

OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO
RECOLECTOR DE CRUDO VIKOMA KOMARA STAR 20 MEDIANTE LA
METODOLOGÍA RCM

CARLOS ORLANDO RODRÍGUEZ ORDOÑEZ

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

2018

OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO
RECOLECTOR DE CRUDO VIKOMA KOMARA STAR 20 MEDIANTE LA
METODOLOGÍA RCM

CARLOS ORLANDO RODRÍGUEZ ORDOÑEZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Directora

MARÍA DEL PILAR VALDERRAMA SALAZÁR
Management Information Systems

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

2018

DEDICATORIA

A Dios por concederme el don de la vida y permitirme culminar este proyecto.

A mi padre Narciso, por acompañarme siempre con sus consejos y sabiduría.

A mi madre Jacinta, por su guía, compañía y valores.

A Paula, por la comprensión, amor y fortaleza.

A Juliana y Fernando por ser mi motivación y fuerza.

A Omar, Ricardo, Amparo y Dora, por su energía y confianza.

Carlos Orlando Rodríguez Ordoñez

AGRADECIMIENTOS

A mis familiares, amigos, compañeros de trabajo, a la universidad y docentes, los cuales fueron participes para el logro de esta meta.

El Autor

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
1.1 RECONOCIMIENTO CORPORATIVO	16
1.1.1 Misión.....	16
1.1.2 Visión	17
1.1.3 Valores corporativos	17
1.2 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	22
2.2 MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 Historia del mantenimiento.....	25
2.2.2 Metodología del RCM	26
2.2.2.1 Funciones	27
2.2.2.2 Parámetro de Funcionamiento.....	28
2.2.2.3 Fallas Funcionales	28
2.2.2.4 Análisis de Modos de Falla (AMEF).....	28
2.2.2.5 Consecuencias de Falla.....	29
2.2.2.6 Tareas de Mantenimiento enfocadas en RCM.....	30
2.2.2.7 Herramientas RCM – Análisis de Criticidad	31

2.2.2.8 Diagrama de decisión RCM	31
2.2.2.9 Hoja de decisión RCM	33
3. RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO VIKOMA KOMARA STAR 20	35
3.1 DESCRIPCIÓN Y TAXONOMÍA DEL EQUIPO	35
3.1.1 Unidad de poder	37
3.1.2 Unidad de recolección.....	38
3.1.3 Unidad de bombeo.....	39
3.1.4 Unidad estructural.....	40
3.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	41
3.3 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	42
3.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	43
3.4.1 Criterios de evaluación	44
3.4.2 Clasificación de la criticidad.....	46
4. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM DEL EQUIPO VIKOMA KOMARA STAR 20	47
4.1 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	47
4.2 HOJAS DE DECISIÓN RCM.....	49
4.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RCM.....	50
5. GENERALIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA Y ANÁLISIS FINANCIERO	56
5.1 ESTUDIO DE GENERALIZACIÓN DE LA PROPUESTA	56
5.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....	59
5.2.1 Impacto económico para un equipo	59
5.2.2 Efecto económico sobre todos los equipos.....	61
6. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de decisión RCM.	32
Figura 2. Encabezado y división de la hoja de decisión RCM.	33
Figura 3. Equipo Komara Star 20.....	36
Figura 4. Taxonomía del equipo Vikoma Komara Star 20.	36
Figura 5. Unidad de poder del equipo Komara Star 20.....	37
Figura 6. Unidad de recolección del equipo Komara Star 20.	38
Figura 7. Unidad de bombeo del equipo Komara Star 20.	40
Figura 8. Unidad estructural del equipo Komara Star 20.	41
Figura 9. Funcionamiento del equipo Komara Star 20.....	42
Figura 10. Equipos a los que se ajusta el RCM planteado.	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de las diferentes generaciones de mantenimiento.	26
Tabla 2. Características funcionales de la unidad de poder.	37
Tabla 3. Características funcionales de la unidad de recolección.....	39
Tabla 4. Características funcionales de la unidad de bombeo.....	39
Tabla 5. Características funcionales de la unidad estructural.....	40
Tabla 6. Criterio de frecuencia de falla.	44
Tabla 7. Criterio de Impacto Operacional.	45
Tabla 8. Criterio de Flexibilidad Operacional.	45
Tabla 9. Criterio de Costos de Mantenimiento.	45
Tabla 10. Criterio de Tiempo de Reparación.	45
Tabla 11. Criterio de Impacto a la Seguridad Humana y al Medio Ambiente.	46
Tabla 12. Análisis de criticidad del equipo Komara Star 20.	46
Tabla 13. Análisis AMEF de la unidad de poder.	48
Tabla 14. Hoja de decisión RCM de la unidad de poder.....	50
Tabla 15. Estrategia de mantenimiento RCM.	51
Tabla 16. Inventario de equipos recolectores de crudo de la compañía.	56
Tabla 17. Ajuste de la propuesta de mantenimiento RCM, a otros equipos recolectores.	57
Tabla 18. Costos del mantenimiento actual.	60
Tabla 19. Costos de la estrategia de mantenimiento RCM propuesta.	60
Tabla 20. Comparativa económica entre los dos tipos de mantenimiento.	60
Tabla 21. Ahorro total de la implementación de la estrategia RCM.	61

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD, el cual puede consultar en la Base de Datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander)

Anexo A. AMEF del equipo Komara Star 20.

Anexo B. Hojas de decisión RCM.

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO RECOLECTOR DE CRUDO VIKOMA KOMARA STAR 20 MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM.¹

AUTORES: CARLOS ORLANDO RODRÍGUEZ ORDOÑEZ.²

PALABRAS CLAVES: RECOLECTOR DE CRUDO, MANTENIMIENTO, RCM, CONFIABILIDAD, CRITICIDAD.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Esta monografía presenta el desarrollo de una estrategia para la gestión de mantenimiento basado en confiabilidad o RCM, para el equipo Komara Star 20 de la casa fabricante Vikoma, de acuerdo con los lineamientos y políticas de la compañía OCENSA.

El desarrollo del trabajo inicia con la recopilación y análisis de la información que se tiene sobre el equipo, comprendiendo el estado de la operación y mantenimiento actual del mismo, y registrando las condiciones operacionales estándar e identificando los sistemas y componentes que lo conforman, para establecer una adecuada taxonomía de la máquina que permitirá evaluar la viabilidad de integrar la propuesta de mantenimiento planteada, a todo el grupo de máquinas recolectores de crudo de la empresa.

Con base en la taxonomía desarrollada, se realiza un análisis de criticidad de cada una de las unidades que conforman el equipo; posteriormente, siguiendo los parámetros de la metodología RCM, se realiza un análisis de modos y efectos de fallo (AMEF) y sus respectivas hojas de decisión RCM para determinar el mejor y más adecuado plan de mantenimiento aplicable al equipo Komara Star 20.

Finalmente, se realiza una evaluación financiera que permite establecer el ahorro en el presupuesto del Departamento de Mantenimiento, al implementar la estrategia de gestión propuesta como resultado del estudio RCM; dicho ahorro no sólo para un equipo, sino para todas las máquinas que poseen la misma taxonomía que el equipo estudiado.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Directora: María del Pilar Valderrama Salazar, Management Information Systems.

SUMMARY

TITLE: OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE STRATEGY OF THE VIKOMA KOMARA STAR 20 RAW COLLECTION EQUIPMENT BY THE RCM METHODOLOGY.³

AUTHOR: CARLOS ORLANDO RODRÍGUEZ ORDOÑEZ.⁴

KEYWORDS: RAW COLLECTOR, MAINTENANCE, RCM, RELIABILITY, CRITICITY.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

This monograph presents the development of a strategy for the management of a reliability centered maintenance or RCM, for Komara Star 20 equipment of the manufacturer Vikoma, in accordance with guidelines and policies of the company OCENSA.

The development of the work begins with the collection and analysis of the information about the equipment, including the status of the operation and its current maintenance, and recording the standard operating conditions and identifying the systems and components that comprise it, to establish an adequate taxonomy of the machine that will allow evaluating the feasibility of integrating the proposed maintenance proposal, to the entire group of crude collection machines of the company.

Based on the developed taxonomy, we made a criticality analysis of each of the units that make up the team; Subsequently, following the parameters of the RCM methodology, an analysis of failure modes and effects (FMEA) and their respective RCM decision sheets is carried out to determine the best and most suitable maintenance plan applicable to the Komara Star 20 equipment.

Finally, a financial evaluation is carried out to establish the savings in the budget of the Maintenance Department, by implementing the management strategy proposed as a result of the RCM study; said savings not only for a team, but for all machines that have the same taxonomy as the equipment studied.

³ Monograph.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: María del Pilar Valderrama Salazar, Management Information Systems.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de todo el desarrollo de la industria de hidrocarburos, han existido desviaciones operacionales en el transporte de crudo, dichos desvíos son causados ya sean por condiciones ambientales, errores humanos y en Colombia, por grupos al margen de la ley que intentan repetidamente afectar la economía del país y de las empresas del sector.

En ocasiones, las desviaciones provocan derrames de hidrocarburos sobre las cuencas y cuerpos de agua cercanos a las líneas de transporte, afectando los diferentes ecosistemas circundantes y causando en determinadas circunstancias daños irreparables al ambiente, la economía del país y de las empresas involucradas en las actividades económicas del sector.

Para atenuar las afectaciones que por daños normales o intencionales ocasionados a las líneas de transporte de hidrocarburos, la compañía OCENSA, posee toda una estructura de atención y control de emergencias que le permite atender contingencias a la mayor brevedad posible, es por esto, que cuenta con un grupo de equipos especializados en la recolección de hidrocarburos vertidos en cuerpos de agua.

El presente documento presenta el desarrollo de una estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad para el equipo recolector de crudo Komara Star 20 de la casa fabricante Vikoma; estrategia que le permitirá optimizar las tareas, frecuencias y costos de mantenimiento asociados al equipo y al Departamento de Mantenimiento de la compañía.

Inicialmente se presenta todas las condiciones para el desarrollo del proyecto, así como un conjunto de conceptos teóricos acerca del mantenimiento centrado en confiabilidad, y el desarrollo de la taxonomía y criticidad del equipo.

