a sus clientes en este caso el Oleoducto de Vasconia o la línea de despacho hacia la refinería de Barrancabermeja; con esta nueva metodología se busca implementar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad el cual sea costo efectivo y beneficioso para Mansarovar, y a través de este podamos disminuir las perdidas operacionales y los costos de mantenimiento, aumentando la confiabilidad de los equipos que según indicadores ha mostrado un bajo índice en algunos meses del año..

Con información obtenida de libros, trabajos de monografías, material de internet confiable se describe la historia, modelos y conceptos fundamentales de la metodología RCM permitiendo realizar un análisis detallado de la misma y aplicable al sistema analizado.

La realización del estudio del sistema de almacenamiento y despacho de crudo se llevó a cabo en cuatro etapas, a saber: identificación del sistema (1), recopilación de la información (2), análisis de los datos obtenidos (3) y aplicación de la estrategia de mantenimiento según la metodología RCM (4). Se realizó la conformación de los diferentes grupos de trabajo por especialidades con un cronograma establecido para su respectivo análisis e implementación de la metodología.RCM.

Finalmente se presentan los análisis y conclusiones, que muestran la consecución de los objetivos planteados al desarrollo de la presente monografía con la que queda a disposición de la empresa Mansarovar para su implementación.

* Monografía

** Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander. Director: Ing. Alvaro Luis Lobelo Diaz.

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE RCM METHODOLOGY IN THE PROCESS OF STORAGE AND OIL PUMPING IN JAZMIN-GIRASOL FIELD^{1*}

AUTHORS: Juan Bautista Mejia Diaz.
Nilson Alberto Sánchez C^{2**}

KEYWORDS: Implementation, Maintenance, Focused, Pumps, Storage, Transport.

This document shows the RCM methodology to be followed in a storage and delivery oil system in order to be applied in Jazmín field. The main objective of the system is receiving daily production of Jazmin, Girasol, and Underriver fields, which is equivalent on an average daily production of 16,483 barrels of oil and in turn to perform the final dispatch to its customers, in this case the oil pipeline Vasconia or dispatch line to the Barrancabermeja refinery; with this new methodology, it seeks to implement a maintenance plan based on reliability which is cost-effective and beneficial to Mansarovar, and through this we can reduce the operational losses and maintenance costs, increasing equipment reliability according to the indicators that has shown a low rate in some months of the year.

With information from books, monographs, reliable internet materials which describe the history, models and concepts of the RCM methodology described, allowing a detailed analysis of the same and applicable to the analyzed system.

The making of the storage system study and dispatch of crude oil was carried out in four stages, namely: identification system (1), collection of information (2) analysis of data (3) and application of the maintenance strategy according to RCM methodology (4). The conformation of different working groups by specialties with a timetable established for examination and implementation of the RCM methodology was performed.

Finally, the analysis and conclusions, which show the attainment of the development objectives of this monograph which is available to the Mansarovar company for implementation are presented.

¹ Monograph

^{2**} Specialization in Maintenance Management, Faculty of Physics and Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Industrial University of Santander. Director: Engineer, Alvaro Luis Lobelo Diaz.

INTRODUCCION

El campo de producción Jazmín se encuentra ubicado en la zona del “Magdalena Medio” departamento de Boyacá, donde se tiene con Ecopetrol, los derechos de la Asociación Nare; desarrollando operaciones privadas en el campo Velázquez y el Oleoducto Velázquez – Galán. El objetivo principal del sistema de almacenamiento y bombeo de crudo del campo es recibir la producción diaria de los campos de Jazmín, Girasol, y Underriver, que equivalen en promedio a una producción diaria de 16.483 barriles de crudo y a su vez realizar el despacho final a sus clientes, en este caso al Oleoducto de Vasconia ó a la línea de la refinería de Barrancabermeja, adicional cuenta con un sistema de despacho de crudo llamado Cargadero, en el cual se utilizan los carro-tanques como vehículos de transporte para la exportación de crudo.

Debido a los constantes avances tecnológicos que se presentan, se demandan continuos cambios en las técnicas de mantenimiento, llevando a las empresas a modificar sus estrategias y metodologías, con el fin de obtener el éxito en un medio cada vez más global y competitivo. La compañía Mansarovar Energy Colombia, Ltd. (MECL), ha iniciado desde su nivel táctico e involucrando a Petrotiger, a desarrollar esfuerzos en la realización de planes de trabajo necesarios para encaminar sus labores de mantenimiento hacia la confiabilidad operacional del campo.

El área de Mantenimiento es entonces la encargada de implementar y controlar las tareas necesarias que permitan aplicar el mantenimiento basado en confiabilidad de los activos que conforman el sistema de almacenamiento y bombeo de crudo en campo Jazmín, teniendo como objetivo mantener en óptimas condiciones operativas los equipos, garantizando así los pronósticos operacionales del campo, en lo que respecta al despacho del producto al usuario final.

El presente documento tiene como objetivo implementar la metodología RCM a seguir en el sistema de almacenamiento y bombeo de crudo de campo Jazmín – Girasol, que sirva como guía facilitadora para una posterior implementación. Para facilitar el análisis y presentación del RCM en los sistemas de almacenamiento y bombeo se presenta un capítulo en el que se documenta y describe el sistema y sus equipos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el campo no posee una estrategia que le permita desarrollar planes de mantenimiento basado en una metodología estándar que analice los modos de falla en los sistemas y con la cual se puedan mejorar sus indicadores de confiabilidad, el cual sea costo efectivo y beneficioso para Mansarovar; y a través de éste se puedan disminuir las pérdidas operacionales y los costos de mantenimiento.

A pesar que el promedio de la disponibilidad durante el año del 2013 tuvo un valor del 97,07% hubo meses como Septiembre y Octubre del mismo año que se obtuvo una disponibilidad operacional del 90,20% y 90,85% respectivamente, lo cual para la operación es un bajo indicador que demuestra la necesidad de implementar una estrategia que permita mejorar la disponibilidad de la planta.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA EN ESTUDIO

El sistema de almacenamiento y bombeo de crudo de campo Jazmín cuenta con tres sub-sistemas los cuales se describen a continuación.

- **Almacenamiento de crudo**

Tiene siete tanques con capacidad de almacenamiento de cincuenta mil (2 tanques), treinta mil (2 tanques), y diez mil (3 tanques) barriles respectivamente, este sub-sistema no será objeto del estudio de RCM ya que no es la metodología adecuada para definir los planes de integridad.

- **Despacho**

Está compuesto por tres bombas booster y por ocho unidades de bombeo recíprocante las cuales despachan el crudo al oleoducto que va hacia Vasconia ó Velásquez, y tiene la opción de salida de crudo por medio de carro tanques.

- **Línea de almacenamiento**

Está conformado por toda la parte estática y de integridad que son utilizadas para transportar el crudo hacia los clientes finales, este sub-sistema no será objeto del estudio de RCM ya que no es la metodología adecuada para definir los planes de integridad.

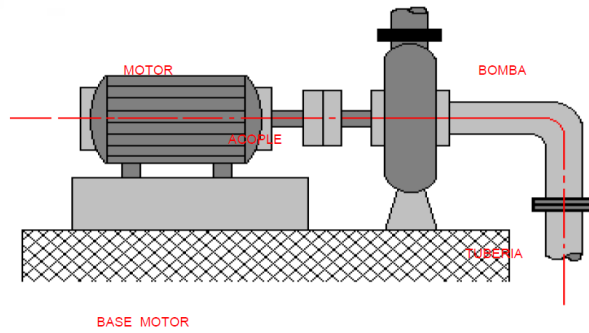
A continuación se presenta en resumen los equipos objeto de estudio:

Tabla 1. Equipos analizados en el RCM.

TAG	DESCRIPCION EQUIPO
PU-0204AJ	BOMBAS BOOSTER
PU-0204BJ	BOMBAS BOOSTER
PU-0204CJ	BOMBAS BOOSTER
PU-0201AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO CARGADERO
PU-0201BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO CARGADERO
PU-0202AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO
PU-0202BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO
PU-0202CJ	PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO
PU-0203AJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA
PU-0203BJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA
PU-0203CJ	PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Figura 1. Referencia sistema de bombeo.



Fuente. Márquez V. Luis. Monografía 138020, RCM en la estación 3A. Bucaramanga 2011. Pag. 62

Figura 2. Unidad de Bombeo Vasconia.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Figura 3. Unidad de bombeo oleoducto.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Figura 4. Unidad de bombeo cargadero carrotanques.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

En Mansarovar Energy Colombia Ltda no se tiene implementado ningún tipo de mantenimiento, razón por la cual se ve la necesidad de realizar un RCM que permita estandarizar el proceso, y tener una mayor confiabilidad del sistema.

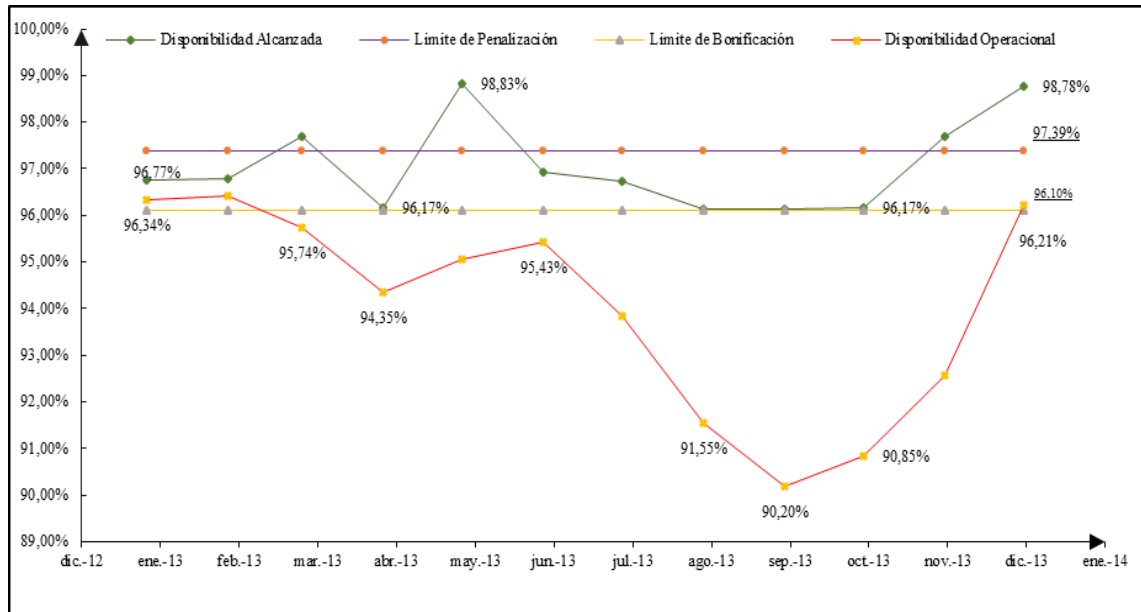
En el anexo A, se muestran las funciones de los equipos objeto de estudio del sub-sistema analizado.

