

Actualización del Plan de Mantenimiento Preventivo de la Empresa Buzca S.A. Sede Coveñas,
Para las Mangueras Marinas Utilizadas en la Transferencia De Hidrocarburos En Operaciones
Off Shore

Genn Edward De Armas Taján

Informe Final de Práctica Empresarial para Optar al Título de Ingeniero de Petróleo y Gas

Director

Ing. Kathy Margarita Daza Brochero

Magister en gestión de la Industria de los Hidrocarburos

Tutor

Ing. Johann Sebastián Jiménez Hoyos

Magister en Ingeniería con Énfasis en Electrónica y Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2023

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Sobre La Empresa.....	14
3. Sistema de Carga y/o Descarga de Hidrocarburos.....	15
3.1. Monoboya	15
3.2. Pipeline End Manifold (PLEM).....	16
3.3. Mangueras.....	16
4. Mangueras Marinas Para Transferencia De Hidrocarburos.....	17
5. Caracterización del Tren de Mangueras	21
5.1. Mangueras Submarinas.....	21
5.1.1. First Under Bouy (FUB).....	21
5.1.2. Main	21
5.1.3. First Off Plem	22
5.2. Mangueras Flotantes	22
5.2.1. First Off Buoy (FOB).....	23
5.2.2. Main Line.....	23
5.2.3. Acople Reducto.....	23
5.2.4. Tail Hose.....	24
5.2.5. Tanker Rail.....	24

5.2.6. Válvula mariposa	24
5.2.7. Camlock	24
5.2.8. Brida.....	24
6. Inspección de Rutina y Mantenimiento Mayor.....	26
6.1. Inspección y Mantenimiento Rutinario Offshore	26
6.2. Inspección Programada On Shore (Mantenimiento Mayor).....	28
6.2.1. Inspección Visual.....	28
6.2.2. Prueba Hidrostática.....	29
6.2.3. Prueba de Vacío	31
6.2.4. Conductividad Eléctrica.....	32
6.2.4.1. Continuidad eléctrica.	33
6.2.4.2. Discontinuidad eléctrica.....	33
7. Fallas	34
7.1. Clasificación General De Las Fallas.....	34
7.1.2. Fallas Según el Tiempo en el que Aparecen.....	34
7.1.3. Fallas Según su Impacto	35
8. Mantenimiento y Sus Tipos	36
8.1. Mantenimiento Correctivo	36
8.2. Mantenimiento Preventivo.....	36
8.3. Mantenimiento predictivo.....	37
8.4. Objetivos del mantenimiento	37
8.5. Control de mantenimiento.....	38
8.6. Indicadores de mantenimiento	38

8.6.1. Confiabilidad.....	38
8.6.2. Mantenibilidad	39
8.6.3. Disponibilidad.....	40
9. Panorama Actual.....	41
10. Herramienta en Microsoft Excel.....	43
10.1. Ejecución de la herramienta.....	43
10.1.1. Ventana de Ingreso String.....	46
10.1.2. Inspección visual.....	47
10.1.3. Prueba hidrostática.....	48
10.1.4. Prueba de Vacío	49
10.1.5. Prueba de conductividad eléctrica	50
10.2. Salida String.....	51
10.3. Reparaciones	51
11. Metodologías enfocadas al mantenimiento.....	53
11.1. Reliability Centered Maintenance (RCM).....	53
11.1.1. Ventajas y desventajas	54
11.2. Análisis de Modo y Efecto de Falla.....	55
11.3. Número Prioritario de Riesgo.	57
11.3.1. Severidad.....	57
11.3.2. Detectabilidad.	58
11.3.3. Ocurrencia.....	58
12. Aplicación de la Herramienta y Metodologías Propuestas.....	60
13. Conclusiones.....	65

Referencias Bibliográficas 69

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Distribución de las mangueras marinas en cada string	25
Tabla 2. Criterio de severidad	57
Tabla 3. Criterio de Detectabilidad	58
Tabla 4. Criterio de Ocurrencia	58
Tabla 5. Nivel de riesgo basado en NPR	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Actores implicados en la operación de carga o descarga	16
Figura 2. Esquema general de una manguera doble carcasa.....	18
Figura 3. Elementos de una manguera flotante.....	19
Figura 4. Sistema FAD activo.....	20
Figura 5. Configuración en forma de linterna china	22
Figura 6. Conexión entre TLU y buque	25
Figura 7. Formula de confiabilidad.....	39
Figura 8. Fórmula de Mantenibilidad	39
Figura 9. Fórmula de disponibilidad.....	40
Figura 10. Ventana de inicio, menú general de la herramienta.	44
Figura 11. Ingreso string.....	44
Figura 12. Menú interno, Ingreso String.....	45
Figura 13. Uso del botón filtrar.....	45
Figura 14. Uso de búsqueda rápida.....	46
Figura 15. Datos generales.....	47
Figura 16. Inspección visual	48
Figura 17. Registro de longitudes en la prueba hidrostática.....	48
Figura 18. Prueba de vacío.....	49
Figura 19. Prueba de conductividad eléctrica.....	50
Figura 20. Listado de mangueras aprobadas para operar.....	51

Figura 21. Listado de reparaciones menores.....	52
Figura 22. Mangueras fuera de servicio.....	52
Figura 23. Ventajas y desventajas del RCM.....	54
Figura 24. Datos generales e inspección visual	60
Figura 25. Pruebas hidrostáticas, vacío y conductividad.....	60
Figura 26. Reparaciones.....	61
Figura 27. Mangueras fuera de servicio.....	61
Figura 28. Mangueras en operación.....	62
Figura 29. AMFE para FOB	63
Figura 30. AMFE para Main Line	63
Figura 31. AMFE para Tail Hose	63
Figura 32. AMFE para Tanker Rail	64

Resumen

Título: Actualización del Plan de Mantenimiento Preventivo de la Empresa Buzca S.A. Sede Coveñas, Para las Mangueras Marinas Utilizadas en la Transferencia De Hidrocarburos En Operaciones Off Shore *

Autor: Genn Edward De Armas Tajan**

Palabras Clave: Mangueras marinas, mantenimiento preventivo, análisis de falla, off shore, monoboaya

Descripción: En la etapa midstream del proceso de los hidrocarburos, existen operaciones de transporte y exportación del petróleo, estas actividades se llevan a cabo en Coveñas, Sucre, Colombia. En este lugar se cuenta con un sistema de carga y descarga de hidrocarburos llamados Tanker Loading Unit (TLU), conformado básicamente por una boya que sirve como punto de amarre para los buques tanques que arriban en esta zona, también cuenta con sistemas de mangueras marinas que permite que el crudo fluya de manera segura y controlada en el ambiente marino. En el presente trabajo se busca conocer cómo opera el sistema TLU, enfocándose en el mantenimiento preventivo de las mangueras marinas, para ello, se consolidaron las acciones que aplica la empresa para el mantenimiento de estas, luego se realiza una búsqueda de las acciones sugeridas por diferentes entes y organismos internacionales con amplios conocimientos en la fabricación y pruebas de estas mangueras. Finalmente, se hizo un comparativo que nos permitió encontrar puntos a mejorar, con lo que se inició consolidando dicha información provenientes de las diferentes pruebas en una herramienta Excel que sirve como punto de partida para los próximos mantenimientos. Adicionalmente, se aplica un análisis de falla complementado con el número prioritario de riesgo que nos permite focalizar riesgos asociados al mantenimiento dando como resultado mejoras en el plan de mantenimiento preventivo realizado a las mangueras marinas, y abriendo puertas para aplicar nuevas estrategias y engranarlas con la ya existentes.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Kathy Margarita Daza Brochero. Magister en gestión de la Industria de los Hidrocarburos. Tutor: Johann Sebastián Jiménez Hoyos. Magister en Ingeniería con Énfasis en Electrónica y Eléctrica.