Posteriormente, se realiza todo un análisis de modos y efectos de falla, que con las respectivas hojas de decisión RCM, permiten establecer una estrategia de mantenimiento acorde con el equipo y con la funcionalidad que tiene éste para la compañía; finalmente, se presenta el análisis financiero que sustenta la implementación de la propuesta planteada, no sólo para un equipo particular, sino para todos los equipos con condiciones similares de operación.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 RECONOCIMIENTO CORPORATIVO

Oleoducto Central S.A. - OCENSA, es una plataforma extensa y moderna para transportar petróleo en Colombia, a través de una tubería de 836 kilómetros en tierra, a lo largo de los departamentos de Casanare, Boyacá, Santander, Antioquia, Córdoba y Sucre, y doce kilómetros en el mar caribe en el Golfo de Morrosquillo. OCENSA cuenta con diez estaciones de bombeo, una estación reductora de presión, un terminal marítimo, tanques para almacenar hasta cinco millones de barriles y dos bases para la coordinación de las actividades de mantenimiento.

Gracias a su gran plataforma, OCENSA puede ajustarse a las realidades de la industria petrolera, al transportar toda clase de crudos (livianos, pesados y mezclas) desde los campos de explotación hasta buques para su exportación o la refinería de Cartagena, para su transformación.⁵

1.1.1 Misión. Prestamos servicios de transporte de petróleo con excelencia operacional, generando desarrollo y bienestar.⁶

⁵ OCENSA S.A. Quienes somos. [En línea]. [Consultado el: 15 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://www.ocensa.com.co/Paginas/Quienes-somos.aspx>

⁶ OCENSA S.A. Código de Buen Gobierno Corporativo. [En línea]. Bogotá D.C.: La Compañía, 2013. p. 2. [Consultado el: 07 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.ocensa.com.co/Documents/CODIGO-DE-BUEN-GOBIERNO-CORPORATIVO.pdf>

1.1.2 Visión. En el año 2023 OCENSA generará utilidad operacional de US\$1,5 billones, a través de la captura de oportunidades de crecimiento, consolidándose como la plataforma de transporte de oleoductos más eficiente de Colombia.⁷

1.1.3 Valores corporativos.⁸

Respeto: quienes hacemos parte de Ocesa aceptamos a las otras personas desde la diferencia, con lo cual reconocemos sus derechos y su dignidad.

Responsabilidad: realizamos todas nuestras acciones de manera diligente frente a nuestros compromisos, la compañía, la sociedad y el medio ambiente. Siempre asumimos las consecuencias de nuestros actos y decisiones.

Excelencia: buscamos alcanzar resultados oportunos, que superen las condiciones y estándares establecidos, en la perspectiva de mejora y aprendizaje continuos, a través del uso eficiente de los recursos.

Transparencia: en nuestras labores pensamos, decimos y hacemos, sin lugar a ambigüedad, de manera congruente y haciendo que nuestras acciones sean evidentes y trazables.

Colaboración: sumamos el esfuerzo individual al esfuerzo de otros para trabajar en equipo, siempre con el logro de los objetivos de la compañía en nuestra cabeza.

⁷ OCENSA S.A. Código de Buen Gobierno Corporativo. [En línea]. Bogotá D.C.: La Compañía, 2013. p. 2. [Consultado el: 07 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.ocensa.com.co/Documents/CODIGO-DE-BUEN-GOBIERNO-CORPORATIVO.pdf>

⁸ OCENSA S.A. Quienes somos. [En línea]. [Consultado el: 07 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.ocensa.com.co/Paginas/mision-y-vision.aspx>

1.2 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la ejecución del mantenimiento y la atención de emergencias por derrame de hidrocarburos durante las operaciones del oleoducto, OCENSA está dividido en dos zonas geográficas denominadas sur y norte:

Zona Sur: comprendida entre las estaciones de bombeo Cupiagua, en el departamento de Casanare y la estación de bombeo Vasconia en el departamento de Boyacá. La base de mantenimiento se encuentra ubicada en Tunja, Boyacá.

Zona Norte: comprendida entre las estaciones de bombeo Vasconia, en el departamento de Boyacá y la estación de bombeo Coveñas en el departamento de Sucre. La base de mantenimiento se encuentra en Puerto Berrio, Antioquia.

Cada base de mantenimiento cuenta con personal calificado y con equipos de contención, recolección y trasiego de crudo para cumplir con las normas nacionales e internacionales vigentes, como la ley 523 DE 1999 y el DOT 195.402/403a TRANSPORTE DE LÍQUIDOS PELIGROSOS POR OLEODUCTOS.

Teniendo en cuenta la criticidad y sensibilidad del proceso para el manejo de emergencias y para dar cumplimiento a los requerimientos ambientales y legales, la compañía requiere implementar metodologías encaminadas a mejorar los planes de mantenimiento, fortalecer el conocimiento de las personas involucradas en los procesos operativos y de mantenimiento, y lograr el aseguramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos utilizados en la atención de emergencias del Oleoducto.

Actualmente, las intervenciones de mantenimiento no programadas al equipo KOMARA STAR 20 de la casa fabricante VIKOMA, el cual es utilizado en la atención de emergencias por derrames de hidrocarburos, ha ido en aumento, razón por la

cual se hace imprescindible realizar una revisión y mejora a la estrategia de mantenimiento que se viene aplicando sobre el mismo, de modo que se pueda garantizar su disponibilidad y operatividad de forma confiable y segura, dada la importancia que tiene este equipo para el control y mitigación de emergencias.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

OCENSA posee una fuerte responsabilidad social y empresarial, de modo que se encuentra firmemente comprometida con el cuidado de las personas, el medio ambiente y las comunidades en donde se desarrollan sus operaciones a lo largo de la geografía colombiana, así como las operaciones realizadas costa afuera (*offshore*) durante el cargue de buque-tanques para la exportación de crudo a diferentes partes del mundo.

Ante un evento de derrame de hidrocarburos en tierra, ríos y/o en el mar, la compañía debe liderar la atención de la emergencia y activar los planes de contingencia para la contención, recolección, trasiego, transporte y mitigación de impactos ambientales derivados de esta condición.

Para la fase de recolección y trasiego de hidrocarburos se requieren equipos especiales que brinden seguridad, eficiencia y confiabilidad, para minimizar los tiempos de exposición y evaporación del producto y mitigar los riesgos por incendio y explosión que puedan generar daños al ecosistema, la integridad de las personas y de los activos de la compañía

El desarrollo de esta monografía busca generar la estrategia de mantenimiento más adecuada, mediante la metodología RCM, para los equipos recolectores de crudo KOMARA STAR 20 de la casa fabricante VIKOMA, del sector norte del Oleoducto

Central, de modo tal, que se logre mejorar la confiabilidad y disponibilidad los activos del sistema de respuesta a emergencias del sector norte del Oleoducto Central S.A.

El uso de la metodología RCM, permite identificar las funciones y estándares de funcionamiento de los diferentes componentes, cuantificar las fallas funcionales y analizar los modos y efectos de falla dentro del contexto operacional de los equipos para la aplicación específica dentro del oleoducto, así mismo, busca maximizar la vida útil de cada uno los componentes y optimizar el recurso humano dedicado a labores de mantenimiento, asegurando la eficiencia, disponibilidad y confiabilidad de los activos y procesos asociados al sistema de respuesta a emergencias de la compañía.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general. Optimizar la estrategia de mantenimiento de los equipos recolectores de crudo VIKOMA KOMARA STAR 20, del sistema de respuesta a emergencias de la zona norte del Oleoducto Central, de la compañía OCENSA, mediante la metodología RCM.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Determinar los sistemas y componentes críticos del equipo recolector VIKOMA KOMARA STAR 20, para priorizar las tareas de mantenimiento.
- Realizar un análisis de efectos y modos de falla FMEA de los sistemas críticos del equipo recolector VIKOMA KOMARA STAR 20.

- Generar el árbol de decisión y el listado de tareas e insumos para determinar los costos operativos de la propuesta de mantenimiento.
- Elaborar un análisis financiero para determinar el estado costo-beneficio de la implementación de la estrategia de mantenimiento planteada.
- Identificar y listar los equipos de similares características, para estandarizar los planes y estrategias de mantenimiento de los equipos recolectores tipo bandas y tipo cepillos, que se encuentran distribuidos en las bases de mantenimiento de los sectores norte y sur del Oleoducto Central S.A.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Durante varias décadas, los grupos al margen de la ley que operan en Colombia han realizado incursiones a lo largo de la geografía nacional para sabotear las estructuras energéticas del país, entre ellas, atentados contra los oleoductos para realizar extracciones ilegales de producto, destrucción de la infraestructura, como estaciones de bombeo y/o ductos para parar el transporte de crudo hacia las refinerías o terminales marítimos para la exportación, es así, que todos los residuos de productos generalmente terminan depositándose en los ríos y en el mar.

Esta condición sumada las fallas humanas en los procesos de operación y mantenimiento, daños y/o afectaciones por terceros, así como los desastres naturales como terremotos y deslizamientos de tierra, son la principal causa de derrames en los ductos utilizados para el transporte de petróleo crudo; por esta razón, las compañías operadoras de los ductos de transporte han adoptado la reglamentación americana para el transporte de líquidos peligrosos por oleoductos: DOT (Department of Transportation) sección 194, para estandarizar y establecer los estándares de seguridad y adoptar los controles necesarios para atender eventos de emergencias durante las operaciones y mantenimiento del ducto y estaciones de bombeo.⁹

Bajo esta legislación, las empresas dedicadas al transporte de hidrocarburo deben tener personal entrenado y equipos adecuados y disponibles para la atención de

⁹ PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Pipeline Safety Regulations. Title 49. Part 194. Washington, EE.UU.: La compañía, 2017. 18 p.

emergencias, en busca de minimizar las afectaciones por contaminación, incendio, explosión preservando la vida de las personas, medio ambiente, y el activo mismo.

En caso de un evento de derrame de petróleo en agua, la primera respuesta es la contención y concentración mediante barreras, para evitar la evaporación, propagación de la mancha, contaminación de áreas aledañas y emulsificación, y luego iniciar el proceso de recuperación y recolección del producto desde la superficie del agua, a través de productos absorbentes, dispersantes, recolección manual o a través de recolectores mecánicos.¹⁰

Para garantizar la disponibilidad de los equipos de recolección es importante asegurar que el equipo cuente con un plan de mantenimiento, pruebas de operatividad periódicas, y que el personal de mantenimiento desarrolle las habilidades para realizar el mantenimiento de una manera efectiva en donde se identifiquen y mitiguen los modos de falla.