1.2. RECOLECCION DE LA INFORMACION

1.2.1. Datos históricos: El sistema que será objeto de este estudio es el sistema que durante el año 2013 tuvo el más bajo desempeño en los indicadores de disponibilidad.

A pesar que el promedio de la disponibilidad durante el año del 2013 tuvo un promedio del 97,07% hubo meses como Septiembre y Octubre del mismo año que se obtuvo una disponibilidad del 90,20 % y 90,85% respectivamente lo cual es un bajo indicador que demuestra la necesidad de implementar una estrategia que permita mejorar la disponibilidad de la planta, En la gráfica 1 se muestra el resumen del comportamiento del indicador durante el año 2013.

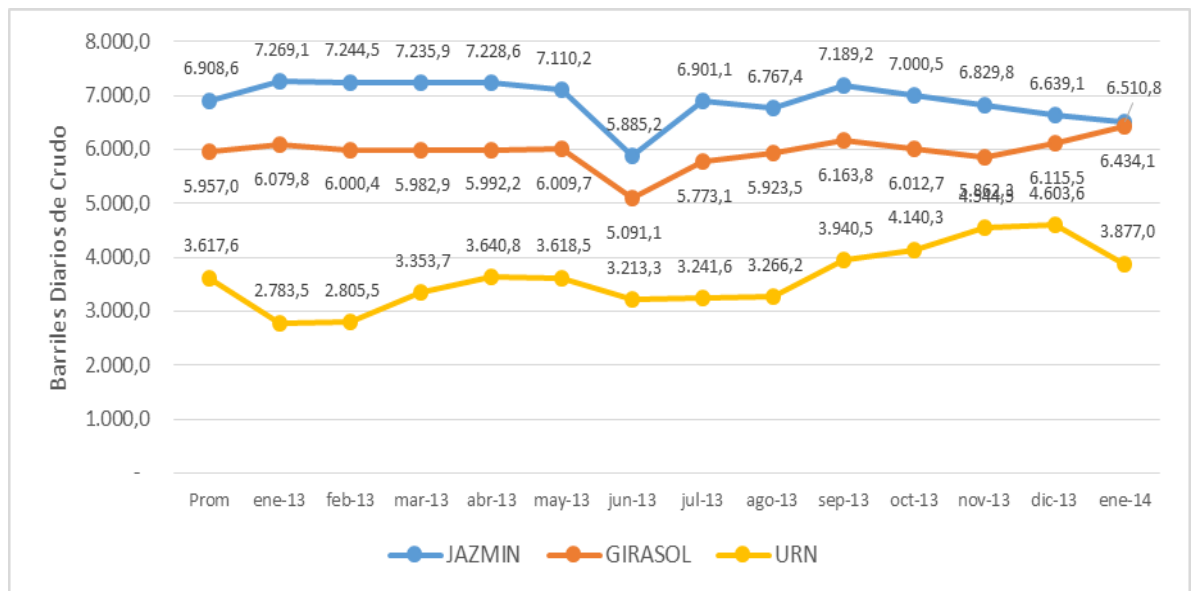
Gráfica 1. Disponibilidad 2013.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

1.2.2. Ecuaciones de pérdida de producción: Los históricos de producción de Crudo de Mansarovar se presentan en la gráfica 2.

Gráfica 2. Producción diaria de crudo.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Para determinar la ecuación de pérdida de la planta se tiene en cuenta los barriles netos producidos que salen de la estación.

El precio de crudo de entrada a la estación se estimó en \$US40 por barril.

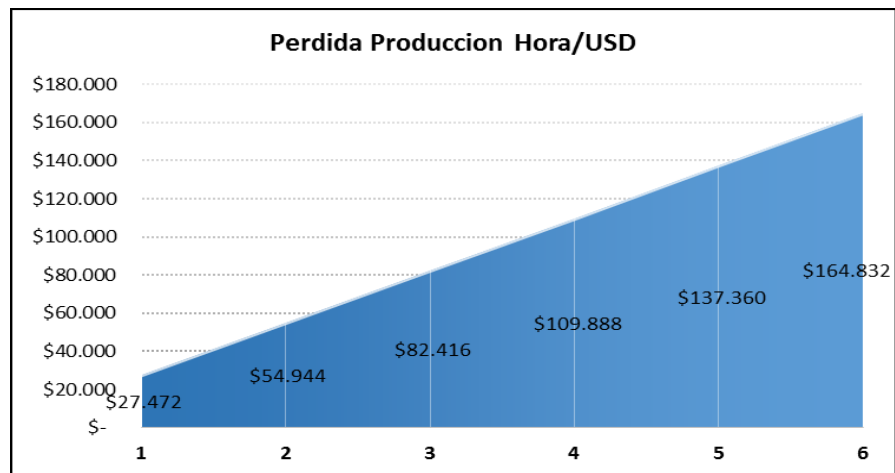
Las ecuaciones serian:

$$PLE(CRUDO) = \frac{(BPD) \times \left(40 \frac{\$}{B}\right)}{\left(\frac{H}{B}\right)}$$

$$PLE = (16.483/24) \times 40 = 27.472 \text{ US/H.}$$

Gráficamente la ecuación de pérdida se muestra a continuación:

Gráfica 3. Pérdida producción de crudo por hora



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad-RCM en el proceso de almacenamiento y despacho de crudo de campo Jazmín de MANSAROVAR ENERGY.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Especificar las funciones, fallas funcionales, modos de fallas, efectos y su categorización de acuerdo a la norma SAE, JA1012 del 2012, de los equipos que conforman el sistema de despacho y almacenamiento de crudo de campo Jazmín.
- Definir el plan y las tareas de mantenimiento necesarias para evitar o mitigar los modos de fallas asociados al sistema de almacenamiento y despacho de crudo de campo Jazmín.
- Asignar las frecuencias, horas hombres, frente de trabajo, y los listados de repuestos asociado a cada una de las tareas de mantenimiento de tipo preventivo, predictivo, correctivo, y por condición que surjan a partir del taller RCM.
- Generar un plan de acciones a partir del análisis del taller RCM que permita disminuir la criticidad y el riesgo operacional, de seguridad, y económico al que están expuestos los equipos que conforman el sistema de almacenamiento y despacho de crudo.
- Identificar los equipos críticos.
- Clasificar por criticidad, por tipo de mantenimiento, y por disciplina las tareas de mantenimiento resultantes del estudio de RCM.

3. CONCEPTOS TEORICOS

3.1. HISTORIA DEL RCM

El origen del RCM, data de los años 1950 (fecha para la cual el B-29, era insignia de la aviación militar americana) en la industria aeronáutica como el resultado de estudios que permitieron una mayor confiabilidad en la aviación. Desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América para United Airlines, de donde salió una primera aproximación a lo hoy conocido como RCM.

El RCM fué originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance” / “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dió nombre al proceso. El origen de este libro fué la culminación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los USA, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado Guía MSG – 1: Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa

En 1970 se presentó un documento para la planeación de programas de mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, ambos documentos fueron patrocinados por la ATA (Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de los USA).

En 1980, la ATA produjo el MSG – 3, documento para la planeación de programas de mantenimiento para fabricantes de aerolíneas. El MSG – 3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978). El MSG – 3 ha sido revisado dos veces, la primera vez en 1988 y de nuevo en 1993, y es el documento que hasta el presente lidera el desarrollo de programas iniciales de mantenimiento planeado para la nueva aviación comercial.

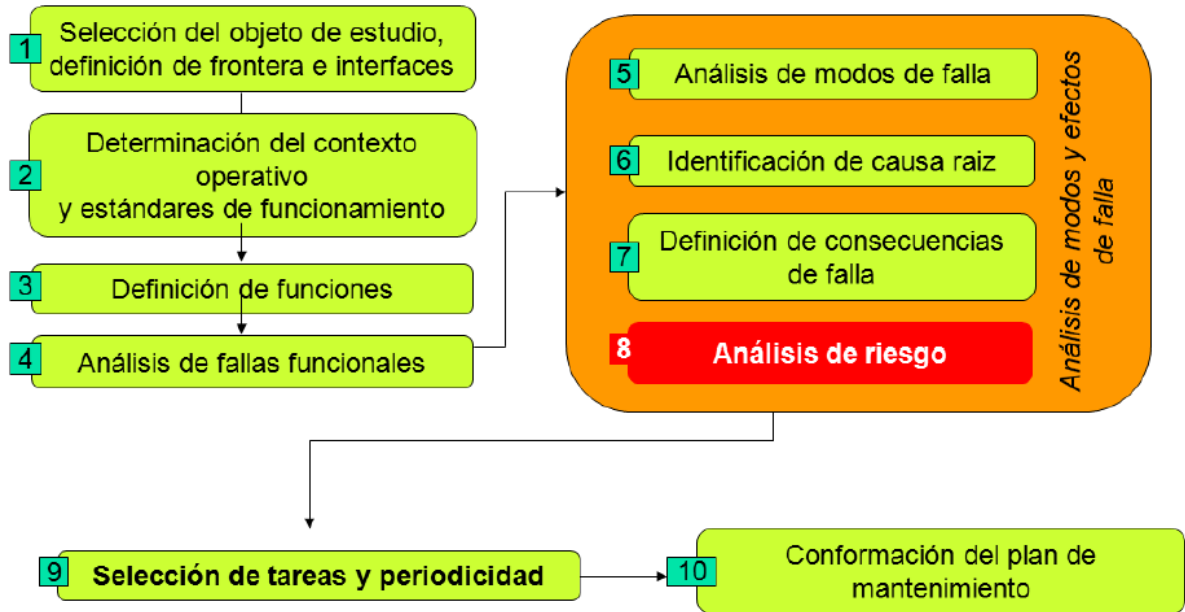
En 1991 John Moubray publicó por primera vez su libro Mantenimiento Basado en Confiabilidad RCM II.