Abstract

Title: Update of the Preventive Maintenance Plan of the Company Buzca S.A. Coveñas Headquarters, For Marine Hoses Used in the Transfer of Hydrocarbons in Off Shore Operations*

Author(s): Genn Edward De Armas Tajan**

Key Words: Marine hoses, preventive maintenance, failure analysis, off shore, monobuoy

Description: In the midstream stage of the hydrocarbon process, there are oil transport and export operations, these activities are carried out in Coveñas, Sucre, Colombia. In this place there is a hydrocarbon loading and unloading system called Tanker Loading Unit (TLU), basically made up of a buoy that serves as a mooring point for tankers that arrive in this area, it also has marine hose systems that allows crude oil to flow safely and controlled in the marine environment.

In the present work we seek to know how the TLU system operates, focusing on the preventive maintenance of marine hoses, for this, the actions applied by the company for the maintenance of these were consolidated, then a search is carried out for the actions suggested by different international entities and organizations with extensive knowledge in the manufacture and testing of these hoses. Finally, a comparison was made that allowed us to find points to improve, with which we began consolidating said information from the different tests in an Excel tool that serves as a starting point for future maintenance. Additionally, a failure analysis is applied, complemented with the irrigation priority number that allows us to focus risks associated with maintenance, resulting in improvements in the preventive maintenance plan carried out on marine hoses, and opening doors to apply new strategies and mesh them with the already existing.

* Degree Work

** Faculty of Physical Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Kathy Margarita Daza Brochero. Master in Management of the Hydrocarbons Industry. Tutor: Johann Sebastián Jiménez Hoyos. Master in Engineering with Emphasis in Electronics and Electrical.

Introducción

El sector de los hidrocarburos es de gran importancia para el país colombiano, aportando una gran contribución en la economía nacional, en la etapa *midstream*, donde se desarrollan operaciones de transporte y exportación de crudo, estas actividades se llevan a cabo en la costa norte, específicamente en Coveñas, Sucre, Colombia. En este lugar se encuentra el principal terminal marítimo petrolero del país. Para esta operación se emplea un sistema de carga y descarga de hidrocarburos en inglés Tanker Loading Unit (TLU), en este sistema arriban buques tanqueros para ser cargados con crudo (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2013).

El sistema TLU realiza sus operaciones de cargue y descargue de producto en off shore, por tanto, es de vital importancia garantizar la disponibilidad y confiabilidad de las instalaciones y equipos que hacen parte de esta operación, es aquí donde las acciones y planes de mantenimiento cobran gran importancia y deben ser ejecutados de manera correcta con el objetivo de prevenir y/o mitigar incidentes y accidentes que puedan tener implicaciones en el personal, ambientales y económicas, que de no ser tratadas adecuadamente llegarían a tener repercusiones muy graves en los diferentes ámbitos, por ende es indispensable una operación segura y controlada.

Para ejecutar la transferencia de producto, se realiza a través de una monoboya, la cual hace uso de mangueras marinas para conectarse y bombear el crudo hacia los buques tanques. Es completamente normal que estas mangueras marinas en algún momento de su vida útil puedan presentar fallas, ya sean tempranas o tardías, afectando de manera directa o indirecta la operación llegando a causar pérdidas altas de nivel económico y afectaciones al medio ambiente.

Con la finalidad de mantener actualizados los planes y acciones de mantenimiento se pretenden identificar las diferentes pruebas e inspecciones que se aplican al sistema de mangueras

marinas y , siendo este el punto de partida, para luego consolidar de los datos resultantes del mantenimiento realizado, a través de una herramienta en el software Microsoft Excel desarrollada por el autor, permitiendo estandarizar de mejor manera los hallazgos identificados y sus acciones correspondientes, para finalmente caracterizar las estrategias metodológicas y de inspección que se emplean en la industria, y sugerir las más adecuadas para aplicarlas al mantenimiento preventivo actual realizado por la empresa Buzca S.A.

En este contexto es la empresa Buzca S.A., donde se desarrollará la practica empresarial, para optar por el título de ingeniero de petróleos. Esta empresa es la encargada de brindar soporte logístico y técnico, implementando mantenimiento preventivos y correctivos para disponer de los activos del sistema TLU en cualquier momento, garantizando condiciones de salud y seguridad en el trabajo, protegiendo y conservando el medio ambiente.

Este proyecto busca servir de apoyo a los planes de mantenimiento ya existentes en la empresa, creando una oportunidad de mejora en las acciones a implementar, a su vez busca brindar un punto de partida para analizar y recopilar información de los hallazgos identificados.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Actualizar el plan de mantenimiento preventivo de las mangueras marinas flotantes para transferencia de hidrocarburos en las operaciones off shore, como práctica empresarial enfocada en mantenimiento.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las acciones preventivas de todas las actividades que se requieren para lograr la inspección de las mangueras marinas flotantes, establecidas por la empresa BUZCA S.A sede Coveñas.
- Apoyar el proceso de análisis y sistematización de los datos obtenidos de las pruebas que se realizarán en las mangueras marinas.
- Consolidar y verificar los reportes e informes finales generados por el proceso anterior, con el fin de lograr mejorar y estandarizar todas recomendaciones identificadas.
- Proponer estrategias metodológicas que permitan adquirir un progreso continuo en la gestión del mantenimiento preventivo de las mangueras marinas flotantes.

2. Sobre La Empresa

Buzca soluciones de ingeniería S. A., es una empresa con más de 50 años de experiencia en el sector marítimo, que en sus inicios estuvo enfocada en atención de emergencias sub marinas y buceo industrial y salvamento, pero que a día de hoy adicionalmente cuenta con una amplia experiencia en el sector petroquímico y portuario, ofreciendo un servicio de calidad a todos sus clientes, algunos de estos servicios van desde actividades rutinarias de inspección y mantenimiento, buceo industrial, construcción y tendido de tuberías submarinas, mangueras flotantes, mantenimiento a sistema multi boyas y monoboyas costa afuera, entre otras obras civiles, y apoyo logístico y operacional en actividades petroleras (Buzca, 2023). El presente proyecto se llevará a cabo en la sede Buzca, Coveñas.

3. Sistema de Carga y/o Descarga de Hidrocarburos

Existen diversos sistemas para transferencia de hidrocarburos que emplean plataformas flotantes, entre los más utilizados se encuentra los FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*), es una unidad flotante la cual posee los equipos necesarios para producir, almacenar y transferir el crudo). Otra plataforma para cargar hidrocarburos son los SPM (*Single Point Mooring*), este sistema proporciona un punto de amarre para los buques que llegan y son cargados a través del sistema de mangueras marinas (Amaechi, Chesterton, Butler, Wang, & Ye, 2021) (Ju, Amaechi, Dong, Meng, & Ji, 2023).

El sistema de carga de hidrocarburos utilizado en el golfo de Morrosquillo, Colombia, es llamado TLU (Tanker Loading Unit), este es un artefacto naval flotante que consta con una serie de equipos internos y externos que en conjunto permiten y garantizan la operación de carga y descarga de hidrocarburos. Estas instalaciones marítimas tienen gran importancia en la industria ya que acarrear grandes cantidades de producto para ser almacenados y luego transportados en buque como VLCC (*Very Large Crude Carrier*, pueden almacenar hasta dos millones de barriles) o ULCC (*Ultra Large Crude Carriers*, los cuales pueden transportar hasta 4 millones de barriles) (Akyuz & Celik, 2016).