2.2 MARCO TEÓRICO

El mantenimiento centrado en confiabilidad MCC o RCM (*Reliability Centered Maintenance*), se ha convertido en una de las herramientas más importantes en el estudio y evaluación de fallo de equipos; integrando modelos estadísticos de análisis de fallos, evaluación de comportamiento de equipos y seguimiento de resultados; demostrando que los componentes de un activo no se pueden tratar de la misma manera, sino por su función específica; pues presentan diferentes modos

¹⁰ VERGARA, Ignacio y PIZARRO, Francisco. Manual control derrames de petróleo, versión preliminar. Santiago de Chile: Naciones Unidas – OMI, 1981. pp. 402 – 450.

de falla.¹¹ Esto permite evaluar cada sistema y subsistema, a través de variables innatas de su operación. De manera que se establecen rutinas de mantenimientos que permiten llegar a los componentes más afectados por el uso u operación del equipo; adicionalmente, la metodología planteada genera una herramienta para que los operarios puedan identificar los síntomas de fallos y ser más asertivos en la intervención.

El mantenimiento bajo la metodología RCM parte de la filosofía “No hacer mantenimiento es muy costoso, pero hacerlo en exceso también cuesta”, RCM permite incrementar la disponibilidad de operación del equipo con actividades planeadas a frecuencia determinada usando un recurso humano apropiado para la tarea.¹² Esto permite establecer políticas para el mejoramiento de las funciones de los activos y manejar las consecuencias de sus fallas.

Este método originalmente fue definido por Stanley Nowlan y Howard Happ Heap en su libro “*Reability Centered Maintenance*” en el año 1974, libro que recopiló más de 20 años de investigación y experimentación en la industria de la aviación comercial de USA.

¹¹ PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>

¹² Ibíd. p. 7.

2.2.1 Historia del mantenimiento. La historia del mantenimiento ha venido evolucionando desde los tiempos de la segunda guerra mundial, tomando importancia desde la llamada Generación 2; que cubre el periodo de la segunda guerra mundial hasta los años setenta. Dado que la mecanización y automatización crecen dentro de las operaciones de las empresas; estas últimas reconocen la importancia de producción continua y centran la atención en disminuir los tiempos de parada por fallo de equipos. Dando inicio a lo que se conoce como mantenimiento preventivo, pues se hace necesario prevenir las fallas para no generar afectación en la producción.¹³

La tercera generación da nacimiento al RCM. Desde los años setentas en adelante; la industria adquirió un nuevo impulso con temas de producción continua, por lo tanto, los tiempos de fallo o de avería cobran toda la atención, buscando las alternativas para evitarlos o bien disminuirlos. Esto se logra a través de la prevención de los mismos dando lugar a la aparición de conceptos como disponibilidad y confiabilidad.

De manera general, la evolución de mantenimiento como rama se presenta en la tabla 1.

¹³ NIETO, Steven. Historia del Mantenimiento. [En línea]. 2009. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>

Tabla 1. Características de las diferentes generaciones de mantenimiento.

Generación	Expectativas	Técnicas	Personal
1° Generación	Reparar cuando se rompe	Mantenimiento correctivo	Pocas habilidades
2° Generación	Mayor disponibilidad de la planta Mayor vida útil de los equipos Menor costo	Reparaciones programadas Sistema de planeamiento y control de trabajo Computadoras grandes y lentas	Planeador
3° Generación	Mayor disponibilidad de la planta Mayor Seguridad Mejor calidad del producto Ningún daño al medio ambiente Mayor vida de los equipos Mayor costo beneficio	Monitoreo de condición Diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento Estudio de riesgos Computadoras pequeñas y rápidas Análisis de modos de falla y sus efectos Sistemas expertos Trabajo multifacético y en grupos	Especializado

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. pp. 2-3. ISBN 09539603-2-3.

2.2.2 Metodología del RCM. El método RCM plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar, esto permite determinar el desarrollo del programa de mantenimiento y sus alcances. Las preguntas planteadas se presentan a continuación:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir esas fallas?

- ¿Qué sucede si no puede prevenir la falla?

Las anteriores preguntas; determinan el funcionamiento del equipo o sistema en su contexto operativo e identifica las fallas funcionales y modos de falla. El análisis y entendimiento de las respuestas de las preguntas planteadas, permiten identificar los riesgos estableciendo un panorama para proponer acciones de prevención y control de los activos y sistemas.¹⁴

2.2.2.1 Funciones. El primer paso de RCM es definir funciones del equipo o sistema de estudio en su contexto operacional; es decir determinar lo que los usuarios quieren que haga. Para esto se debe conocer los alcances de diseño del equipo o sistema a fin de determinar si el mismo es capaz de realizar las funciones deseadas. Para esto se puede dividir estas funciones en dos categorías Funciones Primarias y Secundarias.

Funciones Primarias: Éstas funciones están determinadas por el diseño y las capacidades técnicas del equipo o sistema; es decir, para qué fue construido y el objeto de su localización en la cadena de producción.

Funciones Secundarias: Están relacionadas con seguridad, apariencia, protección, regulación ambiental, confort, integridad estructural y funciones superfluas.

¹⁴ AGUILAR, José; TORRES, Rocío y MAGAÑA, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [En línea]. En: IMIQ, Tecnología, Ciencia, Educación, 2010, vol. 25, no. 1, pp. 15-26. ISSN: 0186-6036. [Consultado el: 23 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>

Con frecuencia las funciones secundarias toman importancia cuando la falla de alguna de ellas puede resultar en serias consecuencias y en ocasiones estas funciones tienen mantenimientos más frecuentes que las funciones primarias. Dado lo anterior la identificación de estas funciones y sus fronteras dentro del sistema operativo, pueden tomar gran importancia en cuanto al tema de seguridad del equipo y sus usuarios.

2.2.2.2 Parámetro de Funcionamiento. Los límites entre las condiciones aceptables y las fallas están definidos por un parámetro de funcionamiento. Dado que este término aplica a funciones individuales, se define una falla funcional como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.¹⁵

2.2.2.3 Fallas Funcionales. Uno de los objetivos del mantenimiento es que un activo físico pueda desempeñarse de una manera adecuada conforme a unos parámetros deseados por el usuario, El método RCM identifica las fallas que pueden ocurrir en el activo; aquellas que hacen que este salga de lo que en el contexto operacional trae como consecuencia la afectación del producto final o la seguridad de los operarios.

2.2.2.4 Análisis de Modos de Falla (AMEF). Estas se refieren a los hechos que pueden generar la falla funcional, estos modos de falla se han clasificado en tres grupos:

¹⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

- Capacidad por debajo del funcionamiento deseado dado por deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos
- Funcionamiento por encima de capacidad inicial es decir cuando el equipo o sistema es sometido a sobrecarga deliberada de forma constante.
- Activo por debajo de la capacidad requerida.

2.2.2.5 Consecuencias de Falla. La determinación de las consecuencias del fallo en el sistema o activo permite identificar la prioridad de actividades de mantenimiento para evitar el fallo. Estas consecuencias suelen agruparse de la siguiente manera:¹⁶

- Consecuencias de fallas ocultas
- Consecuencias ambientales y para la seguridad
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias No operacionales

Para esta clasificación es importante tener el ámbito operacional del activo o sistema presente, ya que el mismo determina la criticidad.

¹⁶ PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>

2.2.2.6 Tareas de Mantenimiento enfocadas en RCM. Son todas las tareas generadas a partir del análisis de funciones, modos de fallo, efectos y consecuencias; las cuales quedan establecidas con una periodicidad y responsable de acuerdo al alcance de las funciones dentro de la operación del sistema o activo.

El método RCM reconoce tres categorías de tareas preventivas como lo son:¹⁷

Tareas Proactivas: Actividades planeadas antes de que ocurra una falla previniendo que el componente llegue a un estado de fallo prematuro. Es importante para la determinación de estas tareas la factibilidad de la ejecución de la misma mientras esta en operación del sistema o activo; esta factibilidad está dada por sus características técnicas y la relevancia de la falla potencial que se trata de evitar.

Cuando se habla de fallas potenciales de los equipos, componente o sistemas, es una precepción conocida través de la operación de los mismos y la evaluación de variables conocidas de manuales de operación.

Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: esta tarea identifica los componentes de los cuales se conoce un desgaste cíclico por operación; lo que permite la programación de un reacondicionamiento de la pieza, reduciendo la incidencia de la falla sin sobrepasar los límites de la edad de la misma. Esta práctica es económicamente rentable para ejecutar en fallos de altas consecuencias económicas y de producción dentro de las empresas

Tareas de Sustitución Cíclica: esta tarea describe el cambio de piezas o componentes de un activo o sistema a una edad específica sin evaluación del estado; permitiendo al equipo volver a su condición estándar.