3.2. DESARROLLO METODOLOGICO

El RCM determina qué debemos hacer para que los activos físicos de la empresa continúen realizando las funciones deseadas, es por esto que debemos identificar los equipos que se van a tener en cuenta para el estudio. Para realizar cualquier proceso de RCM se debe responder las siguientes siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que desea revisar y en la secuencia mostrada como sigue a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del equipo en su contexto de operación actual (funciones)?
2. ¿De qué forma puede fallar el equipo en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa la falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?
5. ¿En qué modo ocurre cada falla (causa de la falla)?
6. ¿Qué se haría para pronosticar o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tarea)?
7. ¿Qué se haría si una tarea proactiva apropiada no pudiera encontrarse (acciones implícitas)?

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de RCM.

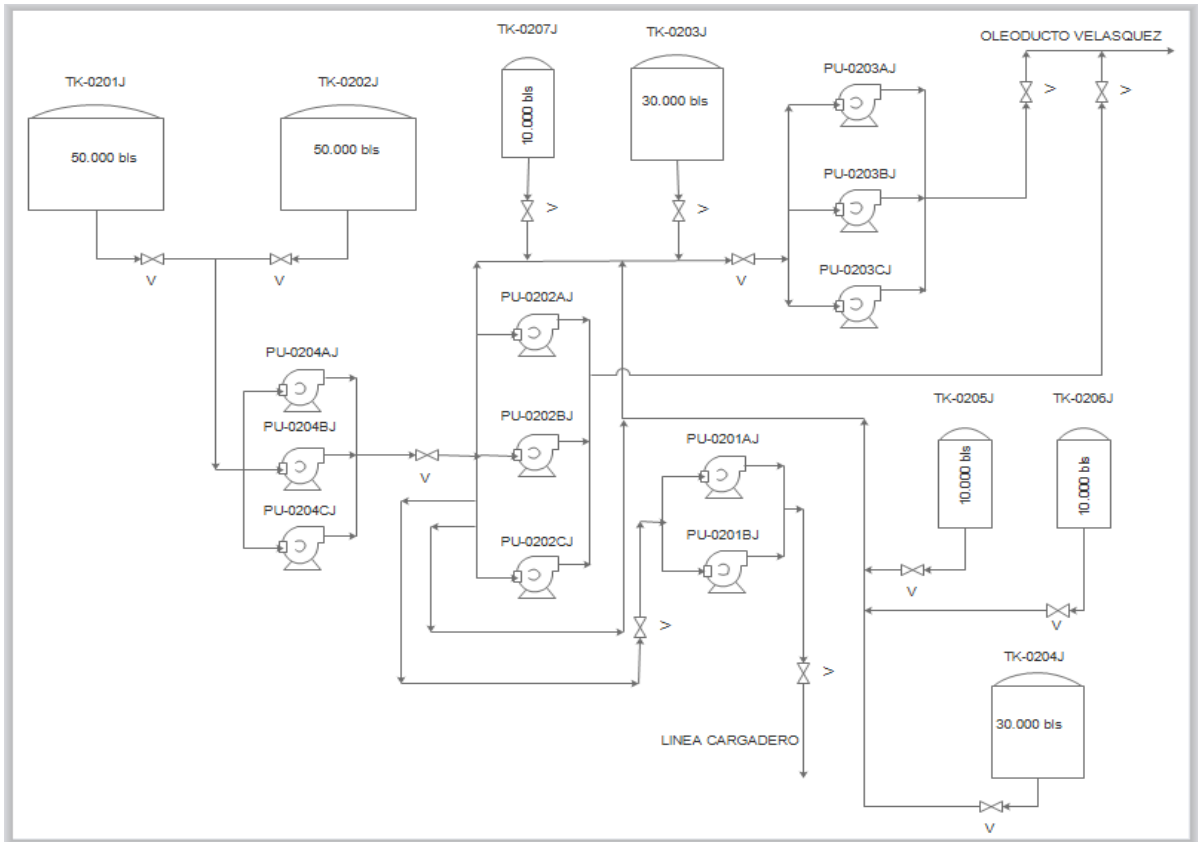


Fuente: Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM Daniel Ortiz Plata

3.2.1. Desarrollo

Con presencia de los grupos responsables para la implementación del RCM, tanto de Mansarovar Energy Colombia Ltd. como Petrotiger, se realizó en el salón de mantenimiento campo Jazmín, la reunión de apertura y sensibilización en las tres primeras horas. En esta reunión se definió el plan de trabajo del taller y se definió con el equipo de mantenimiento de Mansarovar Energy Colombia Ltda. el impacto de HSE del sistema de almacenamiento y bombeo de crudo campo Jazmín de MECL, objeto del presente estudio.

Figura 6. Proceso sistema bombeo de crudo



Los análisis de falla funcional se empezaron a realizar, se identificaron y definieron con cada especialista (Mecánico, Eléctrico e Instrumentos), los análisis típicos para cada tipo de equipo de acuerdo a su función y/o sistema al que pertenece, teniendo en cuenta el impacto desde el punto de vista económico, seguridad y ambiente.

Posteriormente, se revisaron los equipos restantes verificando que haya una correspondencia entre el tipo de equipo a analizar y el típico analizado, validando los costos y porcentajes de efectos económicos, seguridad ó ambiente, definidos durante el taller, a continuación se presenta el cronograma del taller, Tabla 2.

Tabla 2. Cronograma taller RCM

 Mansarovar Energy Colombia Ltd.	MANTENIMIENTO INTEGRAL DE LOS CAMPOS NARE, UNDER RIVER, JAZMÍN, GIRASOL, MORICHE COMERCIAL, MORICHE BUFFER, ABARCO, CHÍCHALA DE LA ASOCIACION NARE		
TALLER DE RCM - BOMBEO CRUDO -MECL			
PROGRAMA DE TRABAJO			
FECHA	HORA	ACTIVIDAD	ROL ESPECIALISTA
Lunes		Definición de logística y programa de trabajo, Explicación de metodología Definición de la ecuación de pérdida.	MECL
Miércoles			PETROTIGER
Jueves	07:30 - 17:00	Análisis de Equipo Eléctrico	MECL-MANTENIMIENTO
			MECL-OPERACIÓN
			PTS-MANTENIMIENTO
Viernes	07:30 - 11:30		PTS-CONFIABILIDAD
Lunes	13:00 - 17:00	Análisis de Equipo de Instrumentos y Controles	MECL-MANTENIMIENTO
			MECL-OPERACIÓN
			PTS-MANTENIMIENTO
Miércoles	07:30 - 11:30		PTS-CONFIABILIDAD
Miércoles	13:00 - 17:00	Análisis de Equipo Mecánico	MECL-MANTENIMIENTO
			MECL-OPERACIÓN
			PTS-MANTENIMIENTO
Viernes	07:30 - 11:30		PTS-CONFIABILIDAD
Lunes	07:00 - 18:00	Completaciones, revisiones, reportes Preparación de informe de resultados	PTS-CONFIABILIDAD
a			PTS-COORDINADOR
Viernes	07:00 - 18:00		PTS-CONFIABILIDAD

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

El equipo facilitador RCM debe identificar claramente los miembros del equipo RCM, las responsabilidades de cada uno de ellos, la selección del mejor candidato para aplicar RCM, requisitos para el diseño, principios y bases para su implementación, documentación y análisis de metodologías y fallas.

Entre las funciones y roles que debe tener el grupo de RCM son:

- Preparar la información previa a la ejecución de los talleres en campo dossiers, P&ID's, manuales de mantenimiento y operación, árbol validado de equipos, librería de modos de falla.
- Preparación de la herramienta RCM++.
- Facilitar el Brainstorming y moderar el taller.
- Aplicar correctamente las preguntas del RCM.
- Lograr un correcto consenso sobre las respuestas del RCM.

- Registrar la información requerida para consolidar el análisis; funciones, fallas funcionales y modos de falla definidos, asignación de efectos de modos de falla.
- Información de caracterización de fallas.
- Generar el listado de actividades recomendadas de mantenimiento (frecuencias, recursos, repuestos, costos).
- Generación y consolidación de resultados.
- Elaboración de Informe.

La función principal del facilitador es ayudar a entender los objetivos comunes y contribuir a crear un plan para alcanzarlos, desarrollando los talleres e implementando una estrategia para el análisis del RCM; debe coordinar, controlar y responder por los resultados; debe tener conocimientos especializados en la aplicación de metodologías de confiabilidad y estrategias de mantenimiento proactivo.

Las funciones específicas y básicas son las siguientes:

- a) Elaborar programa de trabajo, documentar y elaborar informe de resultados de cada estudio realizado para las plantas. Los informes deberán contener como mínimo:
 - Lista de tareas de mantenimiento clasificadas por tipo de mantenimiento.
 - Listado de tareas de operaciones.
 - Jerarquía de criticidad de acuerdo a la valoración del riesgo, para cada uno de los Equipos.
 - Lista de equipos de las plantas.
 - Lista de acciones de rediseño o recomendaciones de mejora.
 - Plan de mantenimiento.

- b) Brindar capacitación y/o asesoría especializada al personal del cliente en los temas relacionados con el proceso de implantación de la estrategia de RCM.

Otras personas involucradas en la definición del taller RCM es el personal operativo, dentro sus roles están:

- Presentar al equipo las generalidades del proceso soportado por la estación analizada.
- Brindar información relevante para la definición de las ecuaciones de pérdida Soportar cuando sea requerido la asignación de parámetros de criticidad de equipos.
- Soportar cuando sea requerido la definición de funciones y fallas funcionales de los componentes analizados.
- Soportar cuando sea requerido la asignación de efectos de modos de falla.

El personal técnico de mantenimiento juega un rol importante en la definición de las tareas de mantenimiento entre las funciones están:

- Definir funciones y fallas funcionales de componentes.
- Seleccionar modos de falla aplicables a las fallas funcionales.
- Asignar efectos a los modos de falla.
- Brindar información referente a la frecuencia de los modos de falla.
- Estimar recursos y repuestos requeridos para corregir los modos de falla.
- Determinar las tareas proactivas enfocadas a mitigar los modos de falla (frecuencias, recursos y repuestos).

Es importante la participación del personal HSE en la definición de la criticidad y validación del impacto de cada modo falla, además debe:

- Proporcionar al equipo RCM, las pautas en cuanto a HSE se refieren, delimitando el proceso de mantenimiento seguro.
- Soportar la documentación necesaria para los procesos de mantenimiento y operación seguros.

- Informar al grupo de las políticas de HSE de la compañía y los cambios que se presenten en ellas.
- Asesorar continuamente al proceso RCM para evitar que se realice sin contemplar las normas y reglamentaciones vigentes.