Las partes principales del sistema que componen el sistema TLU se mencionan a continuación (Buzca, 2023).

3.1. Monoboya

Es una estructura marina flotante ubicada en el mar y generalmente anclada al fondo a través de un sistema de cadena o pilotes que tiene diversas funciones, sirviendo de atracadero a los buques para su posterior cargue o descargue. Ver figura 1

3.2. Pipeline End Manifold (PLEM)

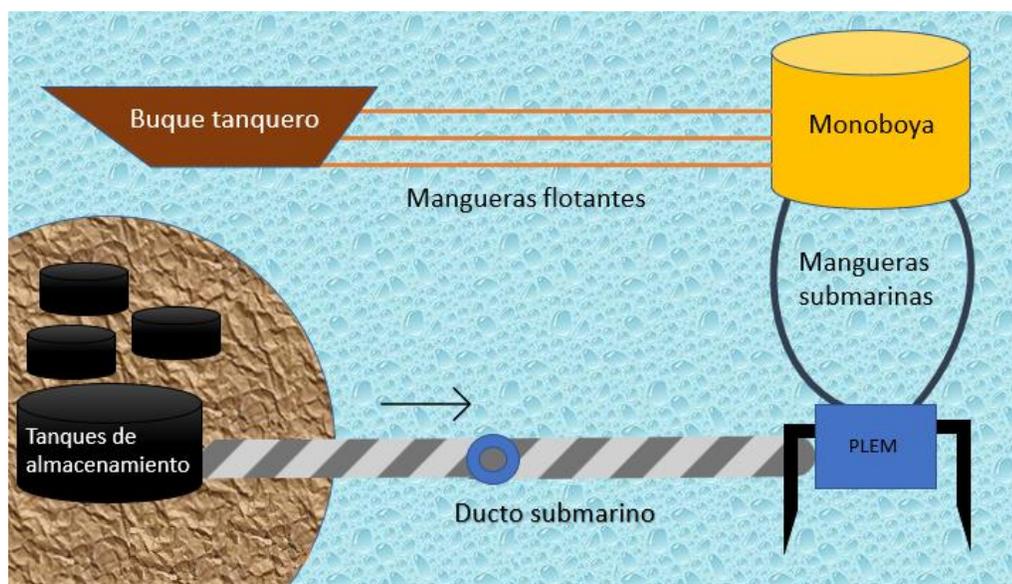
Es un conector múltiple, que se conforma por un conjunto de válvulas y tuberías, válvulas de bola tipo ESD (seguridad), y un receptor de marranos removible, el PLEM cumple la función de unir el flujo del petróleo proveniente desde tierra hacia la monoboya.

3.3. Mangueras

La conexión entre el PLEM y la monoboya se realiza a través de mangueras submarinas con una configuración de linterna china debido a la forma que se crea. Por otra parte, existente una conexión a través de mangueras flotantes por la cual fluye el hidrocarburo para ser cargado a los buques tanqueros, estas se conforman de varios string (tren de mangueras). Estas mangueras poseen flotación integral manteniendo estas mangueras sobre el nivel del mar, a su vez el acople entre cada segmento del string son acoplados mediante uniones bridadas.

Figura 1.

Actores implicados en la operación de carga o descarga



Nota: Transferencia de producto desde los tanques de almacenamiento hacia los buques tanques o viceversa para el caso de importación.

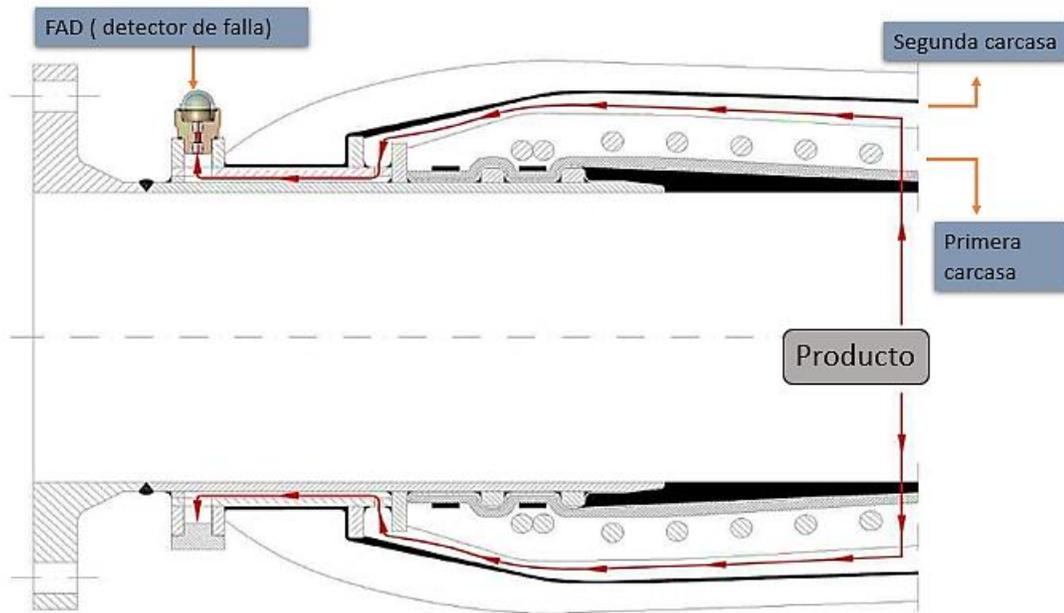
4. Mangueras Marinas Para Transferencia De Hidrocarburos

Las mangueras marinas son de gran utilidad en el sector de los hidrocarburos que desarrolla en el sector off shore, donde existen diferentes cargas variables por las condiciones ambientales que se dan en el lugar. Algunas de las actividades que desempeñan estas unidades son exploración y producción de petróleo y gas, licuefacción de gas, carga y descarga productos, entre otras (Amaechi, Chesterton, Butler, Wang, & Ye, Review on the design and mechanics of bonded marine hoses for Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) buoys, 2021).

Para la correcta ejecución de la operación de cargue o descargue de producto se tienen en cuenta muchos factores y equipos, el presente proyecto tendrá un enfoque en las mangueras del sistema TLU debido a su importancia y el mantenimiento que estas conllevan , las mangueras deben soportar condiciones adversas complejas, tanto en el exterior como internamente, ya que se encuentra en un ambiente marino en el cual las condiciones climáticas son hostiles y cambiantes, por ende, en el diseño y fabricación de las mangueras se deben tener en cuenta estos aspectos, por tal motivo las mangueras utilizadas en el terminal de Coveñas en la TLU cuentan con doble carcasa como se puede observar en la figura 2 (Manuli, 2023).