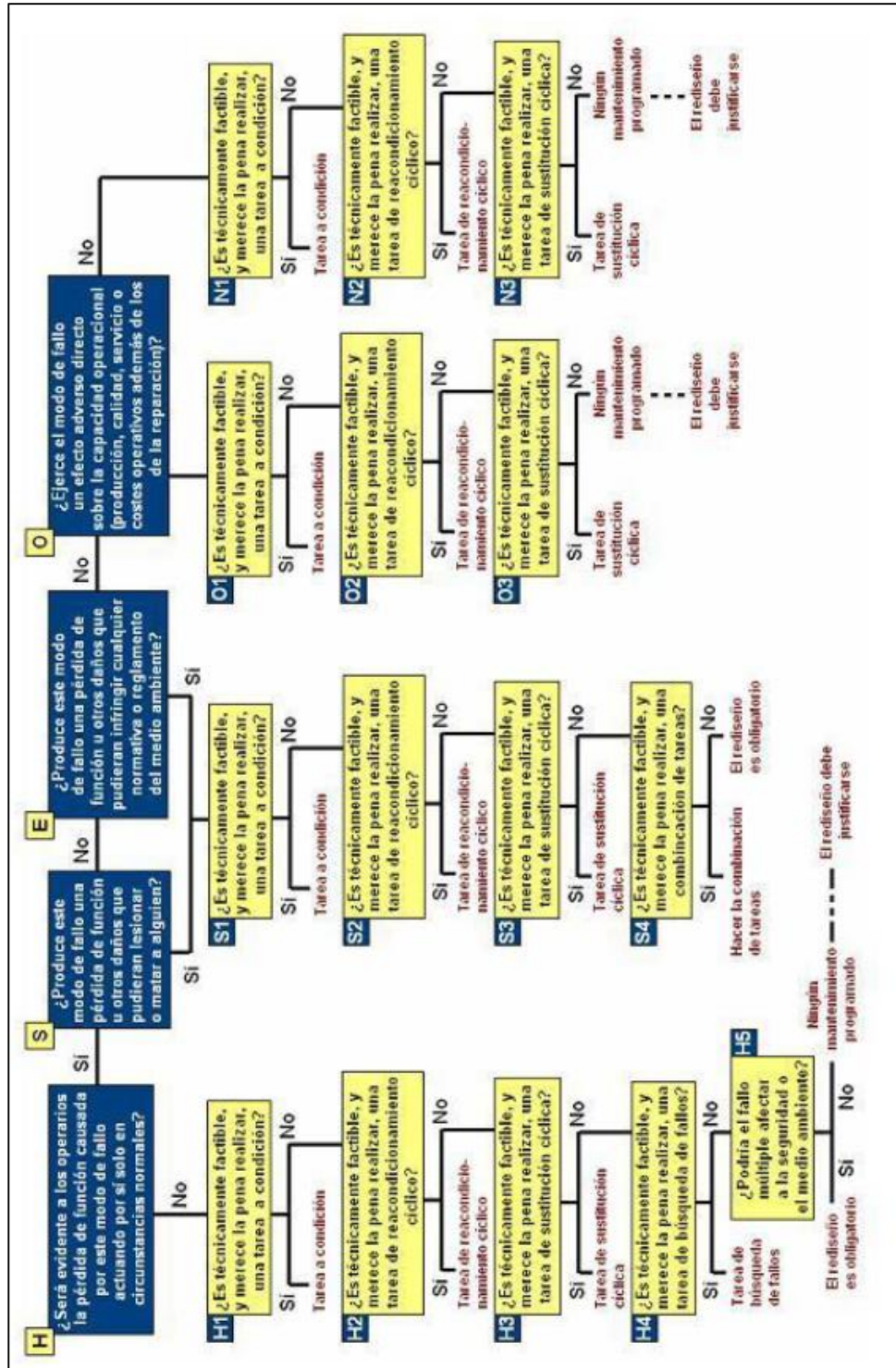
¹⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

2.2.2.7 Herramientas RCM – Análisis de Criticidad. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer una prioridad dentro del proceso al cual pertenece el sistemas o equipo; esto permite la creación de una estructura de reacción, que da la seguridad de toma de decisiones acertadas con esfuerzos direccionados y disponiendo de los recursos necesarios, garantizando la confiabilidad operacional de los sistemas o equipos.

El análisis de criticidad identifica un listado ponderado desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: Alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta clasificación permite la aplicación de procesos que conformen parte de la zona de alta criticidad.

2.2.2.8 Diagrama de decisión RCM. Es una herramienta que permite seleccionar actividades adecuadas de mantenimiento para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos. Se debe identificar el tipo de actividad de mantenimiento adecuada, y posteriormente la acción de mantenimiento concreta a ejecutar junto con la frecuencia de ejecución de la misma. La figura 1 muestra el esquema del diagrama de decisión RCM.

Figura 1. Diagrama de decisión RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004, pp.204 - 205. ISBN 09539603-2-3.

2.2.2.9 Hoja de decisión RCM. Es un formato que permite presentar de manera ordenada las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión RCM (ver figura 2), y en función de dichas respuestas registrar:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar un posible rediseño.
- Casos en los que se tome la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

Figura 2. Encabezado y división de la hoja de decisión RCM.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN "A FALTA DE"				TAREA DE MANTENIMIENTO	INTERVALO INICIAL	EJECUTOR / RESPONSABLE
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4			
							N1	N2	N3							

La hoja de decisión se divide en dieciséis columnas. Las primeras tres nombradas como:

- Función (F).
- Falla Funcional (FF).
- Modo de falla (MF).

Las siguientes cuatro columnas corresponden a la evaluación de las consecuencias:

- Consecuencia de falla oculta (H).
- Consecuencia para la seguridad (S).
- Consecuencias para el medio ambiente (E).

- Consecuencias operacionales (O).

En las columnas ocho a diez se registrarán las tareas de la siguiente manera:

- H1/S1/O1/N1: Utilizada si fue posible encontrar una tarea a condición apropiada.
- H2/S2/O2/N2: Utilizada si fue posible encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico.
- H3/S3/O3/N3: Utilizada si fue posible encontrar una tarea de sustitución cíclica.

Las columnas H4, H5, S4 serán utilizadas para registrar las respuestas a las a tres acciones “a falta de” descritas anteriormente. Son seleccionadas si debe hacerse una tarea de búsqueda de fallas, un rediseño o una combinación de tareas.

En las últimas tres columnas se registra la tarea propuesta, intervalo de tiempo y quién se hará cargo de dicha actividad.

La hoja de decisión RCM muestra no sólo qué acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla, sino que también muestra porqué se ha seleccionado, y las actividades propuestas a seguir.

3. RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO VIKOMA KOMARA STAR 20

Para definir adecuadamente la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad del equipo Komara Star 20 de la casa fabricante Vikoma, es indispensable partir de la definición de la taxonomía o disposición modular del equipo, así como su funcionamiento, para comprender el estado actual de las rutinas y ejecución del mantenimiento, y posteriormente establecer un análisis de criticidad adecuado que nos permita focalizar los esfuerzos hacia la definición de una nueva estrategia mediante la metodología RCM.

3.1 DESCRIPCIÓN Y TAXONOMÍA DEL EQUIPO

El equipo Komara Star 20 (ver figura 3), es un recolector flotante de crudo, de construcción metálica, diseñado para la recuperación de crudos de alta y media viscosidad que han sido vertidos en cuerpos de agua. Utiliza un conjunto de discos dentados para arrastrar el crudo hacia la estructura y una bomba de lóbulos ubicada en la parte posterior del equipo, impulsa el crudo recolectado hacia un punto dispuesto para la disposición del mismo, usualmente, los tanques de recolección se ubican sobre una barcaza o bajo ciertas circunstancias, en tierra cerca de la orilla del cuerpo de agua.

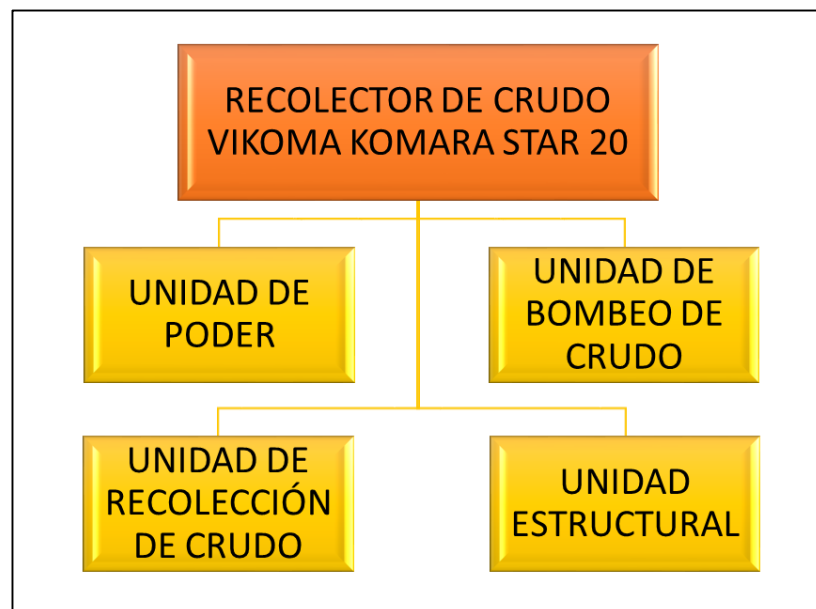
Tanto el conjunto de discos como la bomba de lóbulos son impulsados por motores hidráulicos accionados por una unidad de poder, de modo que la taxonomía del equipo se puede establecer en cuatro módulos, un módulo o unidad de poder, un módulo de recolección, uno de bombeo y por último el módulo estructural, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 3. Equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

Figura 4. Taxonomía del equipo Vikoma Komara Star 20.



3.1.1 Unidad de poder. Es un equipo compuesto por un motor de combustión que utiliza diésel como combustible, una bomba hidráulica conectada directamente al motor de combustión, así como de un completo sistema de control y enfriamiento de fluido de potencia hidráulico y de suministro de combustible del motor; una particularidad importante es que posee un juego de llantas que dan facilidad para el transporte de todo el conjunto, la figura 5 y la tabla 2 muestran ésta unidad y sus principales características.

Figura 5. Unidad de poder del equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

Tabla 2. Características funcionales de la unidad de poder.

Dimensiones		Construcción	
Largo	123 cm	Bastidor	Acero inoxidable
Ancho	77 cm	Tanque hidráulico	Acero al carbono
Alto	80 cm	Marco superior	Acero inoxidable (tubos)
Peso	205 kg cargado	Ruedas	Neumáticos con cojinetes en nylon

Desempeño		Motor	
Presión máxima	150 Bar	Número de cilindros / Refrigeración	Doble cilindro / Refrigerado por aire
3/4" QRC	39 l/min @ 135 Bar 58 l/min @ 100 Bar	Potencia máxima	12 kW @ 3600 rpm
1/2" QRC	0-30 l/min @ 135 Bar	Accionamiento eléctrico	Llave de encendido con batería de 12V cargada a través del alternador
3/8" QRC	0-6 l/min @ 135 Bar	Capacidad del tanque / Ciclo de trabajo	4 Litros / 2,5 horas al 50% de carga.

Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

3.1.2 Unidad de recolección. Es un equipo compuesto por once discos dentados montados sobre un eje horizontal que se encuentra acoplado directamente a un motor hidráulico; todo el conjunto está montado sobre una estructura de acero inoxidable que posee unos elementos raspadores y se puede ensamblar en el módulo estructural; la figura 6 y la tabla 3 muestran ésta unidad y sus principales características.

Figura 6. Unidad de recolección del equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

Tabla 3. Características funcionales de la unidad de recolección.