Los ingenieros de Apoyo: Su función principal es participar como experto técnico en el desarrollo de los talleres e implantación de la estrategia RCM; deben tener conocimientos en la aplicación de metodologías de confiabilidad y planeación de mantenimiento proactivo en su especialidad (equipo rotativo, reciprocante, estático, eléctrico, instrumentación, etc.). Las funciones específicas y básicas son las siguientes:

- Asegurar con el soporte a cargo el listado de los equipos que sean necesario para actualizar en el CMMS el árbol de jerarquía.
- Estructurar la estrategia de mantenimiento proactivo con base en las tareas definidas en el estudio de RCM en el archivo plano del CMMS para su posterior creación en el sistema de gestión de mantenimiento el respectivo plan de mantenimiento.
- Asegurar la elaboración de los procedimientos de mantenimiento, a través de los manuales de los equipos, mejores prácticas de mantenimiento y con el soporte técnico que tiene a su cargo.
- Asegurar el listados de repuestos requeridos en el plan de mantenimiento para establecer el stock óptimo de repuestos, con el fin de implementar en el sistema de gestión de inventarios los parámetros de reposición, niveles mínimo y máximo de inventarios para asegurar un nivel de servicio del 95% en los repuestos requeridos para la ejecución de la estrategia de RCM.

4. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Según la metodología de Mansarovar, durante el taller de RCM no se analizan fallas múltiples. Las fallas en la ejecución por procedimientos de mantenimiento, montaje y operación; la inadecuada especificación o selección de equipos no son tenidas en cuenta como modos de falla dominante en el análisis de RCM para determinar tareas de mantenimiento. En el evento de tener recurrencia en estas fallas, se definirá una acción para corregir su causa.

Se planea y programa oportunamente, el cálculo económico de las pérdidas por falla de un equipo y es estimado teniendo en cuenta sólo el tiempo empleado para su reparación ó cambio. Por lo tanto, las demoras en la planeación y programación de las tareas no están incluidas, pero si aumentarían la consecuencia económica de la falla.

RCM no analiza problemas de integridad mecánica, para lo cual la metodología apropiada es la inspección basada en el riesgo (RBI).

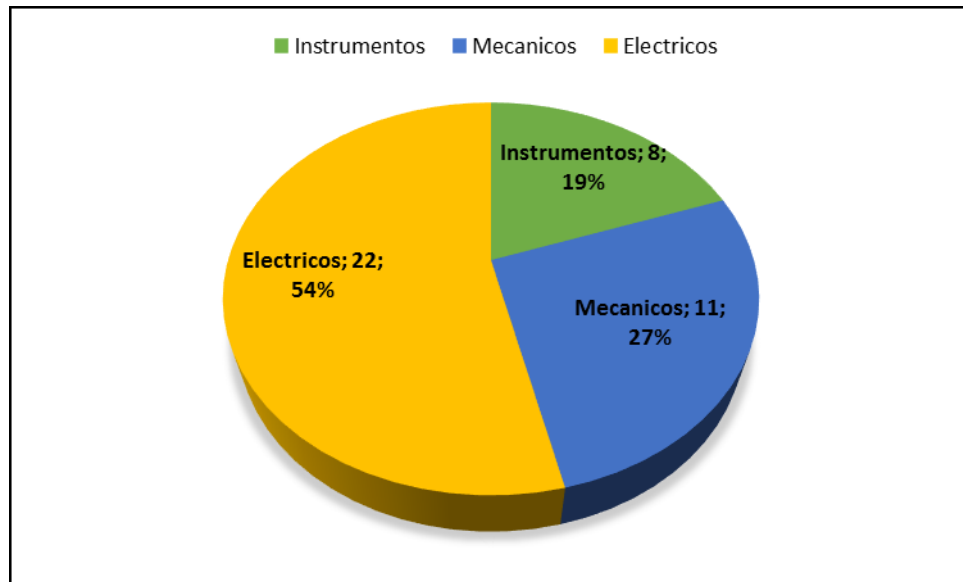
El escenario crítico para cada modo de falla es con base en “cero” mantenimiento. Se busca aumentar confiabilidad y la disminución de costos de mantenimiento.

4.1. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para el taller de RCM del sistema de almacenamiento y bombeo de crudo, se analizaron 41 ítems entre equipos y componentes según cada especialidad (Eléctrico, Instrumentos, Mecánicos) del sistema durante el estudio, ver gráfica 4 y anexo B.

Para el estudio del RCM se unificó la definición del análisis de las tareas de las bombas; los distintos modos de fallas que aplicaban para el motor y el reductor se realizaron junto con las bombas.

Gráfica 4. Distribución de equipos por disciplina.

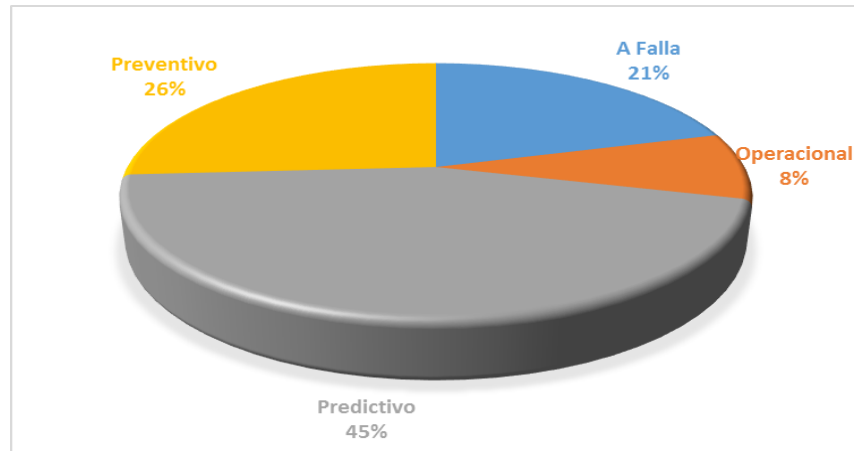


Fuente. Petrotiger-Mansarovar

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

En la Gráfica 5 se muestra la distribución por número de tareas de acuerdo a la estrategia planteada.

Gráfica 5. Distribución tareas de mantenimiento resultante del RCM



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

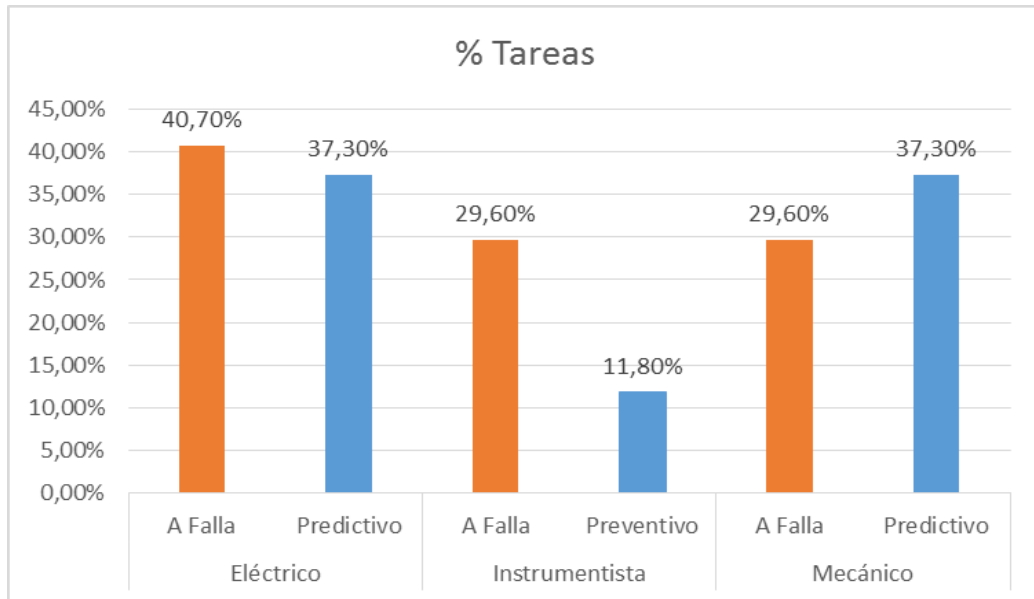
Analizando el resultado de la estrategia de mantenimiento para los equipos objeto del análisis, el 8% de las tareas corresponden a actividades del operador, las cuales tienen que asegurarse en las rondas estructuradas de los mismos. Estas tareas normalmente son las más costo-efectivas, ya que ayudan a mantener la función del equipo y a mitigar las consecuencias de las fallas o prevención de fallas tempranas no deseadas.

De las tareas ejecutadas por mantenimiento el 21% corresponde a una estrategia a falla y un 71% a una estrategia proactiva.

De la estrategia a falla, el 40,7% del volumen corresponde a la especialidad de Electricidad, seguido de Instrumentación y Mecánica con un 29,6%.

De la estrategia proactiva el mayor volumen corresponde a la especialidad eléctrica y Mecánica con el 37,3%, seguido de la especialidad de instrumentos con el 11,8%, en la gráfica 6 y en el anexo C se muestran el resumen de los resultados.

Gráfica 6. Distribución de tareas por disciplina más relevantes.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

El resultado y la lista detallada de las tareas de mantenimiento planeado, definidas para los equipos del sistema analizado se presentan en el anexo D y anexo E.

4.1.1. Riesgo estimado de la planta

Una metodología para definir las prioridades de los modos de fallas y sus tareas es un análisis de criticidad de equipos, el objetivo es identificar y jerarquizar los activos que tienen mayores riesgos de afectar de manera significativa la operación; se debe realizar un análisis semi-cuantitativo. El modelo para el cálculo de Criticidad seleccionado es basado en el método semi-cuantitativo MCR (MATRÍZ DE CRITICIDAD POR RIESGO). Este modelo es abordado en detalle en las técnicas de jerarquización de activos – Análisis de Criticidad.

El modelo propuesto está basado en la estimación del factor Riesgo a través de la siguiente expresión:

$$\text{Criticidad} = \text{Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Deteccion de falla}$$

$$\text{RPNr} = \text{Or} \times \text{Sr} \times \text{Dr}$$

En el caso de estudio se uso la letra S: Severidad (Consecuencia) y la letra O: Ocurrencia (Frecuencia de Falla).

Los valores de criticidad serán tomados de la Gráfica 7.