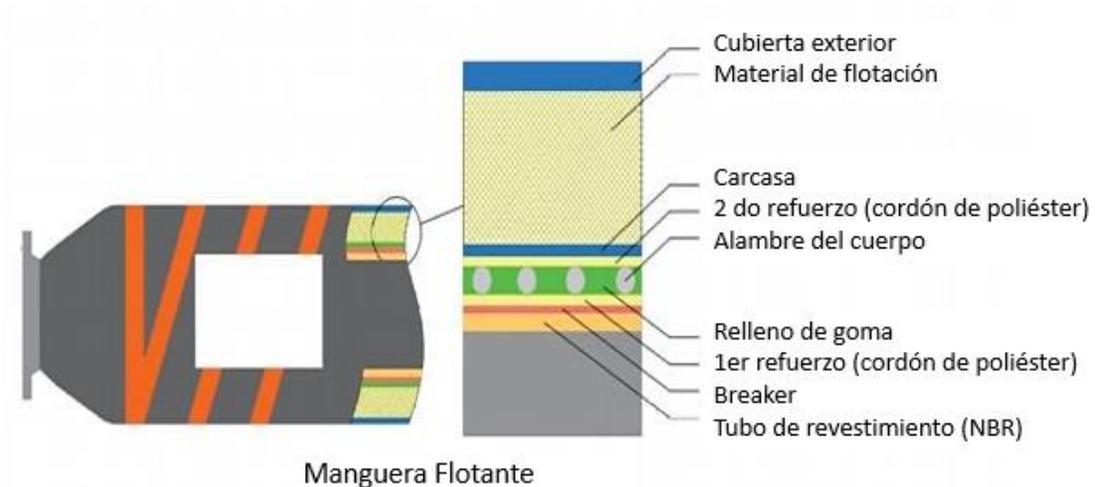
Figura 2.

Esquema general de una manguera doble carcasa



Nota: Adaptado de manuli oil and marine (Manuli, 2023).

A continuación, se enuncian algunas características de las mangueras marinas, cabe resaltar que el diseño y los componentes dependen de cada fabricante, condiciones operacionales y meteomarinas, para este caso la empresa Manuli es la proveedora para el sistema en estudio (Manuli, 2023). En la figura 3 se pueden observar los elementos típicos de una manguera flotante (East Marine, 2023).

Figura 3.*Elementos de una manguera flotante**Nota: Adaptado de (East Marine, 2023)*

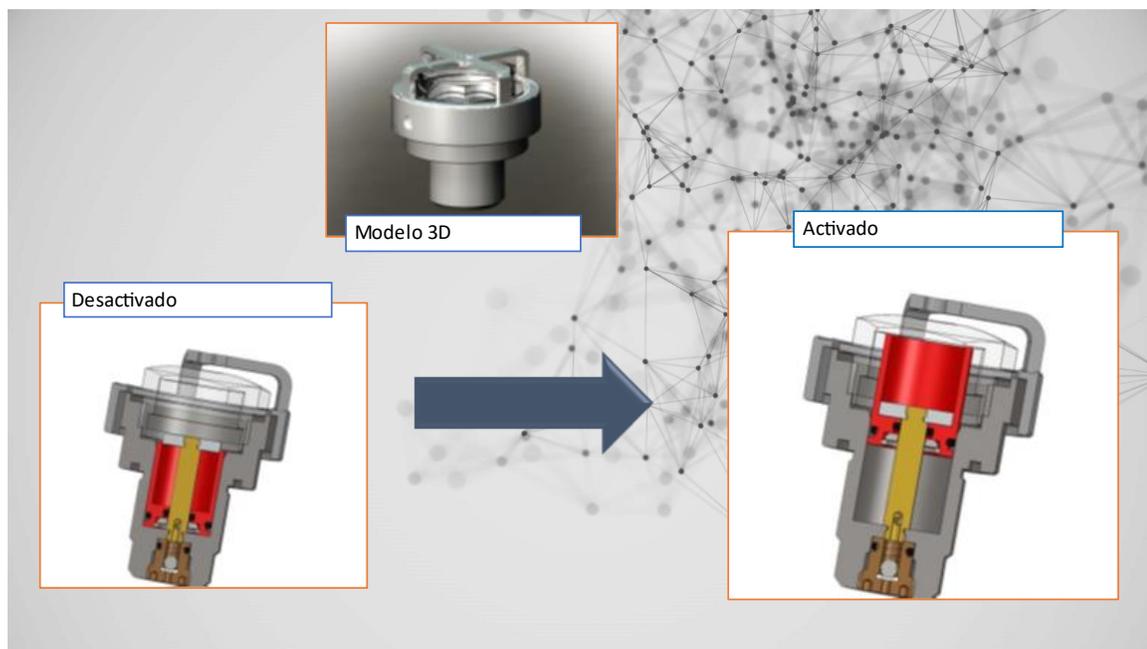
- Cubierta exterior y material de flotación, proporciona protección contra la abrasión, la erosión, y el ambiente marino, a su vez también protege el material de flotación para evitar posibles pérdidas del material provocando disminución en la flotabilidad de la manguera.
- Una carcasa exterior, útil para proporcionar una segunda capa de protección y contención del crudo, en caso tal que exista una fuga por fallas en la carcasa interna, en este caso se activa el detector de fugas *Failure Alarm Device* (FAD) (ver figura 4) ubicado en un extremo de la unidad, esta superficie es la que recibe todas las afectaciones causadas por el clima, aceites, agua de mar y factores operacionales, está compuesta por una capa negra de caucho cloropreno sintético. Cada fabricante tiene su sistema de alarma en caso de fuga.

- La primera carcasa (interna) al igual que la capa exterior es una cubierta de caucho de cloropreno que protege el cuerpo de la manguera, el cual está construido con un revestimiento de elastómero reforzado con múltiples capas de cuerdas textiles de alta resistencia y/o acero embebido con hélice, alambre helicoidal entre las dos carcasas para la continuidad eléctrica.
- El interior del cuerpo es de nitrilo NBR, el cual es un material resistente a los hidrocarburos y aromáticos hasta un 50% y a las condiciones internas de operación como velocidad de flujo máxima de 21 m/s, presión de operación máxima de 25 bares, temperatura interna desde -20°C hasta 70°C.

Cabe mencionar que existen diferencias entre cada tipo de manguera, las cuales se abordaran en breve.

Figura 4.

Sistema FAD



Nota: Sistema de liqueo el crudo fugado impulsa un pistón al interior del FAD. Adaptado de (Manuli, 2023)

5. Caracterización del Tren de Mangueras

El sistema TLU ubicado en Coveñas que será objeto de estudio incorpora dos sistemas por el cual fluye el producto, distintos e independientes entre ellos, pero trabajan en conjunto, estos presentan algunas similitudes y elementos en común, este oleoducto flexible fue suministrado por Manuli y se describe de la siguiente manera (Manuli, 2023).

5.1. Mangueras Submarinas

Este sistema va desde el PLEM hasta el cuerpo de la boya, tiene una disposición de linterna china (llamado así por la forma que genera, ver figura 4), conformada por dos trenes de mangueras de 24 pulgadas, y posee la siguiente configuración, 1 manguera FOP, 1 manguera tipo main y 1 manguera FUB al final. Existen diferentes tipos de configuración como lazy S, tipo S, esto dependerá de las condiciones y el tipo de cargue que se tenga.

5.1.1. *First Under Bouy (FUB)*

Esta unidad se ubica debajo del cuerpo de la monoboya donde se conecta mediante un spool a una válvula, su cuerpo es de 35 ft con diámetro interior de 24 in, consta con anillos de refuerzo donde se colocarán los flotadores para completar la configuración de las mangueras, la cantidad de anillos y ubicación de estos los determina el fabricante, eléctricamente discontinua.