Construcción		Motor	
Discos	11 discos dentados patentados en metal	Tipo	Hidráulico de lóbulo excéntrico
Velocidad de los discos	Variable, máximo 48 rpm	Operación	Máx. 6 l/min Máx. 150 Bar

Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

3.1.3 Unidad de bombeo. Es la unidad encargada del transporte de crudo y está compuesta por una bomba de transferencia de lóbulos giratorios acoplados directamente a un motor hidráulico, todo el conjunto puede ser ensamblado en la parte posterior de la unidad estructural, sin embargo, ésta unidad puede ser utilizada independientemente como bomba de transporte de crudo; la figura 7 y la tabla 4 muestran ésta unidad y sus principales características.

Tabla 4. Características funcionales de la unidad de bombeo.

Características		Motor	
Tipo	Bomba de lóbulos rotarios.	Tipo	Hidráulico de lóbulo excéntrico
Descarga	Máximo 6,5 Bar Máximo 20 m ³ /h	Operación	Máx. 35 l/min Máx. 150 Bar
Tamaño de sólidos	Máximo 20 mm de diámetro		

Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

Figura 7. Unidad de bombeo del equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

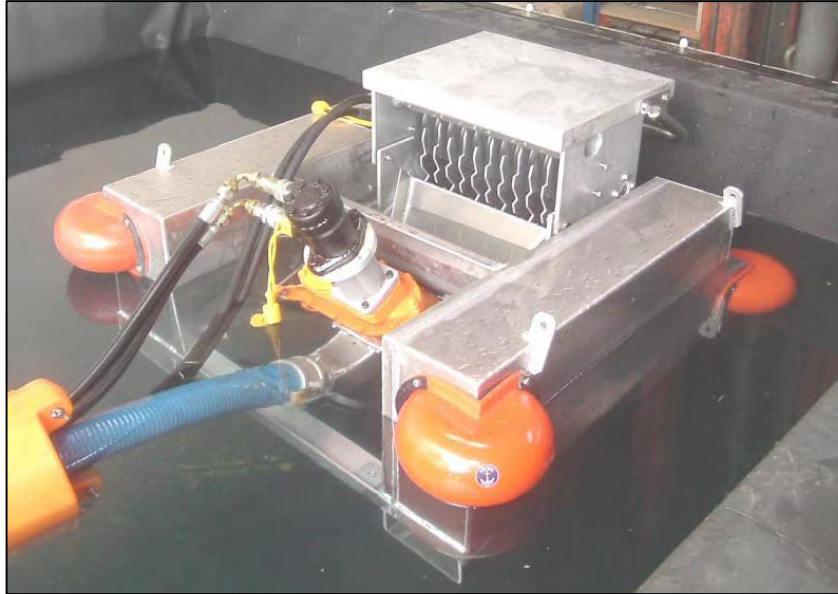
3.1.4 Unidad estructural. Es la unidad encargada de soportar las unidades de recolección y bombeo, consiste en una armadura flotante construida en aluminio de grado marítimo, que posee un filtro interno que restringe el paso de material particulado hasta de 20 mm de diámetro, además posee cuatro guardachoques esquineros que la protegen de impactos que se puedan presentar durante su operación; la figura 8 y la tabla 5 muestran ésta unidad y sus principales características.

Tabla 5. Características funcionales de la unidad estructural.

Dimensiones		Construcción	
Largo	115 cm	Bastidor	Aluminio de grado marítimo
Ancho	117 cm		
Alto	69 cm	Guardachoques	Polímero moldeado
Peso	118 kg sin mangueras	Filtro interno	Acero inoxidable

Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

Figura 8. Unidad estructural del equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

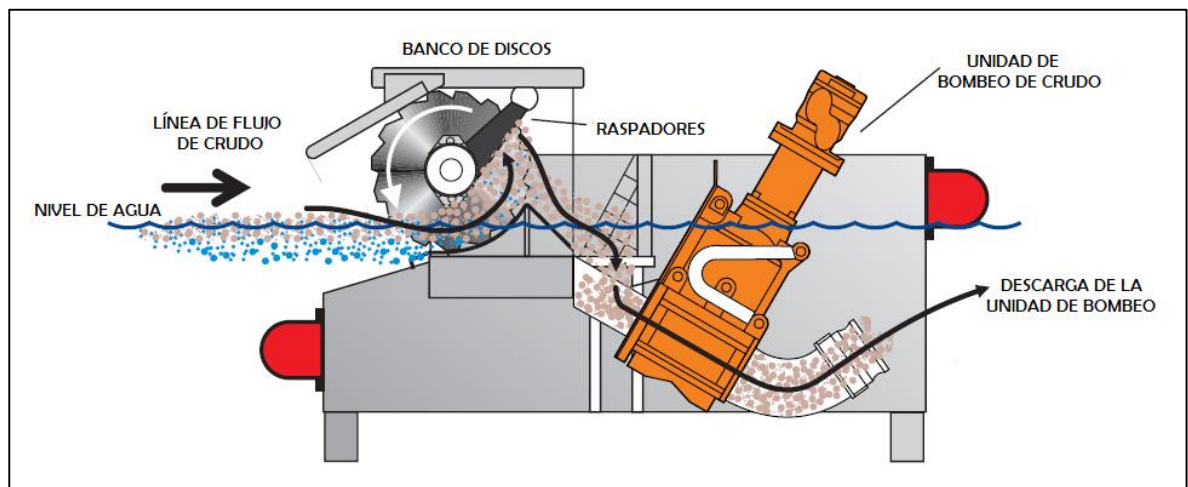
3.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

En caso de presentarse un derrame o vertimiento de hidrocarburo en cuerpos de agua, se activa inmediatamente el plan de atención de emergencias; para tal caso, se transportan las unidades de poder y la estructura junto con el banco de discos y la unidad de bombeo.

Una vez en el sitio de la emergencia, se conectan las diferentes mangueras de transporte de fluido de potencia y crudo, desde la unidad de poder, hasta las respectivas unidades de recolección y bombeo de crudo, las cuales están ya ensambladas en la estructura; posteriormente ubica la unidad estructural en las inmediaciones del vertimiento y se da orden de encendido y regulación a la unidad de poder.

Los discos giratorios, utilizando el principio de capilaridad de fluidos, arrastra el crudo vertido en el cuerpo de agua hacia los raspadores de la unidad de recolección (ver figura 9), los cuales separan el crudo de los discos giratorios, y lo dejan reposar sobre el filtro de la estructura; posteriormente, el crudo recolectado en la estructura es impulsado por la unidad de bombeo hasta el sitio dispuesto de almacenamiento, que como se mencionó anteriormente, se ubican sobre una barcaza o bajo ciertas circunstancias, en tierra cerca de la orilla del cuerpo de agua.

Figura 9. Funcionamiento del equipo Komara Star 20.



Fuente: VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.

3.3 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Actualmente, las labores de mantenimiento en OCENSA son realizadas a través de alianzas contractuales con terceros, es decir, el mantenimiento es desarrollado por contrato con terceros calificados, sin embargo, las intervenciones son supervisadas y controladas por personal directo de la compañía.

Para el caso, luego de realizar una investigación en la base de datos de la compañía, se pudo evidenciar las siguientes observaciones, acerca del mantenimiento realizado al equipo Komara Star 20 de la casa fabricante Vikoma:

- Se cuenta con un sistema de información que permite establecer adecuadamente las intervenciones de mantenimiento, así como la respectiva facturación de los servicios derivados de las mismas.
- El personal de mantenimiento no cuenta con manuales y/o instructivos corporativos que les permita establecer una adecuada intervención al equipo, sin embargo, si cuentan con los manuales de operación y mantenimiento del fabricante, así como un acompañamiento de parte de los representantes del fabricante.
- La estrategia de mantenimiento está orientada hacia lo preventivo, y está enfocada en la realización de pruebas e inspecciones bimensuales de las diferentes unidades, pudiéndose establecer que: el 65% de las actividades se centran en la unidad de poder, 20% en la unidad de recolección, el 10% en la unidad de bombeo y el restante 5% en la unidad estructural.
- El personal de todos los niveles de la jerarquía organizacional entiende y es consciente de la importancia de la preservación, cuidado y correcta operación de éste tipo de equipos (control de emergencias), además, el personal contratado para la intervención de éstos equipos está dispuesto al cambio.

3.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La aplicación y desarrollo del análisis se basa en la metodología de factores ponderados, el cual se caracteriza por su practicidad, además que está orientado hacia una evaluación de riesgos acorde con el propósito para el cual el equipo fue adquirido.

El índice de criticidad se puede calcular a través de la expresión:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Consecuencia de falla}$$

Donde la tasa de falla y consecuencias de falla se pueden evaluar de acuerdo con las necesidades y condiciones del área de mantenimiento así:

$$\text{Frecuencia de falla} = \text{Número de fallas en un tiempo determinado}$$

$$\text{Consecuencia de falla} = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costos de mantenimiento} + \text{Tiempo de reparación} + \text{Impacto a la seguridad humana y al medio ambiente.}$$

3.4.1 Criterios de evaluación. A cada uno de los criterios de evaluación se le realiza una estructuración basada en los lineamientos corporativos y del área de mantenimiento, teniendo en cuenta que el equipo es de control de emergencias y que al momento de atender una contingencia real éste debe funcionar en óptimas condiciones, el análisis de criticidad está basado en la posibilidad de falla durante las pruebas funcionales, y no en fallos durante una contingencia, ya que no debieran ocurrir fallas en condiciones normales de operación. En las tablas 6 a 11 se muestran los diferentes criterios y su valor de ponderación.

Tabla 6. Criterio de frecuencia de falla.

Criterio	Característica	Ponderación
Frecuencia de Falla	Más de un fallo por año	5
	Un fallo por año	3
	No hay fallas	1

Tabla 7. Criterio de Impacto Operacional.

Criterio	Característica	Ponderación
Impacto Operacional	Pérdida operacional completa del equipo	5
	Genera funcionamiento irregular del equipo	3
	No genera pérdida operacional del equipo	1

Tabla 8. Criterio de Flexibilidad Operacional.

Criterio	Característica	Ponderación
Flexibilidad Operacional	No hay repuestos disponibles	5
	Hay opción de repuesto ajustable al equipo	3
	Hay repuestos disponibles	1

Tabla 9. Criterio de Costos de Mantenimiento.

Criterio	Característica	Ponderación
Costos de Mantenimiento	Más de COP \$700.000	5
	Entre COP \$200.000 y COP \$700.000	3
	Menos de COP \$200.000	1

Tabla 10. Criterio de Tiempo de Reparación.