Gráfica 7. Matriz de Criticidad

		CONSECUENCIA				
		Seguridad	Medio Ambiente	Operativo	Costos de reparación	Imagen corporativa
ESCALA NIVEL DE AFECTACION	Catastrófico	Pérdida de vidas humanas	Daño causado sobre el medio es irreversible o irrecuperable. Fuga > 500 bl	Parada inmediata de toda la producción o Pérdida > 18.75% Prod. Diaria. Afecta en gran medida la satisfacción del cliente.	Mayor a US\$ 250.000	Afecta la imagen de la Organización hasta el mercado a nivel internacional. Impacto genera afectación humana a la comunidad.
	Crítico	Incapacidad parcial o Total	Los daños ocasionados sobre el medio son graves y requieren implementación de medidas de manejo. Fuga 51 a 500 bl. Es reversible entre 5 y 10 años	Parada de area de planta. Pérdida 7.5 - 18.75% Prod. Diaria. Impacto alto en la calidad del servicio	Entre US\$ 100.000 - 250.000	Afecta la imagen de la Organización hasta el mercado a nivel nacional. Impacto genera afectación salud a la comunidad.
	Grave	Accidente con tiempo perdido	Los daños ocasionados sobre el medio son leves y requieren medidas de manejo. Fuga 11 a 50 bl. Es reversible en menos de 12 meses	Impacta en niveles de producción o calidad. Pérdida 0.28 - 7.5% Prod. Diaria	Entre US\$ 10.000 - 100.000	Afecta la imagen de la Organización en el mercado a nivel regional o local. Pérdida de medios de trabajo o productivos de la comunidad.
	Moderado	Tratamiento Medico	Afectación causada sobre el medio es mínimo. Fuga < 10bl. Es controlable con limpieza o contención local. Reversible en menos de un mes	Impacta en niveles de producción o calidad. Pérdida 0.20 - 0.28% Prod. Diaria	Entre US\$ 2.500 - 10.000	Afecta la imagen de la Organización Internamente o a nivel de inversionistas. Impacto que genera reclamos ante MECL por prácticas o actividades que puedan afectar el bienestar de la comunidad.
	Leve	Primeros Auxilios	Fuga leve (<1bl)	Pérdida < 0.20% Prod. Diaria	Menor a US\$ 2.500	No hay impacto que afecte la imagen de la Organización. No hay impacto a la comunidad.

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

El procedimiento para definir la criticidad es el siguiente:

Calificación, Detección y Frecuencia

LEVE: 1

FRECUENCIA > 3 AÑO: 1

MODERADO: 2

FRECUENCIA 1 A 3 AÑOS: 2

GRAVE: 3

FRECUENCIA ANUAL: 3

CRITICO: 4

FRECUENCIA SEMESTRAL: 4

CATASTROFICO: 5

FRECUENCIA MENSUAL: 5

Los criterios para evaluar la consecuencia son cinco; Seguridad, Medio Ambiente, Operativo, Costos Reparacion e Imagen corporativa, de igual forma se califican

de 1 a 5, en la anexo F, se muestra como se hace la valoración por tipo de consecuencia.

El resultado de la criticidad se define en tres niveles de valores tal como Alta, Moderada y Baja criticidad, el valor de la escala se define en la siguiente tabla:

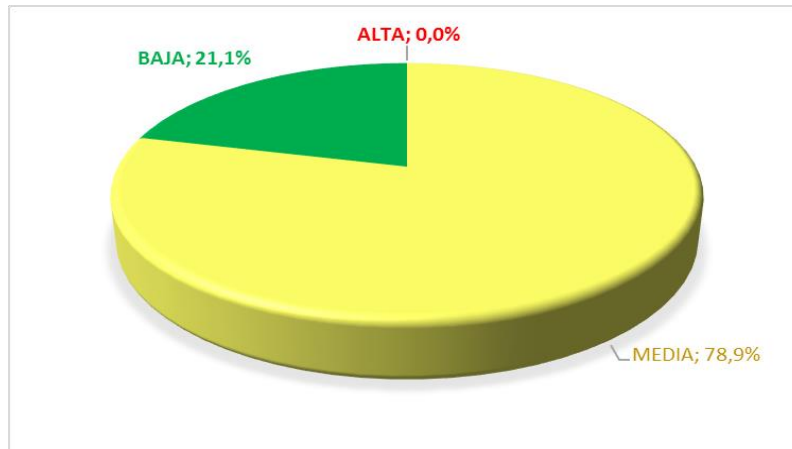
Tabla 3. Definición de Criticidad.

AC	90 - 100	ALTA CRITICIDAD	Nivel de criticidad "ALTA", dadas las características del activo no puede reducirse el nivel de riesgo frente a fallas mayores, se deben tomar medidas de control obligatorias combinando diferentes estrategias para prevenir o mitigar sus efectos.
MC	16 - 90	CRITICIDAD MODERADA	Nivel de criticidad "MODERADA", dadas las características del activo puede reducirse el nivel de riesgo frente a fallas mayores, se pueden tomar medidas de control para prevenir o mitigar efectos. Puede hacerse uso de una sola estrategia.
BC	0 - 16	BAJA CRITICIDAD	Nivel de criticidad "BAJA", las fallas en el activo podrían generar efectos con bajas consecuencias, se debe observar su comportamiento para controlar sus efectos. Puede considerarse la operación hasta la falla.

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Para visualizar la distribución de criticidad de los Sistemas de almacenamiento y bombeo de crudo de campo Jazmín de MECL, se muestran en la gráfica 8, donde se utilizó la matriz de riesgos de MECL, esta gráfica se obtuvo a partir del anexo G.analisis FMEA.

Gráfica 8. Distribución criticidad de equipos RCM.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Se puede observar que ningún equipo dio criticidad alta, el 78.9 % es de criticidad media, y 21,1% baja, esto se da debido a la configuración del sistema de bombeo, cada una de las etapas del proceso tiene presente una unidad de bombeo en standby.

Para definir o calcular la criticidad se utilizó el modelo del estándar FMEA en el cual se multiplica la ocurrencia con la severidad y la valoración de la detección del modo de falla.

En detalle, anexo G, se puede encontrar el análisis FMEA que se realizó con el grupo conformado para el taller de RCM de la empresa, partiendo de la base que los equipos comparten ó tienen un mismo fin que es bombear.

4.1.2. Implementación del RCM

Para implementar en el CMMS SAP las mejores prácticas de planeación & programación, gestión de inventarios, administración de herramientas y metodologías de confiabilidad en todo los procesos, para ello se requiere:

- Reevaluar la estrategia de mantenimiento actual implementada en el CMMS SAP, con el fin de alinearla a un plan integral de mantenimiento asociada a todos los equipos de los sistemas de producción de Mansarovar, basados en la metodología de RCM.
- Optimizar el stock de repuestos (RCS) requeridos para ejecutar el plan de RCM.
- Realizar la Taxonomía y actualizar los árboles de equipos que está disponible en el CMMS SAP.
- Revisar y/o recolectar en campo la información de los equipos que se requiera para la revalidación de los estudios de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).
- Crear los equipos que sea necesario para actualizar en el CMMS SAP el árbol de jerarquía, elaborar los data-sheet para todos los equipos.
- Realizar el plan de tareas de mantenimiento encaminados a minimizar impactos de los modos de falla y generar las acciones que posibiliten los cambios en cuanto a tecnología de diseño o sustitución de equipos.
- Estructurar la estrategia de mantenimiento proactivo con base en las tareas definidas en el estudio de RCM y crear en el CMMS SAP.
- Establecer actividades de mantenimiento básico, de equipos a operaciones.
- Estructurar las tareas de mantenimiento que conlleven al incrementó de niveles de confiabilidad y disponibilidad de la red de media tensión.
- Elaboración de los procedimientos de mantenimiento, además de contener los pasos de tipo técnico para ejecutar las tareas y los criterios de calidad, debe incluir los aspectos de HSE; para ello se debe identificar y valorar los aspectos, impactos, peligros y riesgos significativos, es decir aquellos cuya valoración de criticidad sea de riesgo medio, alto y muy alto.
- Elaborar programa de trabajo, documentar y elaborar informe de resultados de cada estudio realizado para los sistemas analizados.
- Establecer el stock óptimo repuestos (RCS), implementar en SAP los parámetros de reposición, niveles mínimos y máximo de inventarios para

asegurar un nivel de servicio de 95% en los repuestos requeridos para la ejecución de la estrategia de RCM.

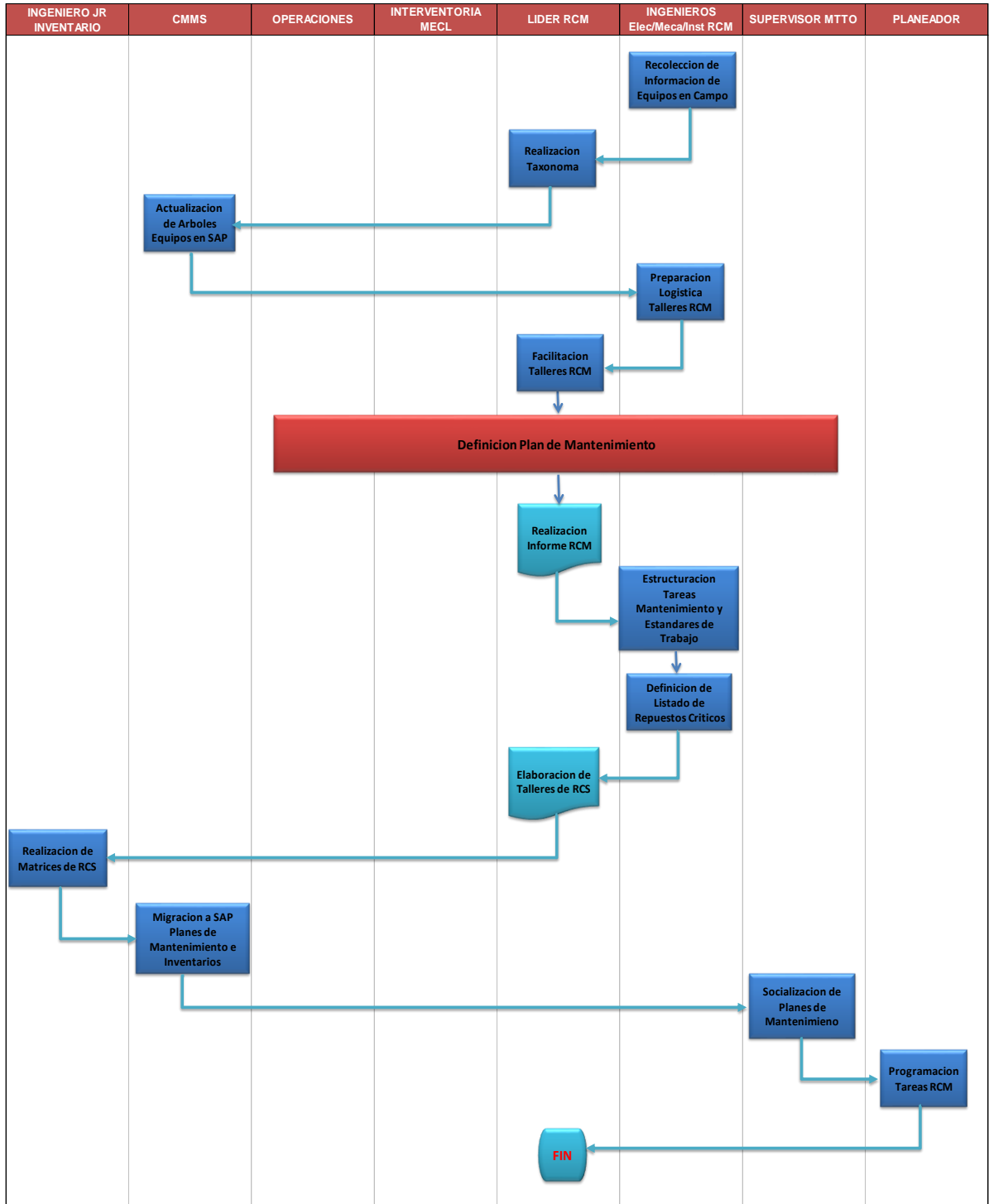
El cronograma de trabajo necesario para implementar el RCM es el siguiente:

Tabla 4. PDT Implementación RCM.