5.1.2. *Main*

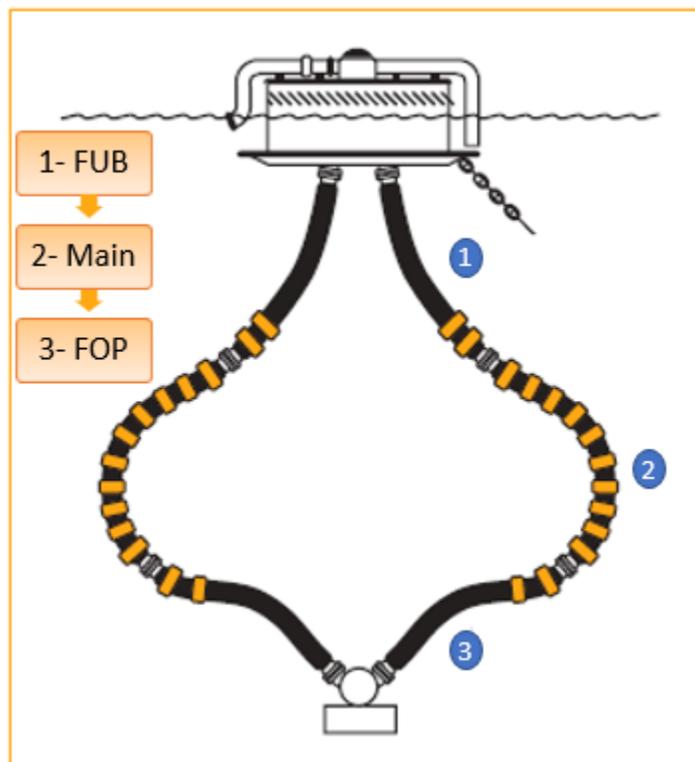
Esta manguera posee refuerzo en todo su cuerpo con la intención de poder ubicar los flotadores en la posición adecuada y cumplir con la configuración de linterna china, diámetro nominal de 24 pulgadas y longitud de 35 pies, eléctricamente discontinua.

5.1.3. First Off Plem

Este componente del string está conectado al plem en el fondo marino, tiene un diámetro nominal de 24 pulgadas y 35 pies, posee anillos de refuerzo para la instalación de flotadores, la ubicación y la cantidad de flotadores depende que cada compañía, eléctricamente discontinua.

Figura 5.

Configuración en forma de linterna china



Nota: Para lograr la configuración adecuada la empresa realiza un estudio previo para el posicionamiento y tipo de los flotadores (Manuli, 2023).

5.2. Mangueras Flotantes

El segundo sistema de mangueras, son las flotantes, compuestas por trenes de mangueras, estas se conectan a los codos que se encuentran en la exterior del cuerpo de la boya, con una

configuración descrita a continuación (ver tabla 1), estas se conectan al buque tanque y son la conexión final para cargar hidrocarburos o en su defecto realizar la descarga del producto. Cada string tiene longitudes diferentes ya que al momento de conectarlas debe haber separación para evitar fricción entre cada string ya que al conectarlos a buque debe tener una configuración en forma de U como se observa en la figura 5.

5.2.1. First Off Buoy (FOB)

Es la primera unidad del string y se conecta a la salida del codo de la TLU, tiene un diámetro nominal de 20 pulgadas, 35 ft de longitud, su cuerpo posee doble carcasa y la mitad del cuerpo (aguas arriba) tiene flotadores para disminuir la carga a soportar por la unión bridada al codo, adicional a esto es eléctricamente continua.

5.2.2. Main Line

Estas mangueras componen un gran porcentaje del string, esta unidad tiene un diámetro interior de 20 pulgadas, longitud de 35 pies, tiene flotadores integrados en todo su cuerpo (reserva mínima de boyanza del 20%), posee doble carcasa y es eléctricamente continua.

5.2.3. Acople Reducto

Este oleoducto flotante (mangueras flotante) emplea un Marine Breakaway Coupling (MBC), con la cual se reduce la sección de flujo de 20 pulgadas a 16 pulgadas para las siguientes mangueras, adicionalmente esta herramienta es útil para brindar un punto seguro en la operación ya que puede activarse cuando exista sobrepresión repentina o una tensión axial mayor al rango operativo, garantizando un cierre total y desconexión con el resto del string evitando derrames de producto y contaminación al medio ambiente.

5.2.4. Tail Hose

Manguera flotante de doble carcasa, con refuerzo adicional debido al contacto que puede tener con la coraza de la embarcación, situada después de la MBC de diámetro nominal de 16 pulgadas y longitud de 35 pies, su cuerpo es eléctricamente discontinuo. Al igual que las de tipo Main, posee flotadores en todo su cuerpo.

5.2.5. Tanker Rail

Es la última manguera flotante del string, posee doble carcasa, con refuerzo adicional debido al contacto y/o dobles que se presenta al momento de la conexión, un diámetro nominal de 16 pulgadas y de longitud 35 ft, al final de esta manguera se incorpora una válvula y un elemento de conexión a buque, sus flotadores se ubican en ambos extremos de la manguera.

5.2.6. Válvula mariposa

Ubicada después de la Tanker rail hose y antes del camlock, este accesorio cumple la función de gestionar el flujo haciendo uso de placas llamadas “mariposa” permitiendo aumentar o disminuir el caudal.

5.2.7. Camlock

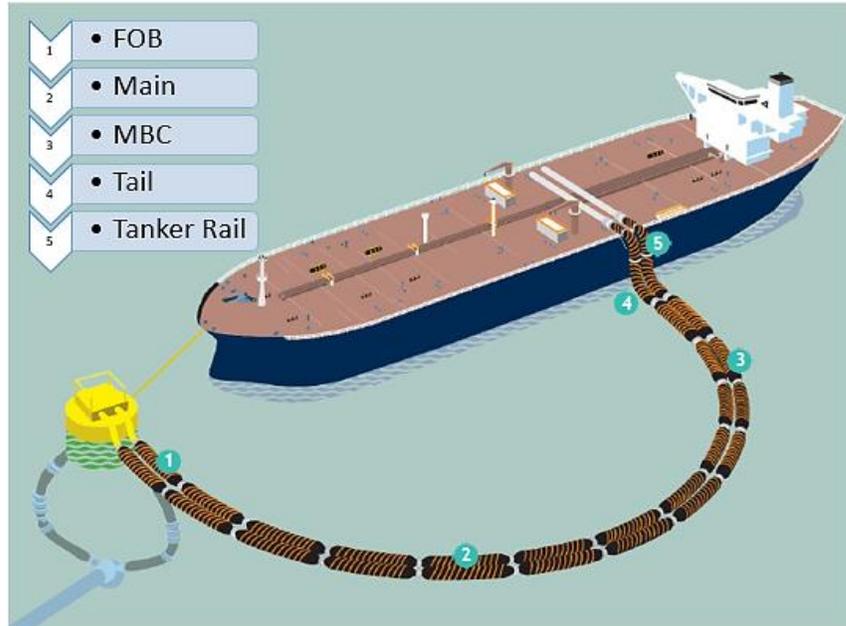
Último elemento del oleoducto flotante, utilizado para generar conexión segura y rápida con el carguero para realizar la transferencia de producto, este accesorio está integrado por levas que hace más fácil la operación de conexión y desconexión entre el string y el buque.

5.2.8. Brida

Componente metálico acoplado a cada manguera para realizar ensamble entre ellas, mediante el uso de pernos de unión.

Figura 6.

Conexión entre TLU y buque



Nota: Adaptado de (OCIMF (Compañías petroleras Foro Internacional Marina), 2009)

Tabla 1.

Distribución de las mangueras marinas en cada string

	FOB	Main Line	Tail	Tanker Rail
String #1	1	26	3	1
String #2	1	27	3	1
String #3	1	28	3	1

Nota: tomado y modificado de (BUZCA, 2022).