Criterio	Característica	Ponderación
Tiempo de Reparación	Más de un día	5
	Entre 3 horas a un día	3
	Menos de 3 horas	1

Tabla 11. Criterio de Impacto a la Seguridad Humana y al Medio Ambiente.

Criterio	Característica	Ponderación
Impacto a la Seguridad Humana y al Medio Ambiente	Afecta la seguridad humana	5
	Afecta el ambiente o las instalaciones, provocando daños menores	3
	No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	1

3.4.2 Clasificación de la criticidad. Una vez realizada la evaluación de cada uno de los criterios para las unidades estructurales de que está conformado el equipo Komara Sytar 20, se calcula el valor de la criticidad y se establecen las siguientes categorías:

Criticidad < 40 → NO CRÍTICO

41 < Criticidad < 99 → MEDIANAMENTE CRÍTICO

Criticidad > 100 → CRÍTICO

En la tabla 12 se muestra el análisis de criticidad desarrollado para cada uno de las unidades que componen el equipo Komara Star 20, allí se evidencia que cada una de las unidades es de carácter crítico respecto a las condiciones y lineamientos corporativos.

Tabla 12. Análisis de criticidad del equipo Komara Star 20.

Módulos	Frec. Falla	Imp. Oper.	Flex. Oper.	Cost. Mtto.	Tiem. Repa.	Impact. Seg. Y M.A.	CONS.	CRIT.	Nivel de Criticidad
Unidad de poder	3	5	5	5	5	3	38	114	CRÍTICO
Unidad recolectora de crudo	3	5	5	5	5	3	38	114	CRÍTICO
Unidad de bombeo de crudo	3	5	5	5	5	3	38	114	CRÍTICO
Unidad estructural	3	5	5	5	5	3	38	114	CRÍTICO

4. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM DEL EQUIPO VIKOMA KOMARA STAR 20

El análisis de criticidad presentado en el capítulo anterior, nos muestra que, aunque la incidencia de fallos es baja, y el impacto a la seguridad humana y al medio ambiente es reducida, los impactos asociados con la operación, costos de mantenimiento y el tiempo de reparación son de razón considerables, ya que elevan el nivel de criticidad por encima de lo esperado; de modo que todas las unidades que componen el equipo son críticas y se debe proceder con un análisis exhaustivo para determinar la mejor estrategia de mantenimiento para cada una de éstas.


4.1 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Este tipo de análisis está orientado a buscar las fallas más comunes, evidentes y ocultas que puedan surgir de la normal operación del equipo, en procura de establecer las causas de las fallas, así como la posibilidad de percepción por parte del personal involucrado en la operación y mantenimiento del equipo y sus respectivas unidades.

A partir del estudio del contexto operacional de cada unidad, en grupos de trabajo interdisciplinario, donde se involucra al personal de operación y mantenimiento, se evalúan y registran las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas, asignándoles un código o numeral, que permita identificar con seguridad el ítem que se evalúa.

La tabla 13 muestra una sección del análisis desarrollado para la unidad de poder del equipo Komara Star 20; para visualizar el análisis completo de todas las unidades del equipo se debe consultar el Anexo A.

Tabla 13. Análisis AMEF de la unidad de poder.

		OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA				CÓDIGO:
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA				VERSIÓN: 1
		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA VIKOMA KOMARA STAR 20 UNIDAD DE PODER				PÁGINA: 1 DE 1
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1	Suministrar fluido hidráulico de potencia a los motores hidráulicos de las unidades de bombeo y recolección de crudo, a una tasa de 39 [L/min] y presión máxima de 150 [Bar].	A	Incapacidad para suministrar fluido hidráulico de potencia.	1	Motor diésel de la unidad no enciende.	No hay flujo de aceite hidráulico por las mangueras ni la bomba hidráulica, posibles goteos o fugas de combustible entre las uniones del motor de combustión.
				2	Motor diésel bloqueado por endurecimiento entre componentes.	No hay flujo de aceite hidráulico por las mangueras ni la boma hidráulica, posibles goteos o fugas de combustible entre las uniones del motor de combustión.
				3	No hay alimentación de combustible al motor de la unidad.	El motor diésel no enciende, si está apagado; si está prendido y se acaba combustible, inmediatamente de apaga.
				4	Desajuste entre el eje del motor y la bomba hidráulica.	Altos niveles sonoros en la ubicación de la unión entre el eje del motor y la bomba hidráulica, poco o nulo caudal de fluido hidráulico de potencia.
				5	Obstrucción total en la succión de la bomba hidráulica.	Altos niveles sonoros por rozamiento excesivo entre los elementos de la bomba hidráulica, así como trabajo en vacío de la misma.
				6	Obstrucción total en la descarga de la bomba hidráulica.	Fugas excesivas por las conexiones entre la bomba y la línea de descarga, además, rompimiento de sellos de la bomba hidráulica por sobrepresión del fluido hidráulico de potencia.
				7	Desgaste o rotura de los componentes de la bomba hidráulica.	Altos niveles de vibración y ruido durante la operación del sistema, así como sobre calentamiento del motor.
				8	Tanque de almacenamiento de fluido hidráulico de potencia vacío.	Altos niveles sonoros por rozamiento excesivo entre los elementos de la bomba hidráulica por trabajo en vacío de la misma, posible ruptura de sellos por sobrecalentamiento y fugas por uniones de mangueras.
				9	Fluido hidráulico de potencia inadecuado.	Bajo rendimiento de funcionamiento de las unidades de recolección y bombeo; posibles niveles elevados de vibración.
		B	Siministro de fluido hidráulico a una tasa superior a 39 [L/min].	1	Sobre revolución o aceleración excesiva del motor diésel.	Ruido excesivo en el motor, así como sobre calentamiento del mismo; además, presencia de olores agresivos a quemado.
				2	Fluido hidráulico de potencia inadecuado.	Bajo rendimiento de funcionamiento de las unidades de recolección y bombeo; posibles niveles elevados de vibración en la unidad.
		C	Suministro de fluido hidráulico de potencia con presión superior a 150 [Bar].	1	Obstrucción de las líneas de alimentación del sistema hidráulico.	Altos niveles de vibración y posibles fugas en las uniones y mangueras de transporte de fluido hidráulico de potencia.
				2	Avería de la válvula de seguridad tarada a 150 [Bar].	Altos niveles sonoros y vibracionales, además, no se siente o escucha el flujo de retorno por sobrepresión del sistema; disminución del rendimiento de las unidades de recolección y bombeo.

4.2 HOJAS DE DECISIÓN RCM

Una vez identificados y registrados los modos y efectos de las fallas de cada una de las unidades del equipo, se completa la hoja de decisión RCM a través de la evaluación y seguimiento del diagrama de RCM (ver figura 1); el cual muestra las acciones que se han tomado para corregir o intervenir cada modo de falla, la razón de seleccionar ésta intervención, las actividades específicas de mantenimiento y el responsable de la ejecución de dichas tareas.

Dentro de la organización se contemplan dos roles específicos que están involucrados con éste tipo de equipos, por un lado, está el operador, quien es aquella persona responsable por la manipulación, prueba, almacenamiento, operación y cuidado del equipo; por el otro lado, el mantenedor, quien es aquella persona responsable de ejecutar tareas específicas de mantenimiento y preservación del equipo.

La tabla 14 muestra una sección de la hoja de decisión RCM desarrollado para la unidad de poder del equipo Komara Star 20; para visualizar las hojas de decisión RCM completas de todas las unidades del equipo se debe consultar el Anexo B.


Tabla 14. Hoja de decisión RCM de la unidad de poder.


		OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA										CÓDIGO:							
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA										VERSIÓN: 1							
		HOJA DE DECISIÓN RCM										PÁGINA: 1 DE 1							
		VIKOMA KOMARA STAR 20																	
		UNIDAD DE PODER																	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN		EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN "A FALTA DE"				TAREA DE MANTENIMIENTO	INTERVALO INICIAL	EJECUTOR / RESPONSABLE				
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				H4	H5	S4	
							N1	N2	N3										
1	A	1	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión y ajuste de niveles de fluidos / calibración y ajuste de las válvulas de admisión y escape, de acuerdo con recomendaciones del fabricante; así como revisión de conexiones y mangueras de combustible y mantenimiento general del tanque de combustible.	Cuatrimstral / Anual	Operador / Mantenedor
1	A	2	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: prueba operativa de encendido y correcto funcionamiento de la unidad de poder / cambiar aceite y filtros de aceite del motor.	Cuatrimstral / Anual	Operador/ Mantenedor
1	A	3	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión y ajuste de niveles de fluidos / revisión del estado del inyector, realizando pruebas de presión y aspersion.	Cuatrimstral / Anual	Operador/ Mantenedor
1	A	4	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión y ajuste del acople motor-bomba, verificación de desplazamiento radial y axial de la bomba.	Anual	Mantenedor
1	A	5	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión del estado general de la bomba, accesorios y conexiones del sistema hidráulico.	Anual	Mantenedor
1	A	6	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión del estado general de la bomba, accesorios y conexiones del sistema hidráulico.	Anual	Mantenedor
1	A	7	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: inspección y verificación de el estado de los componentes internos de la bomba de fluido hidráulico, y cambio de componentes de acuerdo a condición.	Bienal	Mantenedor
1	A	8	S	N	N	S	N	S									Tarea de reacondicionamiento: revisión y ajuste de nivel del fluido hidráulico, y revisión del estado del tanque, ajuste de conexiones, drenajes y mangueras.	Cuatrimstral	Operador
1	A	9	S	N	N	S	N	N	S								Tarea de sustitución: cambio de fluido hidráulico de acuerdo con recomendación del fabricante, asegurando el uso del fluido adecuado de acuerdo a norma ISO.	Anual	Mantenedor


4.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RCM


A partir del análisis de los modos y efectos de falla, así como de las hojas de decisión RCM de cada unidad del equipo Komara Star 20, se realiza el consolidado para la propuesta de tareas de mantenimiento, sus respectiva frecuencia y el directo responsable de la ejecución de dichas tareas, tal como se aprecia en la tabla 15; ésta estrategia permite aumentar la disponibilidad y confiabilidad operacional del equipo, reduciendo las intervenciones innecesarias al equipo, lo que finalmente incidirá en los costos del mantenimiento del equipo.


Tabla 15.Estrategia de mantenimiento RCM.

	OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA	CÓDIGO:
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA	VERSIÓN: 1
	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM VIKOMA KOMARA STAR 20	PÁGINA: 1 DE 1
ACTIVIDAD	PERIODICIDAD	RESPONSABLE
Revisión y ajuste de niveles de fluidos de la unidad de poder.	Cuatrimestral	Operador
Prueba operativa de encendido y correcto funcionamiento de la unidad de poder.		
Revisión y ajuste de nivel del fluido hidráulico, y revisión del estado del tanque, ajuste de conexiones, drenajes y mangueras.		
Revisión del estado del tanque de almacenamiento de fluido hidráulico, y ajuste o reparación del mismo.		
Revisión y ajuste de los racores y uniones de las mangueras y elementos.		
Prueba operativa de encendido y correcto funcionamiento del ventilador del sistema de enfriamiento de la unidad de poder.		
Limpieza y ajuste del ventilador del sistema de enfriamiento de fluido hidráulico.		
Revisión de densidad y ajuste de niveles de fluidos de la batería del sistema de enfriamiento de fluido hidráulico.		
Ajuste de bornes de la batería del sistema de enfriamiento del fluido hidráulico y cambio de acuerdo a condición.		
Limpieza de las aletas del enfriador del sistema hidráulico.		
Revisión y ajuste del estado del eje de las llantas de la unidad de poder.		
Revisión y ajuste de los componentes de la estructura de la unidad de poder.		
Realizar la prueba operativa de la unidad de recolección y verificar las variables operación de la misma (presión, revoluciones, etc.).		
Realizar la prueba operativa del equipo y verificar el correcto funcionamiento de los raspadores, realizando los ajustes respectivos.		
Revisión y ajuste de los racores y uniones de las mangueras y elementos de la unidad de recolección.		

	OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA	CÓDIGO:
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA	VERSIÓN: 1
	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM VIKOMA KOMARA STAR 20	PÁGINA: 1 DE 1
Realizar la prueba operativa del equipo y verificar el correcto funcionamiento del motor hidráulico y la bomba de trasiego, realizando los ajustes respectivos.		
Realizar la prueba operativa de la unidad de bombeo y verificar el correcto funcionamiento de la bomba de trasiego, realizando los ajustes respectivos.		
Inspección y revisión del estado del filtro de succión y la manguera de descarga de la bomba de trasiego.		
Realizar la prueba operativa de la unidad de bombeo y verificar las variables operación de la misma (presión, revoluciones, etc.).		
Realizar la prueba operativa de la unidad de bombeo y verificar el correcto funcionamiento del filtro de succión, de ser necesario, cambiar o reparar.		
Inspección y revisión del estado del filtro de succión de la bomba de trasiego.		
Revisión y ajuste de los racores y uniones de las mangueras y elementos de la unidad de bombeo.		
Verificar el correcto ajuste de la unidad de recolección de crudo que se acopla con la estructura.		
Verificar el correcto estado de las juntas de unión de la unidad de recolección de crudo con la estructura.		
Verificar el correcto ajuste de la unidad de bombeo de crudo que se acopla con la estructura.		
Verificar el correcto estado de las juntas de unión de la unidad de bombeo de crudo con la estructura.		
Realizar inspección y verificación del estado y correcta flotación de la estructura, en vacío, y con las unidades de recolección y bombeo de crudo.		
Realizar inspección y verificación del ajuste de los guardachoques esquineros con la estructura.		
Revisión e inspección el estado general de los guardachoques esquineros.		
Realizar inspección y verificación del estado de la estructura del conjunto.		

	OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA	CÓDIGO:
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA	VERSIÓN: 1
	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM VIKOMA KOMARA STAR 20	PÁGINA: 1 DE 1
Realizar la prueba operativa del equipo y verificar el correcto estado del filtro de la estructura, de ser necesario, cambiar o reparar.		
Calibración y ajuste de las válvulas de admisión y escape del motor de la unidad de poder, de acuerdo con recomendaciones del fabricante.	Anual	Mantenedor
Revisión de conexiones y mangueras de combustible de la unidad de poder.		
Mantenimiento general del tanque de combustible de la unidad de poder.		
Cambiar aceite y filtros de aceite del motor de la unidad de poder.		
Revisión del estado del inyector, realizando pruebas de presión y aspersion del motor de la unidad de poder.		
Revisión y ajuste del acople motor-bomba, verificación de desplazamiento radial y axial de la bomba de la unidad de poder.		
Revisión del estado general de la bomba, accesorios y conexiones del sistema hidráulico.		
Cambio de fluido hidráulico de acuerdo con recomendación del fabricante, asegurando el uso del fluido adecuado de acuerdo a norma ISO.		
Revisión y ajuste del nivel máximo de aceleración del motor de la unidad de poder.		
Inspección y revisión del estado interno de las mangueras, en búsqueda de deformaciones que reduzcan el diámetro interno, de ser necesario, cambiar por condición.		
Inspección, revisión y calibración de la válvula de seguridad, de acuerdo con recomendaciones del fabricante.		
Inspección, revisión y limpieza de la válvula de regulación de caudal.		
Revisión del estado de los componentes internos de la bomba y motores hidráulicos.		

	OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA	CÓDIGO:
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA	VERSIÓN: 1
	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM VIKOMA KOMARA STAR 20	PÁGINA: 1 DE 1
Ajuste de borneras, verificación del estado de la batería y switch de temperatura, del sistema de enfriamiento.		
Revisión y ajuste de los discos giratorios y los raspadores de la unidad de recolección, así como revisión de los cojinetes y cambio de acuerdo a condición.		
Revisión y ajuste metrológico de los discos giratorios y los raspadores de la unidad de recolección.		
Inspección, revisión y ajuste del acople del motor hidráulico y el eje del conjunto recolector.		
Revisión y ajuste de acople motor-bomba, verificación de desplazamiento radial y axial de la bomba de la unidad de bombeo.		
Inspección y verificación del estado de los componentes internos de la bomba de fluido hidráulico, y cambio de componentes de acuerdo a condición.	Bienal	Mantenedor
Revisión del estado de la pintura del tanque de almacenamiento de fluido hidráulico y reparación de acuerdo a condición.		
Cambio de los sellos y empaques del motor hidráulico de potencia de la unidad de recolección.		
Revisión del estado del cuerpo del motor hidráulico de potencia de la unidad de recolección, y aplicar pintura de acuerdo con condición.		
Revisión de los cojinetes de la bomba de trasiego y cambio de acuerdo a condición.		
Inspección, desarme y cambio de los sellos de la bomba de trasiego, de acuerdo a condición.		
Cambio de los sellos y empaques del motor hidráulico de potencia de la unidad de bombeo.		
Revisión del estado del cuerpo del motor hidráulico de potencia de la unidad de bombeo, y aplicar pintura de acuerdo con condición.		

	OLEODUCTO CENTRAL S.A. - OCENSA	CÓDIGO:
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LÍNEA	VERSIÓN: 1
	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM VIKOMA KOMARA STAR 20	PÁGINA: 1 DE 1
Cambio de la válvula reguladora de caudal, por desgaste excesivo.	A condición	Mantenedor
Cambio de mangueras, de acuerdo a valoración de integridad del personal técnico.		
Cambio de discos y/o raspadores de la unidad de recolección.		
Inspección, desarme y limpieza de la bomba de trasiego, así como cambio de componentes.		
Cambio del impulsor de la bomba de trasiego.		
Inspección, desarme y limpieza del impulsor de la bomba de trasiego.		
Inspección, desarme y cambio de los sellos de la bomba de trasiego.		

5. GENERALIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA Y ANÁLISIS FINANCIERO

Parte importante de la propuesta de mantenimiento desarrollada es la reestructuración de la estrategia que actualmente se ejecuta en la compañía, de modo que se logren mejorar los procesos operacionales y administrativos del corporativo, evaluando el impacto que éste puede tener sobre la base financiera de la empresa; a continuación se presenta el estudio de viabilidad para la implementación de la propuesta en todos los equipos de recolección de crudo con los que cuenta la organización, así como el efecto sobre la economía de la misma.

5.1 ESTUDIO DE GENERALIZACIÓN DE LA PROPUESTA

Se realizó un estudio que consistió en la recopilación de información sobre el número de equipos de recolección de crudo con los que cuenta la compañía en sus dos zonas de operación (ver tabla 16); se pudo constatar que la empresa posee 44 equipos de recolección de crudo que pueden utilizarse en el control de emergencias.

Tabla 16. Inventario de equipos recolectores de crudo de la compañía.

ZONA	TIPO DE EQUIPO RECOLECTOR	CANTIDAD	CAPACIDAD EQUIPO [m ³ /h]
NORTE	DISCOS 12K	6	12
	DISCOS 20K	7	20
	DISCOS SD	2	40
	RODILLOS	11	20
	TERMINATOR	6	80
SUR	DISCOS 12K	5	12
	RODILLOS	4	20
	RO-CLEAN	3	20
	TOTAL	44	

Adicionalmente, se comparó si cada uno de los tipos de equipos poseían la misma taxonomía que el equipo Komara star 20, es decir, si se pueden clasificar de modo que posean una unidad de poder, de recolección, de bombeo y estructural, que aunque no sean iguales, posean las mismas características, por ejemplo, si poseen una unidad de poder idéntica (motor de combustión a diésel), pero con diferente capacidad (8 kW, 10 kW, etc.); dicha evaluación se basa en código binario, donde “1” representa sí, y “0” representa no.