Nombre de tarea	Duración
RCM BOMBEO CRUDO	50 días
Taxonomía Equipos	7 días
Recolección información Eq. Mecánico, Eléctrico, e Instrumentos	5 días
Actualización y Organización Arboles de Equipos SAP	1 día
Elaboración Archivos de Control de Equipos RCM	1 día
Taller de análisis RCM	11 días
Preparación logística	1 día
Taller análisis de Equipos RCM (Brainstorming)	14 días
Completación análisis	1 día
Realización informe resultados	1 día
Presentación de resultados	1 día
Agrupar tareas para definir alcance de Ots y procedimiento	3 días
Agrupar tareas para definir alcances de Ots y procedimiento	1 día
Emitir documento final de agrupación tareas del plan de Mantenimiento	1 día
Elaboración de las Plantillas para cargue de información en SAP	1 día
Planeación Estrategia Mantenimiento en SAP	20 días
Realización de Procedimientos y Check List de Trabajo	7 días
Creación Tareas Mantenimiento en SAP (CMMS de Mansarovar)	1 día
Cargue de Procedimiento en SAP (CMMS de Mansarovar)	1 día
Definir los repuestos requeridos y asociar a la tarea de mantenimiento	7 días
Actualizar en SAP la catalogación de los repuestos sin código (CMMS de Mansarovar)	1 día
Establecer consumos y tiempos de reposición por ítem, y criticidad	1 día
Revisar y/o establecer algoritmos de reposición de acuerdo con la estrategia de reposición para los repuestos de la demanda solicitada.	1 día
Coordinar con programador inicio de disparo de las Tareas de Mantenimiento	1 día

Además del plan de trabajo de implementación se debe contar con el flujograma, Figura 7.

Figura 7. Flujoograma realización RCM.



Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Como se puede observar, en la realización de los planes de mantenimiento basado en confiabilidad no solo basta con definir las tareas de mantenimiento en los talleres, se debe hacer una migración y actualización de los planes a los CMMS en este caso SAP lo cual demanda una cantidad de recursos y horas hombres que son descritas en el PDT 50 días en total.

Los procedimientos y los listados de repuestos aplicados a las tareas de mantenimiento de tipo preventivo ó a falla se deben hacer de tal forma que sean de fácil entendimiento para todo el personal involucrado, además se debe brindar capacitación al personal técnico así mismo se deben adquirir nuevas herramientas necesarias para la ejecución de las nuevas tareas propuesta en el RCM.

BIBLIOGRAFÍA

MOUBRAY, John. RCM Reliability Centred Maintenance. New York: Industrial Press, 1992.

NOWLAN, Stanley. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S Department of Commerce. 1978. P.2.

Norma SAEJ1012, Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Society of Automotive Engineers, 1999 30p.

ANEXOS

Anexo A. Función de los Equipos.

Ítem	Función
LIT-0201J	Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia
SV-0201J	Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque
PU-0204AJ	Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo
PU-0204BJ	Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo
PU-0204CJ	Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo
LIT-0202J	Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia
PU-0201AJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0201BJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
LSHH-0202J	Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia
LIT-0203J	Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia
SV-0204J	Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque
SV-0207J	Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque
SV-0208J	Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque
PU-0202AJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0202BJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0202CJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0203AJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0203BJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes
PU-0203CJ	Transferir crudo del módulo de Jazmin a Clientes

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Anexo B. Lista de equipos Analizados RCM.

Ítem	Descripción del Ítem
LIT-0201J	TRASMISOR INDICADOR NIVEL TK 1 CRUDO 50000 BLS
SV-0201J	VALVULA PRESION VACIO #1 DEL TK 1 CRUDO 50000 BLS
PU-0204AJ	BOMBA DE ENGRANAJE 4ª
R-0204AJ	REDUCTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4A
M-0204AJ	MOTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4ª
PU-0201AJ	BOMBA DE TORNILLO 1A
R-0201AJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 1A
M-0201AJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 1A
LIT-0202J	TRANSMISOR INDICADOR NIVEL TK 2 CRUDO 50000 BLS
LSHH-0202J	SWITCH NIVEL ALTO ALTO TK 3 CRUDO 30000 BLS
LIT-0203J	TRANSMISOR INDICADOR NIVEL TK 4 CRUDO 28800 BLS
SV-0204J	VALVULA DE PRESION VACIO TK 1 CRUDO 50000 BLS
SV-0207J	VALVULA DE PRESION VACIO TK 3 CRUDO 30000 BLS
SV-0208J	VALVULA PRESION VACIO DEL TK 4 CRUDO 28800 BLS
PU-0204BJ	BOMBA DE ENGRANAJE 4B
R-0204BJ	REDUCTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4B
M-0204BJ	MOTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4B
PU-0204CJ	BOMBA DE ENGRANAJE 4C
R-0204CJ	REDUCTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4C
M-0204CJ	MOTOR BOMBA DE ENGRANAJE 4C
PU-0201BJ	BOMBA DE TORNILLO 1B
R-0201BJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 1B
M-0201BJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 1B
PU-0202AJ	BOMBA DE TORNILLO 2A
R-0202AJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 2A
M-0202AJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 2A
PU-0202CJ	BOMBA DE TRONILLO 2C
R-0202CJ	REDUCTOR BOMBA DE TRONILLO 2C
M-0202CJ	MOTOR BOMBA DE TRONILLO 2C
PU-0202BJ	BOMBA DE TORNILLO 2B
R-0202BJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 2B
M-0202BJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 2B
PU-0203AJ	BOMBA DE TORNILLO 3A
R-0203AJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 3A
M-0203AJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 3A
PU-0203BJ	BOMBA DE TORNILLO 3B
R-0203BJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 3B

Ítem	Descripción del Ítem
M-0203BJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 3B
PU-0203CJ	BOMBA DE TORNILLO 3C
R-0203CJ	REDUCTOR BOMBA DE TORNILLO 3C
M-0203CJ	MOTOR BOMBA DE TORNILLO 3C

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Anexo C. Distribución de tareas por disciplina resultante del RCM.

Disciplina	Mantenimiento	Total Tarea	% Tareas
CBM	Predictivo	11	18,6%
Eléctrico	A Falla	11	40,7%
	Predictivo	22	37,3%
	Preventivo	11	32,4%
Instrumentista	A Falla	8	29,6%
	Preventivo	4	11,8%
Mecánico	A Falla	8	29,6%
	Predictivo	22	37,3%
	Preventivo	19	55,9%
Operador	Operacional	11	100,0%

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Anexo D. Tareas de mantenimiento del RCM.

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Verificación de Calibración	Preventivo	1	Año	Instrumentista		1 Hora
Verificación de Calibración	Preventivo	1	Año	Instrumentista		1 Hora
Verificación de Calibración	Preventivo	1	Año	Instrumentista		1 Hora
Verificación de Calibración	Preventivo	1	Año	Instrumentista		1 Hora
Cambio Transmisor	A Falla		Hr	Instrumentista	Transmisor	1 Hora
Cambio Transmisor	A Falla		Hr	Instrumentista	Transmisor	1 Hora
Cambio Transmisor	A Falla		Hr	Instrumentista	Transmisor	1 Hora
Cambio Transmisor	A Falla		Hr	Instrumentista	Transmisor	1 Hora
Prueba Funcional	Predictivo	1	Hr	Operador		3 Hora
Prueba Funcional	Predictivo	1	Hr	Operador		3 Hora
Prueba Funcional	Predictivo	1	Hr	Operador		3 Hora
Prueba Funcional	Predictivo	1	Hr	Operador		3 Hora
CAMBIO DE KIT O COMPONENTES DE LA VALVULA	A Falla		Hr	Instrumentista	Kit Válvula Control	3 Hora
CAMBIO DE KIT O COMPONENTES DE LA VALVULA	A Falla		Hr	Instrumentista	Kit Válvula Control	3 Hora
CAMBIO DE KIT O COMPONENTES DE LA VALVULA	A Falla		Hr	Instrumentista	Kit Válvula Control	3 Hora
CAMBIO DE KIT O COMPONENTES DE LA VALVULA	A Falla		Hr	Instrumentista	Kit Válvula Control	3 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Engrase de la bomba	Preventivo	5	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrase de la bomba	Preventivo	5	Mes	Mecánico		1 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Engrase de la bomba	Preventivo	5	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Medición Aislamiento del Motor	Predictivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Bobinado del Motor	Predictivo		Hr	Eléctrico	Bobinador del Motor	32 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Cambio componentes del tablero	A Falla		Hr	Eléctrico	Breaker, Contactor, Relé	16 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Limpieza y toma de parámetros del tablero	Preventivo	6	Mes	Eléctrico		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Vibraciones						
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Monitoreo de Vibraciones	Predictivo		Hr	CBM		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Prueba Funcional Bomba	Predictivo	6	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Engrasar rodamiento	Preventivo	3	Mes	Mecánico		1 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Cambio de internos de la bomba	Predictivo		Hr	Mecánico	Kit bomba engranaje	16 Hora
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Mantenimiento Primario	Operacional	15	Día	Operador		10 Minuto
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora
Limpieza de Filtros	Preventivo	3	Mes	Mecánico		2 Hora

Descripción de la tarea	Tipo	Intervalo asignado	Intervalo asignado Unidad	Equipo	Depósito de Repuestos	Duración Media de Tarea
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora
Cambio Filtros	A Falla		Hr	Mecánico	Filtro	6 Hora

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Anexo E. Tareas de mantenimiento del RCM asociadas a los Equipos.