6. Inspección de Rutina y Mantenimiento Mayor

Al momento de inspeccionar las mangueras marinas se debe tener en consideración los contextos operacionales de cada zona geográfica, ya que las condiciones climáticas son diferentes y tienen implicación a la hora de efectuar cualquier maniobra en el terminal marítimo. De igual manera tener especial cuidado a la hora de manipular y disponer las mangueras marinas en tierra, adicionalmente se asumen todas las recomendaciones estipuladas por el cliente y el fabricante tal como lo sugiere OCIMF, entidad fundamental a la hora de proponer guías que ayudan a garantizar las operaciones marinas (OCIMF (Compañías petroleras Foro Internacional Marina), 2009). A continuación, se describirán las acciones para la inspección de mangueras marinas de acuerdo con el plan de mantenimiento y a la frecuencia establecida por la empresa Buzca.S.A. y el cliente final (Buzca, 2023). Estas inspecciones incluyen prueba hidrostática, prueba de vacío, continuidad eléctrica entre otras que de igual manera serán descritas en el presente informe.

Cabe resaltar que al momento de ejecutar las pruebas y acciones de mantenimiento son necesarias una serie de herramientas y equipo que cumplan los parámetros y estándares establecidos para implementar dicha actividad, como también elementos de protección personal y funcionarios capacitados para desarrollar la operación bajo parámetros establecidos por normas internacionales (BUZCA, 2022).

6.1. Inspección y Mantenimiento Rutinario Offshore

Para garantizar una operación segura y cuidado del medio ambiente, antes de la llegada de cada buque que atraca en el terminal marítimo ya sea que se disponga a cargar o descargar producto requiere de inspecciones y mantenimientos previos a esta operación, dentro de estas inspecciones

se efectúan actividades específicas realizadas por buzos capacitados para estas maniobras: Examinar la integridad de las mangueras marinas, cuerpo de la boya, plem y verificación de apertura y cierre de válvulas.

Se inspeccionan las mangueras flotantes tanto el área sumergida como la superficie flotante, se revisa visualmente todo su cuerpo, bridas (oxidación y su orientación horaria con respecto al flujo del crudo) , pernos, espárragos y tornillos (se procede a comprobar manualmente cada brida escogiendo al azar 4 espárragos en forma de cruz, en caso de encontrar alguno flojo, se realiza ajuste y se verifican todos los espárragos de la brida realizando el reporte oportuno, para verificar el retorqueo), sistema de liqueo (FDA), ánodos de protección también llamados ánodos de sacrificio (inspección visual del estado general del ánodo verificando su anclaje, removiendo las incrustaciones marinas y especificar el porcentaje de desgaste, este se determinará visualmente tomando como referencia el 100% en su estado original, de igual manera se efectuará la toma de potenciales en los ánodos de acuerdo a criterios establecidos por el CLIENTE, mediante la utilización de un Baticorrometro), también se revisan luces de posicionamiento, válvulas MBC con su flotador y válvula mariposa.

Las mangueras submarinas se evalúan visualmente por todo su cuerpo, bridas, espárragos, tuercas, sistema de liqueo, ánodos de protección, collarines, flotadores, estado general de tornillos y empaques, evidenciando manchas en el exterior o que estén fuera de su sitio y estado de los flotadores.

Se efectúan limpiezas de incrustaciones marinas en los activos que se requiera (algas, crustáceos, entre otros) en caso de ser necesario, se procede a retirarlas con mucho cuidado haciendo uso de rasquetas metálicas, cepillos con cerdas metálicas o de nylon.

En las mangueras marinas, flotadores y otros activos pueden exhibir descubrimientos que afectan la integridad como: Abrasión, corte, rasgadura, abolladura, corrosión en bridas, dobles, desprendimiento de cobertura, desprendimiento de capa de flotación.

6.2. Inspección Programada On Shore (Mantenimiento Mayor)

De acuerdo con la frecuencia establecida entre el cliente y el operador, y teniendo en cuenta a la OCIMF en su publicación y las recomendaciones por el fabricante, se disponen las mangueras en tierra, posterior a la desconexión de todo el sistema que se realiza off shore. Los string son trasladados a tierra para realizar de manera más eficiente la inspección visual y una serie pruebas, estas acciones están basadas en el formato “INSPECCIÓN Y PRUEBAS DE BANCO DE MANGUERAS MARINAS • BSGI-PT46-OT03-21” propiedad de Buzca. Al terminar todas las pruebas se limpian todos los equipos y herramientas, y área de trabajo.

6.2.1. Inspección Visual

Es el primer contacto en tierra con el string antes de realizar ensayos que impliquen la manipulación de las mangueras, esta revisión permite establecer unas condiciones básicas del estado de nuestro objeto a inspeccionar y pueden arrojar indicios claros hacia que puntos se deben focalizar en las pruebas futuras, la inspección visual se realiza de manera minuciosa y detallada (Buzca, 2023) enfocándose en:

- Cubierta exterior y medio de flotación, aquí podemos apreciar consecuencias de falla como corte en profundidad, pérdida de la cubierta o levantamiento del material, rasgadura o compresión del medio de flotación.

- La carcasa exterior, los principales defectos observables que podemos encontrar son aplastamiento, incisiones profundas, cortes con levantamiento de material, envejecimiento de la cubierta, torsión, burbujas en la carcasa.
- Cubierta interior, al interior de la manguera podemos apreciar defectos tales como separación de la cubierta interior, cuarteo del material, protuberancias o ablandamientos.
- Accesorios, utilizados para unir las mangueras, se detalla la cara del sello, corrosión en el acople o revestimiento y el espacio entre ellos.

Los resultados provenientes de la inspección visual deben ser registrados en el formato estipulado.

6.2.2. Prueba Hidrostática

Antes de efectuar la prueba como tal, se requiere adoptar medidas previas, empezando por izar la mangueras desde los rack para disponerlas en el Trail de transporte, la maniobra de izado debe realizarse mínimamente con tres puntos de sujeción que se encuentren equidistante, uno en cada extremo y otro en el centro, para lograr una distribución homogénea del peso permitiendo un izaje equilibrado, permaneciendo la manguera recta, evitando una curvatura que pueda ocasionar una deformación permanente. La sujeción se ejecuta mediante el uso de correas planas o eslingas planas de 150 mm mínimamente, y luego ser trasladado por medio de un camión grúa o retro excavadora hasta el banco de pruebas, luego se baja hasta los rodillos usando el camión grúa y las eslingas comprobando que estén completamente libres y de manera horizontal permitiendo su expansión, finalmente se instalan los empaques y las bridas ciegas en los extremos de la manguera de acuerdo al estándar, las válvulas de venteo se ubican en el tope de la brida, posterior a esto se

procede a llenar con agua dulce o de mar, luego se retira el aire a través de las válvulas de venteo, es recomendable un llenado moderado para evitar intromisión de aire, si esto ocurre se levanta la manguera por un extremo usando las eslingas ya que debe quedar sin aire para realizar la prueba.

La prueba se realiza con una determinada secuencia, primero se aplica una presión de 10 psi y se percibe el comportamiento de las bridas y tornillería, de esta manera permanece por 5 minutos verificando si hay fugas o cualquier anomalía, seguido a esto se mide la longitud total de la manguera (**La**) desde el extremo de la cara de la brida hasta la otra cara.