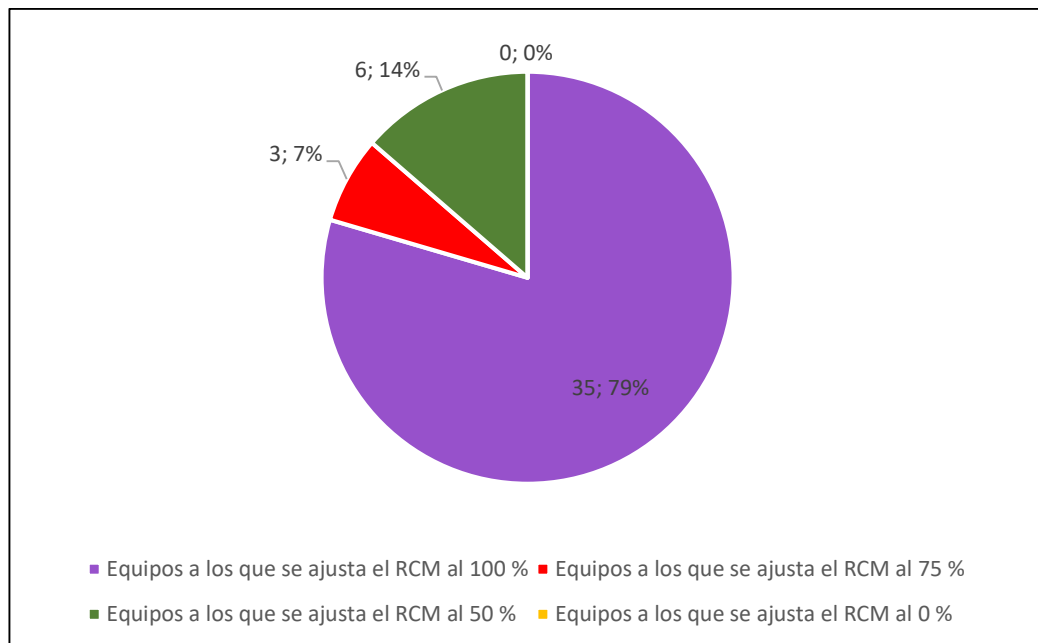
Para cada uno de los tipos de equipo se realiza la misma evaluación, considerando un valor de ponderación para cada unidad del 25%, es decir, que si determinado tipo de equipo posee las mismas cuatro unidades con similares características, la estrategia de mantenimiento RCM propuesta tendrá un grado de ajuste del 100% para ese equipo, si por el contrario, sólo posee dos unidades con similares características, la estrategia de mantenimiento RCM tendrá un grado de ajuste del 50%; la tabla 17 muestra los resultados del estudio y evaluación desarrollados.

Tabla 17. Ajuste de la propuesta de mantenimiento RCM, a otros equipos recolectores.

ZONA	TIPO DE EQUIPO RECOLECTOR	CANTIDAD	CAPACIDAD EQUIPO [m³/h]	UNIDAD DE PODER	UNIDAD DE RECOLECCIÓN	UNIDAD DE BOMBEO	UNIDAD ESTRUCTURAL	AJUSTE RCM [%]
NORTE	DISCOS 12K	6	12	1	1	1	1	100
	DISCOS 20K	7	20	1	1	1	1	100
	DISCOS SD	2	40	1	1	1	1	100
	RODILLOS	11	20	1	1	1	1	100
	TERMINATOR	6	80	1	0	1	0	50
SUR	DISCOS 12K	5	12	1	1	1	1	100
	RODILLOS	4	20	1	1	1	1	100
	RO-CLEAN	3	20	1	0	1	1	75

Como se aprecia en la figura 10, del total de los equipos con los que cuenta la compañía para la atención de emergencias por derrame de hidrocarburos en cuerpos de agua, a 35 de ellos (aproximadamente el 79%) se les puede aplicar al 100% el plan de mantenimiento RCM planteado; a los restantes nueve equipos (aproximadamente el 21%) habría que revisarles la taxonomía y realizarles un nuevo estudio de modos y efectos de falla, para establecer las rutinas de mantenimiento más adecuadas.

Figura 10. Equipos a los que se ajusta el RCM planteado.



5.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Este análisis está proyectado desde dos perspectivas, la primera de ellas desde el impacto económico que generará el plan de mantenimiento RCM para un solo equipo, comparado con la estrategia de mantenimiento actual; la segunda visión está orientada a evaluar el efecto económico de implementar el plan propuesto, a todos aquellos equipos a los que se les puede ajustar cabalidad la estrategia de mantenimiento RCM.

5.2.1 Impacto económico para un equipo. Como ya se mencionó, las intervenciones de mantenimiento en la compañía son realizadas por personal especializado a través de un contratista, y supervisadas por personal interno de la compañía, de modo que cada servicio o intervención está asociada con un valor presupuestal establecido por contrato entre la compañía y el contratista.

Para el caso de los equipos de recolección de crudos de control de emergencias, el contrato no discrimina de ningún modo las máquinas, es decir, para efectos contractuales de éste tipo de equipos, no se tiene en cuenta la clase o tamaño de máquina, únicamente un valor unitario por servicio o intervención del orden menor o mayor en el tiempo; la tabla 18 muestra el costo del mantenimiento actual, y la tabla 19 muestra los costos del mantenimiento al implementar el RCM propuesto.

Como es de notar, el plan de mantenimiento actual se realiza trimestralmente realizando dos intervenciones menores y dos mayores al año; por otro lado, la estrategia de mantenimiento RCM propuesta incluye únicamente dos intervenciones menores y una mayor por año, realizadas cuatrimestralmente.

Tabla 18. Costos del mantenimiento actual.

Mantenimiento Actual	
Frecuencia	Costo IVA incluido
3 meses	\$ 237.868
6 meses	\$ 522.639
9 meses	\$ 237.868
12 meses	\$ 522.639
Total	\$ 1.521.014

Tabla 19. Costos de la estrategia de mantenimiento RCM propuesta.

Mantenimiento RCM	
Frecuencia	Costo IVA incluido
4 meses	\$ 237.868
8 meses	\$ 237.868
12 meses	\$ 522.639
Total	\$ 998.375

En la tabla 20 se muestra el comparativo entre el costo de las diferentes estrategias de mantenimiento, allí se evidencia, que al implementar la propuesta de mantenimiento RCM se lograría un ahorro aproximado de \$ 520.000 COP, para un equipo.

Tabla 20. Comparativa económica entre los dos tipos de mantenimiento.

Comparativa	
Mantenimiento	Costo Total
Actual	\$ 1.521.014
RCM	\$ 998.375
Ahorro	\$ 522.639

5.2.2 Efecto económico sobre todos los equipos. Una vez establecido el impacto económico de implementar la propuesta de mantenimiento RCM a un único equipo, teniendo en cuenta que para efectos contractuales no interesa el tipo o tamaño de máquina que se interviene por servicio de mantenimiento y del estudio de la generalización de la propuesta se obtuvieron 35 equipos a los que se les puede ajustar la estrategia de mantenimiento RCM al 100%, se evalúa el ahorro total como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Ahorro total de la implementación de la estrategia RCM.

Ahorro Total	
Mantenimiento	Costo Total
Actual	\$ 1.521.014
RCM	\$ 998.375
Ahorro Unitario	\$ 522.639
Ahorro (35 Equipos)	\$ 18.292.365

Como se muestra en la tabla 21, al implementar la propuesta de mantenimiento RCM en los 35 equipos a los cuáles se les puede ajustar el plan propuesto, se lograría un ahorro aproximado de \$ 18.300.000 COP, por año.

Es indiscutible, que la implementación de la propuesta de mantenimiento RCM lograría una optimización en el presupuesto general del departamento de mantenimiento, al reducir los costos asociados a los equipos de control de emergencias, asegurando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos para atender cualquier contingencia que se pueda presentar dentro de las operaciones normales del corporativo.

6. CONCLUSIONES

Estudiar y evaluar los diferentes sistemas de funcionamiento del equipo Komara Star de la casa fabricante Vikoma, permitió establecer un orden adecuado para la definición de la taxonomía de la máquina, así como fijar concretamente las funciones operacionales de cada uno de los sistemas asociados al equipo: además, permitió evaluar de forma acertada, la viabilidad para la implementación de la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad de otros equipos que posee la compañía, para la atención de emergencias por derrame de hidrocarburos en cuerpos de agua.

Del estudio de criticidad realizado a la máquina, se pudo evidenciar, que el equipo refleja bajo índice de fallas y riesgo sobre la vida humana y el medio ambiente, en cambio, los impactos asociados con la operación, costos de mantenimiento y el tiempo de reparación son considerables, ya que elevan el nivel de criticidad de cada una de las unidades que conforman el equipo, por encima de lo esperado.

Conocer de primera mano el funcionamiento y operación de la máquina, permitió definir completamente las funciones, modos y efectos de falla que se pudiesen presentar en el equipo, o que pudiesen alterar el correcto funcionamiento del mismo, para evaluar y atender las fallas indeseables a la hora de su uso en una emergencia real, aumentando así la confiabilidad y disponibilidad que se requiere para los equipos de control de emergencias.

A partir de un adecuado análisis de modos y efectos de falla, así como del desarrollo de las hojas de decisión RCM, se pudo establecer una estrategia de mantenimiento

que, no sólo cumple con los lineamientos corporativos, sino que además, integra las múltiples tareas enfocadas a la disminución de fallas imprevistas del equipo o alguno de sus componentes, aumentando así la confiabilidad del conjunto para la atención de emergencias por derrame de hidrocarburos en cuerpos de agua.

Se pudo establecer que al 79% de los equipos con los que cuenta la compañía para la recolección de crudo se le puede asociar completamente la estrategia de mantenimiento desarrollada para el Komara Star 20, permitiendo de éste modo asegurar una reducción anual de aproximadamente \$ 18.000.000 COP, sobre los costos del Departamento de Mantenimiento de la compañía, todo sin afectar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, ni la capacidad del corporativo para atender emergencias por derrame de hidrocarburos en cuerpos de agua, e incumplir políticas ambientales o afectar al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, José; TORRES, Rocío y MAGAÑA, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [En línea]. En: IMIQ, Tecnología, Ciencia, Educación, 2010, vol. 25, no. 1, pp. 15-26. ISSN: 0186-6036. [Consultado el: 23 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>

DÍAZ GUERRERO, Pedro. Memorias de clase de Seminario I: profundización bibliográfica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2017.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. pp. 2-3. ISBN 09539603-2-3.

NIETO, Steven. Historia del Mantenimiento. [En línea]. 2009. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>

OCENSA S.A. Quienes somos. [En línea]. [Consultado el 15 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://www.ocensa.com.co/Paginas/Quienes-somos.aspx>

PATIÑO, Carlos y BETANCOURT, Yamid. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de COCA COLA FEMSA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. 138 p. [Consultado el: 12 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/153886.pdf>

PIPELINE AND HAZARDOUS MATERIALS SAFETY ADMINISTRATION. Pipeline Safety Regulations. Title 49. Part 194. Washington, EE.UU.: La compañía, 2017. 18 p.

VERGARA, Ignacio y PIZARRO, Francisco. Manual control derrames de petróleo, versión preliminar. Santiago de Chile: Naciones Unidas – OMI, 1981. pp. 402 – 450.

VIKOMA INTERNATIONAL LIMITED. Komara Star MKII. Operation and maintenance manual. Isla de Wright, Reino Unido: La compañía, 2010. 89 p.