Ítem	Descripción de la tarea	Intervalo	Modo Falla
LIT-0201J	Calibración Transmisor	1 Año	Daño del transmisor
LIT-0202J	Calibración Transmisor	1 Año	Daño del transmisor
LSHH-0202J	Calibración Transmisor	1 Año	Daño del transmisor
LIT-0203J	Calibración Transmisor	1 Año	Daño del transmisor
LIT-0201J	Cambio Transmisor		Daño del transmisor
LIT-0202J	Cambio Transmisor		Daño del transmisor
LSHH-0202J	Cambio Transmisor		Daño del transmisor
LIT-0203J	Cambio Transmisor		Daño del transmisor
SV-0201J	Prueba Funcional	1 Hr	Daño de la Válvula
SV-0204J	Prueba Funcional	1 Hr	Daño de la Válvula
SV-0207J	Prueba Funcional	1 Hr	Daño de la Válvula
SV-0208J	Prueba Funcional	1 Hr	Daño de la Válvula
SV-0201J	Cambio de kit o componentes de la válvula		Daño de la Válvula
SV-0204J	Cambio de kit o componentes de la válvula		Daño de la Válvula
SV-0207J	Cambio de kit o componentes de la válvula		Daño de la Válvula
SV-0208J	Cambio de kit o componentes de la válvula		Daño de la Válvula
PU-0204AJ	Monitoreo de Vibraciones		Daño de interno
PU-0204BJ	Monitoreo de Vibraciones		Daño de interno
PU-0204CJ	Monitoreo de Vibraciones		Daño de interno
PU-0204AJ	Engrase de la bomba	5 Lun	Daño de interno
PU-0204BJ	Engrase de la bomba	5 Lun	Daño de interno
PU-0204CJ	Engrase de la bomba	5 Lun	Daño de interno
PU-0204AJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Daño de interno
PU-0204BJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Daño de interno
PU-0204CJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Daño de interno
PU-0204AJ	Cambio de internos de la bomba		Daño de interno
PU-0204BJ	Cambio de internos de la bomba		Daño de interno
PU-0204CJ	Cambio de internos de la bomba		Daño de interno
PU-0204AJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Daño de interno
PU-0204BJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Daño de interno
PU-0204CJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Daño de interno
PU-0204AJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0201AJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0204BJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0204CJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0201BJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0202AJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0202CJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0202BJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0203AJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0203BJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0203CJ	Medición Aislamiento del Motor	6 Lun	Perdida de Aislamiento
PU-0204AJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0201AJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0204BJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento

Ítem	Descripción de la tarea	Intervalo	Modo Falla
PU-0204CJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0201BJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0202AJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0202CJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0202BJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0203AJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0203BJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0203CJ	Bobinado del Motor		Perdida de Aislamiento
PU-0204AJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0201AJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0204BJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0204CJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0201BJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202AJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202CJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202BJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203AJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203BJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203CJ	Cambio componentes del tablero		Daño control y protecciones eléctricas
PU-0204AJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0201AJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0204BJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0204CJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0201BJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202AJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202CJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0202BJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203AJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203BJ	Limpieza y toma de parámetros del tablero	6 Lun	Daño control y protecciones eléctricas
PU-0203CJ	Limpieza y toma de parámetros del	6 Lun	Daño control y protecciones

Ítem	Descripción de la tarea	Intervalo	Modo Falla
	tablero		eléctricas
PU-0201AJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0201BJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0202AJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0202CJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0202BJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0203AJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0203BJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0203CJ	Monitoreo de Vibraciones		Falla de internos
PU-0201AJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0201BJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0202AJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0202CJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0202BJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0203AJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0203BJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0203CJ	Prueba Funcional Bomba	6 Lun	Falla de internos
PU-0201AJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0201BJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0202AJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0202CJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0202BJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0203AJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0203BJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0203CJ	Engrasar rodamiento	3 Lun	Falla de internos
PU-0201AJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0201BJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0202AJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0202CJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0202BJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0203AJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0203BJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0203CJ	Cambio de internos de la bomba		Falla de internos
PU-0201AJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0201BJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0202AJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0202CJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0202BJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0203AJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0203BJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0203CJ	Mantenimiento Primario	15 Día	Falla de internos
PU-0201AJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0201BJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0202AJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0202CJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0202BJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0203AJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0203BJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0203CJ	Limpieza de Filtros	3 Lun	Taponamiento Filtro succión
PU-0201AJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión

Ítem	Descripción de la tarea	Intervalo	Modo Falla
PU-0201BJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0202AJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0202CJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0202BJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0203AJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0203BJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión
PU-0203CJ	Cambio Filtros		Taponamiento Filtro succión

Fuente. Petrotiger-Mansarovar

Anexo F. Guía de Análisis: Explicación y ejemplos de los criterios de evaluación.

ítem	CRITERIO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
1	Seguridad	Salud Y Seguridad	
1,1	Dispositivo Critico Para la Seguridad	1. ¿Este equipo es indispensable para conservar la integridad física de las personas en caso de emergencia? 2. ¿La función que cumple el equipo, es de proteger la vida de las personas?	Generación de energía eléctrica (planta de respaldo), Sistema Contraincendios, Sistema de Alarmas de seguridad (Cornetas, Altavoces, Detectores de Humo, etc.),
1,2	Peligro Potencial Personal	1.¿Cuando el equipo se encuentre en funcionamiento, puede afectar la salud de las personas? ¿Qué tan grave pueden ser?	Red Eléctrica: En funcionamiento las líneas de Tensión pueden ocasionar una descarga eléctrica tan grave que la persona se puede Morir. // CCM (Centro de control de Motores)
1,3	Severidad Del Peligro Personal	1.¿En Caso de que Falle catastróficamente el equipo, afectará la salud de las personas? 2. ¿Cuáles son las consecuencias que puede llegar a tener el equipo si llegase a fallar?	Tubería de Gas con fuga puede producir una explosión con consecuencias de Fatalidad.
1,4	Requerimientos Regulatorios de Seguridad	1.¿El gobierno ha implementado normas de Seguridad obligatorias para poder operar este Sistema o Equipo?	Calderas, Chimeneas, Sistema Contraincendios, Subestación Eléctrica (Retie), Instalaciones Eléctricas.
1,5	Fuego posible explosión	1.¿Debido a sus condiciones de operación, puede generar fuego o explosión en caso de Falla? 2.¿Ha sucedido alguna vez que este sistema o equipo halla causado un incendio o una explosión, en su operación normal? ¿Puede llegar a ocurrir el evento? ¿Se sabe de algún caso en otra industria?	Los tanques que almacenan crudo tienen gases explosivos que pueden llegar a ocasionar fatalidades.
2	Ambiental	Integridad Ambiental	
2,1	Fugas Derrames materiales Peligrosos	1. ¿Debido a sus condiciones de operación, puede generar derrames de sustancias peligrosas? 2. ¿En caso de falla el equipo puede causar efectos nocivos al medio ambiente, por causa de fuga o derrame de materiales peligrosos ? (Exceptuar Crudo de Petróleo) Externamente Reportable: Derrame Mayor a 200lt para líquidos o 300kg para sólidos. (Fuente: Guía a respuestas a casos de Emergencias	Clasificación de sustancias peligrosas • Explosivas: Sustancias muy sensibles a la llama, al calor y a la fricción (choques, roces). Ejemplos: Gas natural (metano), gas de garrafas (propano, butano), partículas de polvo de semillas. • Corrosivas: Sustancias que en contacto con los materiales de cañerías, equipos y con el tejido vivo (piel, mucosas) ejercen una acción destructiva.

ítem	CRITERIO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
		<p>Pag 399) // Afectación de flora y Fauna, Alteración de las propiedades del Agua, Afectación de propiedades del suelo, Generación de molestias a la población</p> <p>Internamente Reportable: Derrame Menor a 199 lts o 299 kg. de material peligroso.</p> <p>Fuga No Reportable: Derrame de bajas proporciones.</p> <p>Ninguno : El Sistema o equipo no genera o funciona con Sustancias peligrosas</p>	<p>Ejemplos: Soda cáustica, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, cloruro de hidrógeno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oxidantes: Sustancias que en contacto con compuestos orgánicos o cualquier sustancia oxidable pueden provocar incendio o explosión. Ejemplos: Peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), ácido nítrico, oxígeno. • Tóxicas: Son aquellas sustancias químicas que, en determinadas concentraciones, pueden dañar en forma inmediata la salud de las personas afectadas, pudiendo incluso producir la muerte. Ejemplos: Monóxido de carbono. • Peligrosas para el medio ambiente: Son aquellas sustancias químicas que pueden producir daño inmediato, mediato o retardado al medio ambiente (que comprende comunidad y biodiversidad de las especies animales y vegetales). Ejemplos: Bromuro de metilo, freones.
2,2	Fugas / Derrames de Crudo	¿Debido a sus condiciones de operación, este equipo o sistema, puede generar derrames de crudo? Evalúe cuantos barriles puede llegar a derramar y clasifíquelo en los Rangos sugeridos.	Una tubería que transporta Crudo, se puede sobre-presionar y generar derrame con FUGA MAYOR (>10 BL)
2,3	Emisión de Gases a la atmosfera	1.¿Su diseño o funcionamiento genera gases contaminantes? 2.¿Este Sistema o equipo en funcionamiento genera Emisiones de Gases a la atmosfera? ¿En que medida Alto, Medio, Bajo, Ninguno?	Una Tea produce contantemente gases contaminantes a la atmosfera, por lo cual lo calificaríamos con un Nivel Alto.
2,4	Requerimientos regulatorios Ambientales	1.¿El gobierno ha implementado una legislación ambiental para poder operar este Sistema o Equipo?	Calderas, Chimeneas
3	Operativo	Impacto en la producción del sistema	
3,1	Downtime del sistema (Tiempo de Paro)	1. ¿Si este equipo falla, en que rango de tiempo afectará la producción del sistema al cual contribuye? 2. ¿Cómo afecta (en tiempo) a los sistemas antecesores (equipos padre)? (>24 HORAS, 8 - 24	Si fallan los generador del Modulo, estos afectarán el tiempo de producción de Crudo, en un tiempo mayor a 24 horas.