En el siguiente paso se incrementa la presión a una velocidad máxima de 25,5 psi/min hasta la mitad de la presión establecida para la prueba (137,5 psi), este valor se fija en base al fabricante y puede variar, dicho valor de presión está etiquetado en cada manguera bajo las sigla RWP (Rated Working Pressure) siendo esta la presión máxima de trabajo que puede soportar internamente; para este caso las mangueras soportan una presión máxima de 19 bares, en (0,5 x RWP) se conserva estable la presión por media hora, luego se reduce la presión a cero 0 psi con la misma rata como máximo de 25,5 psi/min; seguido a lo anterior se fija una tasa máxima de 51 psi/min hasta alcanzar la presión de prueba (275 psi) y debe permanecer constante por 10 minutos, después de permanecer estable la presión por los 10 minutos se chequean las uniones y se toman medidas de la longitud de la manguera (**Lb**) la longitud parcial y registrar el aumento como porcentaje comprando con la longitud original (La), reducir la presión teniendo en cuenta la rata máxima de 51 psi/min hasta llegar a cero y nuevamente se eleva ligeramente la presión hasta 10 psi, luego se mide la longitud de la manguera registrando la elongación permanente (**Lc**) y se compara en valores de porcentaje con la longitud inicial (La).

En caso de detectarse una fuga en las uniones, esta puede ser corregida ajustando los tornillos (tener cuidado de no aplicar un sobre torque), de no ser corregida con esta primera medida

se debe liberar la presión, examinar y limpiar las caras de la unión, se instalará un nuevo empaque de aramida y reacoplarán las uniones para repetir la prueba, si la anterior acción correctiva no es efectiva y no se detectan otras fugas significativas se revisaran todas las válvulas y bridas ciegas (puede ser necesario una prueba de jabón para hallar fugas mínimas) si después de esto la presión no se mantiene estable se procede a examinar cada manguera en la unión entre la boquilla de acero y la cubierta de goma. Al cabo de todo esto y haber reparado la avería se repite la prueba hasta que sea satisfactoria. Finalmente, al ejecutar de manera adecuada la prueba se calcula elongación temporal y permanente.

Criterio de rechazo, cuando la elongación temporal (**Lb**) excede el rango permitido en fábrica en un **2%** o cuando la elongación permanente (**Lc**) sobrepasa el valor permitido en fábrica en un **0.7%**, la manguera debe desecharse.

$$\text{Elongación Temporal} = (Lb - La) / La \times 100 (\%)$$

$$\text{Elongación Permanente} = (Lc - La) / La \times 100 (\%)$$

6.2.3. Prueba de Vacío

Para esta prueba se requiere que la manguera este completamente horizontal y libre del fluido o cualquier objeto al interior de la manguera, las caras de las bridas deben estar limpias, de ser necesario usar un cepillo de cobre para quitar material remanente, para generar un sello en las mangueras cuando se instalan tapas de acrílico y estas deben estar limpias junto con los empaques para posteriormente aplicar sellante sobre la sección del sello de la placa de vidrio y colocarla sobre la brida de la manguera en ambos extremos. Seguidamente se refuerza este sello pasando una cuerda por los orificios de la tapa de vidrio y concordando con los de la brida, también puede

ser atornillada, pero en esta ocasión se tienen empaques de goma suave, luego se conecta la bomba de vacío al acople del sensor de vacío, y esto se conecta con la tapa de vidrio. Por recomendación de OCIMF cada manguera se pondrá a prueba a 0,85 bares (aproximadamente -14 psi). Se enciende la bomba para aplicar el vacío correspondiente, se cierran válvulas y se mantiene el vacío por al menos 10 minutos, luego de permanecer estable el vacío por los 10 minutos se permite hacer uso de una lámpara (500 Watts) o un espejo redirigiendo la luz solar hacia el otro extremo de la brida para iluminar el interior de la manguera y lograr una inspección de mejor calidad, los datos y anomalías debe registrarse en el formato establecido.

Criterio de rechazo, en caso de encontrar burbujas, pandeos, separación de la cubierta interior, rasgaduras, cortes a través de la cubierta interior, el supervisor de la inspección reportara a ingeniería para la evaluación de dichos defectos y así dictaminar si son causa suficiente para retirar la manguera del servicio.

6.2.4. Conductividad Eléctrica

Al momento de ejecutar estas pruebas se realizan bajo las directrices descritas en la guía internacional titulada “International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals”, traducida a Guía Internacional de Seguridad para Buques Petroleros y Terminales (ISGOTT), la manguera debe estar completamente vacía y seca, adicionalmente tener precaución de no generar contacto con elementos conductores (OCIMF (Compañías petroleras Foro Internacional Marina), 2009). Los resultados de las mediciones que se obtendrán en las pruebas deben ser comparados con los valores registrados en los certificados del fabricante.

6.2.4.1. Continuidad eléctrica.

Esta prueba tiene que ser efectuada a todas las mangueras que sean eléctricamente continuas y de manera individual, estas mangueras deben conservar dicha característica durante y después de las pruebas hidrostática, para esto la manguera debe estar completamente seca y verificar que no haya continuidad entre los rack de apoyo o eslingas, posteriormente se conectan los cables con magnetos o pinzas uno a cada lados de la manguera, por una lado el cable se conecta a una batería de 4,5 voltios y del otro extremo se conecta una lampara de 4 voltios y 0,03 Amperios (si la lampara enciende significa que hay continuidad y puede seguir operando, en caso contrario la manguera debe ser expulsada del servicio). Se sugiere por recomendación de OCIMF usar un medidor de resistencia, y registrar el valor, el cual no debe superar 0,75 ohm / metros.

6.2.4.2. Discontinuidad eléctrica.

Se deben tener en cuenta las mismas precauciones que en la prueba anterior, al momento de realizar la prueba se conectan a ambos extremos los cables provenientes del equipo medidor de resistencia de aislamiento y el resultado de esta debe registrarse, si la resistencia es menor de 25.000 Ohms (este valor establecido en la ISGOTT es para evitar la formación de arcos incendiarios) la manguera debe ser retirada, en caso de ser superior puede seguir operando.

7. Fallas

Siguiendo la definición proporcionada por la RAE (Real Academia Española, 2023), se puede inferir que es un defecto o ausencia de un equipo o sistema el cual evita el correcto desempeño o cumplimiento de su programación. Las fallas pueden presentarse de manera esporádica o progresivas, también están ligadas a la vida útil del activo y por ende estas fallas pueden ser parciales o totales, ya sea que se limite su funcionamiento o su afectación cause un gran impacto en la integridad y funcionalidad del activo (García, 2010).

7.1. Clasificación General De Las Fallas

Las fallas se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, tomando en cuenta diversos factores tales como el tiempo en el que ocurre, las afectaciones que tiene, su consecuencia, el modo en el que aparecen, entre otros. Tomando en cuenta varios autores, se tienen las fallas según el tiempo definidas por María Penkova en 2007, Santiago García en 2010 las define según su consecuencia.

7.1.2. Fallas Según el Tiempo en el que Aparecen

- Fallas tempranas: representan un segmento minoritario del total de las fallas. Estas se manifiestan en la etapa inicial y útil del equipo, sus posibles causas provienen de problemas en el diseño, montaje y/o materiales.
- Fallas adultas: Estas fallas aparecen de manera más notoria y de manera más frecuente en la mejor etapa de la vida útil del activo y son consecuentes por uso inadecuado, condiciones operacionales, baja de calidad de mantenimiento preventivo y su aparición se dan un poco más tarde que las anteriores.

- Fallas tardías: Reducido porcentaje del total de las fallas, suceden de manera lenta llegando a ser repetitivas y se presentan en la vejez del equipo, debido al desgaste de los materiales, corrosión, fatiga

7.1.3. Fallas Según su Impacto

- Fallas parciales: estas afectaciones suelen ser de tipo local derivando en un mal funcionamiento mermando su capacidad de producción y/o confiabilidad, pero puede seguir operando.
- Fallas totales: su gran impacto en la integridad del activo impide la operación de este abriendo lugar a una reparación pronta en caso de ser posible o remplazarlo.