ítem	CRITERIO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
		HORAS, <8 HORAS, 0 HORAS)	
3,2	Reducción de capacidad de producción (Crudo)	1. ¿Si el Equipo Falla, en que % se reduce la producción del proceso general (CRUDO) al cual contribuye? Clasificar según rangos establecidos (0%, 25%, 50%, 75%, 100%)	1. Si Falla la inyección Química, La producción de Crudo no se afecta. 2. Si Fallan los generadores se afectará la producción de crudo en un 25%
3,3	Reducción de capacidad del sistema	1.¿La reducción de producción en el sistema, como afecta al conjunto al cual pertenece? 2.¿Cómo afecta (en capacidad) a los sistemas antecesores (equipos padre)?	1. Si Falla la inyección Química, El proceso de tratamiento de crudo se afecta en un 25% aproximadamente. 2. Si falla el generador del Modulo, este afectará aproximadamente en un 25% (3/12) de la producción de vapor del sistema general. Aproximando a los rangos establecidos, se coloca 25%.
3,4	Área Afectada (Grupos de Sistemas)	1.¿Si falla este equipo, que tanto afecta la producción general del Campo? Clasificar el rango de áreas afectadas por este Paro.	Si falla el sistema de Distribución eléctrica se genera una Parada de producción total en el Campo. Si falla el sistema de Almacenamiento de crudo se ocasiona una parada de todos los pozos Inyectores, ocasionando una Parada Total.
4	Costos Reparacion	Costo de Mantenimiento	
4,1	Régimen de Operación del Equipo	¿Como es la operación común de este equipo o Sistema? ¿Continua, intermitente o es un equipo Standby?	La bomba Principal del sistema de espuma del Sistema contra Incendios, se clasifica como Intermitente.
4,2	Costos de Mantenimiento	¿En que rango podemos clasificar el costo del Mantenimiento de este equipo o sistema? ¿Cuál es el costo de mantenimiento? Incluye costo horas-hombre, repuestos y materiales.	Por ejemplo si Los generadores de vapor del modulo aproximadamente tienen un costo de mantenimiento Anual de USD\$15.000, es decir como hay 3 generadores, el valor es de USD\$ 45.000 Dólares anuales. Se clasifica como un Valor ponderado de 12.
4,3	Confiabilidad del Equipo	Rango en el que se puede clasificar su probabilidad de falla. Promedio de los últimos 6 meses Aproximadamente. Si no se tiene calculo de referencia, consultar el histórico de fallas. Confiabilidad: Se define como la capacidad de un equipo o sistema para cumplir ciertas funciones requeridas bajo unas condiciones dadas en un periodo de tiempo establecido.	El promedio de confiabilidad de los generadores del modulo de hace es de 99.3%, es decir se clasifica como > 95 con un ponderado de 8. $R = \frac{THP - Tnp}{THP} [\%]$ R: Confiabilidad THP: Total horas trabajadas durante el periodo de tiempo analizado Tnp: Total horas fuera de servicio por eventos no planeados

ítem	CRITERIO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
			n: Número total de equipos en el sistema.
4,4	Disponibilidad de Repuestos	1.¿Su repuesto está disponible de inmediato, o debemos esperar varios días para adquirirlo? (Repuesto causa paro del equipo) 2.Repuesto del equipo o sistema que más puede causar tiempo de consecución, clasificarlo según su disponibilidad: inmediata, menor a 8 días, entre 8 y 15 días, entre 15 y 30 días, Mayor a 30 días.	Por ejemplo si un equipo o sistema tiene repuestos que deben ser importados, normalmente se clasifica como mayor a 30 días, teniendo en cuenta tiempos de legalización.
4,5	Tiempo de reparación MTTR	¿Cuál es el tiempo de paro promedio ocasionado al equipo que tardan los técnicos de mantenimiento realizando las reparaciones típicas? MTTR: Tiempo medio de Reparación: Es el tiempo promedio para restaurar un equipo a una condición específica. Equivale al tiempo total gastado desarrollando todas las reparaciones de mantenimiento correctivo, dividido por el número total de esas reparaciones.	Cuando se saca de servicio los generadores de energía del modulo, normalmente se ocasionan paros por mantenimiento entre 1 y 7 días, por lo cual lo ponderamos con un valor de 4 $MTTR = \frac{T_{falla}}{\# fallas}$
5	Calidad / Seguridad del Proceso	Servicio al Cliente	
5,1	Reclamo Posible del Cliente	¿El cliente puede verse afectado por el impacto que el equipo haya tenido en la producción y la calidad misma? (SI o NO)	Si fallan los trenes de tratamiento de crudo, puede afectarse la calidad del producto, generando un posible reclamo del cliente. Por lo cual se clasifica como un SI , con un ponderado de 20 .
5,2	Impacto Potencial (Calidad)	¿Qué tan grave puede ser el impacto o consecuencia sobre la calidad del proceso o producto? (Alto, medio Bajo o ninguno)	Si falla el sistema de Contra incendio la consecuencia sobre la calidad del proceso es Ninguna se califica con un valor de 0 .
5,3	Severidad Potencial (Seguridad del proceso)	¿Qué tan grave puede ser el impacto sobre la seguridad del proceso? (Alto, medio Bajo o ninguno) Nivel o jerarquía del impacto referente a Seguridad industrial	Si falla el sistema contraincendios la consecuencia sobre la seguridad del proceso es Alta , se clasifica con un Valor de 10 .
5,4	Punto Crítico de Control	Existe una operación, práctica, procedimiento, fase, o etapa en la que es posible intervenir sobre uno o más factores para eliminar, evitar o minimizar un riesgo? (SI o NO)	En los tanques de almacenamiento de despacho, existen medidores de nivel que impiden el riesgo que derrames.

Anexo G. Análisis FMEA.

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función							
1 - SISTEMA BOMBEO DE CRUDO							
1.1 - ALMACENAMIENTO DE CRUDO JAZMIN							
1.1.1 - TK0201J							
1.1.1.1 - LIT-0201J							
Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia	No Transmite el Nivel del Tanque a la bomba transferencia	El sistema de control no sensa el nivel del tanque, posible desbordamiento del nivel	DAÑO DEL TRANSMISOR	5	3	5	75
1.1.1.2 - SV-0201J							
Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	No Alivia las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	Se afecta la integridad del tanque, posible fuga crudo, afectación ambiental	Daño de la Válvula	4	1	3	12
1.1.2 - TK0202J							
1.1.2.1 - LIT-0202J							
Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia	No Transmite el Nivel del Tanque a la bomba transferencia	El sistema de control no sensa el nivel del tanque, posible desbordamiento del nivel	DAÑO DEL TRANSMISOR	5	3	5	75
1.1.2.2 - SV-0204J							
Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	No Alivia las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	Se afecta la integridad del tanque, posible fuga crudo, afectación ambiental	Daño de la Válvula	4	1	3	12
1.1.3 - TK0203J							
1.1.3.1 - LSHH-0202J							

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función							
Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia	No Transmite el Nivel del Tanque a la bomba transferencia	El sistema de control no sensa el nivel del tanque, posible desbordamiento del nivel	DAÑO DEL TRANSMISOR	5	3	5	75
1.1.3.2 - SV-0207J							
Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	No Alivia las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	Se afecta la integridad del tanque, posible fuga crudo, afectación ambiental	Daño de la Válvula	4	1	3	12
1.1.4 - TK0204J							
1.1.4.1 - LIT-0203J							
Transmitir Nivel del Tanque a la bomba transferencia	No Transmite el Nivel del Tanque a la bomba transferencia	El sistema de control no sensa el nivel del tanque, posible desbordamiento del nivel	DAÑO DEL TRANSMISOR	5	3	5	75
1.1.4.2 - SV-0208J							
Aliviar las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	No Alivia las sobrepresiones en el tanque de almacenamiento para evitar derrames o roturas de la integridad del tanque	Se afecta la integridad del tanque, posible fuga crudo, afectación ambiental	Daño de la Válvula	4	1	3	12
1.2 - BOMBAS BOOSTER							
1.2.1 - PU-0204AJ							
Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No Suministra presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No se puede despachar crudo de los tanques del módulo 2	DAÑO DE INTERNO	5	3	6	90
		Perdida de aislamiento, motor para la unidad de	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función							
		bombeo					
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
1.2.2 - PU-0204BJ							
Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No Suministra presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No se puede despachar crudo de los tanques del módulo 2	DAÑO DE INTERNO	5	3	6	90
		Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
1.2.3 - PU-0204CJ							
Suministrar presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No Suministra presión y crudo a las bombas de despacho de crudo	No se puede despachar crudo de los tanques del módulo 2	DAÑO DE INTERNO	5	3	6	90
		Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
1.3 - PUMPS DESPACHO CRUDO CARGADERO							
1.3.1 - PU-0201AJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere crudo del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas	Falla de internos	2	2	3	12

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función							
		standby					
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72
1.3.2 - PU-0201BJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72
1.4 - PUMPS DESPACHO CRUDO OLEODUCTO							
1.4.1 - PU-0202AJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función							
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72
1.4.2 - PU-0202BJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72
1.4.3 - PU-0202CJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función		bombas stand by					
1.5 - PUMPS DESPACHO CRUDO VASCONIA							
1.5.1 - PU-0203AJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72
1.5.2 - PU-0203BJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72

Ítem	Falla Funcional	Efecto	Modo de Falla				
				Sr	Or	Dr	RPNr
Función		bombas stand by					
1.5.3 - PU-0203CJ							
Transferir crudo del módulo de Jazmín a Clientes	No Transfiere crudo del módulo de Jazmín a Clientes	Perdida de aislamiento, motor para la unidad de bombeo	Perdida de Aislamiento	4	2	5	40
		No arranca la unidad de bombeo	Daño control y protecciones eléctricas	4	1	5	20
		Pérdida total de la unidad de bombeo, entra en operación bombas standby	Falla de internos	2	2	3	12
		Taponamiento succión de la bomba, para de la unidad, entra en funcionamiento bombas stand by	Taponamiento Filtro succión	3	4	6	72

Fuente. Petrotiger-Mansarovar