8. Mantenimiento y Sus Tipos

Teniendo en cuenta a la RAE (Real Academia Española, 2023), se puede definir el mantenimiento cómo el conjunto de acciones encaminadas a mantener un determinado equipo o sistema a una condición en la que puedan desarrollar las funciones estipuladas. Para ejecutar dichas acciones en un orden lógico se hace necesario un plan de mantenimiento y este plan de mantenimiento puede empelarse desde diversas perspectivas persiguiendo ciertos objetivos.

El mantenimiento puede clasificarse de distintas maneras, entre las comunes destacan:

8.1. Mantenimiento Correctivo

Las acciones correctivas se ejecutan después de aparecer el fallo, a su vez se puede subdividir en, mantenimiento correctivo de emergencia, se debe corregir la falla de manera inmediata, y el mantenimiento correctivo programado, este también se efectúa después del fallo, pero su intervención se realiza de manera programada (Sexto, 2018).

8.2. Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento tiene como base disminuir la aparición de fallos, y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los activos según lo planificado. Es decir, todas las actividades se desempeñan bajo periodos de tiempo determinados buscando reducir la probabilidad de que aparezca el fallo. Este tipo de mantenimiento se puede desarrollar de manera sistemática, en secciones habituales de tiempo, por otra parte, puede presentarse el mantenimiento preventivo basado en la condición, el cual hace uso de la criticidad del equipo, su estado actual y previos acontecimientos para lograr de mejor manera el objetivo principal (Gamarra, 2004).

8.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento se cimienta en la recopilación periódica de información, seguimiento y monitoreo con la intención de detectar síntomas e intervenir el activo antes que se haga evidente un fallo. Se emplean ensayos no destructivos los cuales permiten seguimiento a las variables implicadas permitiendo generar señales de alarmas advirtiendo la futura aparición de una falla (Perez, 2021).

8.4. Objetivos del mantenimiento

La responsabilidad básica del mantenimiento es apoyar el desempeño de todas las tareas necesarias para establecer y mantener condiciones que garanticen el correcto funcionamiento del activo dentro del proceso operativo. Otros puntos en lo que se enfoca el mantenimiento son los siguientes (Gómez de León, 1998):

- Mantener el activo en condiciones operativas eficientes y seguras
- Realizar un control del estado de los activos y su disponibilidad
- Reducir las fallas esporádicas
- Aumentar la disponibilidad y fiabilidad de los activos
- Reducir costos de mantenimiento al mínimo posible

Para lograr lo anteriormente planteado, la empresa cuenta con un modelo definido para el mantenimiento y el cumplimiento de sus objetivos, los cuales son extender al máximo la vida útil del activo con el menor gasto posible; por ello ya se tiene designada una serie de actividades a realizar en un tiempo medido.

8.5. Control de mantenimiento

Después de generar el plan de reparaciones, asignar el personal y recursos necesarios, es importante establecer un control en la gestión y seguimiento de la información técnica y económica (costos). Para esto se requiere enfatizar y procesar información proveniente de las diferentes actividades y registros de inspecciones anteriores e ir agregando la información que se va generando de acuerdo con lo planeado (Prando, 1996).

8.6. Indicadores de mantenimiento

Los conceptos y fórmulas descritos a brevedad son muy útiles a la hora medir la gestión actual del mantenimiento, los cuales son: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. De esta manera, se puede realizar un comparativo con el valor actual y con el valor futuro después de aplicar las mejoras al mantenimiento (González A. , 2021).

8.6.1. Confiabilidad

Es la capacidad que tiene un equipo o activo a desarrollar sus funciones establecidas sin presentar fallas y teniendo en cuenta las condiciones operacionales y el tiempo que debe permanecer operando. Este equipo es altamente confiable si el tiempo entre fallos es mínimo. Una medida para la confiabilidad está determinada bajo la siguiente formula, ver figura **X**.

Figura 7.

Formula de confiabilidad

$$\text{CONFIABILIDAD} = \text{TPFE} = \frac{\sum \text{HROP}}{\text{NTFALLAS}}$$

TPFE: Tiempo promedio entre fallas
HROP: Horas de operación
NTFALLAS: Número total de fallas

Nota: tomado y modificado de (Campos I. , 2018)

8.6.2. Mantenibilidad

Capacidad de un activo que ha presentado una falla interrumpiendo su funcionalidad, sometido a condiciones de uso, para ser restituido o recuperado y volver a estar bajo ciertos parámetros y cumplir adecuadamente su función. Este concepto se mide con el tiempo medio para reparar dicho fallo, ver figura 8

Figura 8.

Fórmula de Mantenibilidad

$$\text{TPPR} = \frac{\text{Tiempo de averías}}{\text{Numero de averías}}$$

TPPR: Tiempo promedio para reparar

Notas: Adaptado de (Campos I. , 2018)

8.6.3. Disponibilidad

Este concepto agrupa los dos términos anteriores y puede definirse como una función que busca conocer el tiempo total en el que el activo está disponible para cumplir sus funciones dentro de la operación de manera eficiente, ver figura 9.

Figura 9.

Fórmula de disponibilidad

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{TPEF}}{\text{TPEF} + \text{TPPR}}$$

TPFE: Tiempo promedio entre fallas
TPPR: Tiempo promedio para reparar

Nota: adaptado de (Campos I. , 2018)

9. Panorama Actual

El sistema de mangueras marinas es un oleoducto flotante y flexible. Este sistema opera bajo condiciones ambientales adversas que ofrece el ecosistema marino y está ubicado en la zona costera del golfo de Morrosquillo, entre los departamentos de Córdoba y sucre, Colombia.

La función que desempeña este sistema es permitir de manera controlada y segura el flujo de hidrocarburos desde la monoboya (Tanker Loading Unit) hasta los buques tanques que atracan en ella. Estas mangueras se conectan a los diferentes buques que arriban bajo concertaciones previas, y permiten la exportación o importación de productos derivados del petróleo.

La estrategia empleada actualmente para este sistema se basa en una mezcla de mantenimiento correctivo y preventivo, mediante el cual se realizan intervenciones al sistema cuando aparece una falla. También se ejecuta un mantenimiento preventivo con revisiones periódicas y otra medida dentro de este mantenimiento es la parada del sistema, de esta manera se logra obtener mejores inspecciones de las condiciones del activo y la aplicación de ensayos no destructivos registrando las mediciones realizadas para establecer si pueden seguir operando de manera segura y funcional (Buzca, 2023).

Esta manera de proceder presenta algunas limitaciones a pesar de resolver las fallas y garantizar la disponibilidad del equipo. En la actualidad no se tiene un seguimiento bajo un procedimiento adecuado que permita evaluar la aceptación de dicha corrección. Hoy en día se realiza un seguimiento basado en la experiencia, pero no se registran datos referentes de dicha falla que permita hacer un análisis y seguimiento adecuado.

Los mantenimientos mayores que ha realizado la empresa a cada string pueden ser usados como punto de partida para crear una base de datos que permita integrar nuevas estrategias de mantenimiento.

Tras efectuar los mantenimientos mayores programados, los datos obtenidos quedarán registrados en la herramienta de Microsoft Excel creada por el autor, lo cual proporciona un punto de partida para implementar un análisis que nos acerque a un mantenimiento predictivo, esto no quiere decir que se dejen de lado los otros tipos de mantenimiento, por el contrario, se desea integrar este tipo de mantenimiento para obtener mayores beneficios en la prevención de fallas, representando de esta forma mejoras en el mantenimiento integral.

Estos datos representan oportunidades de optimizar el mantenimiento ya aplicado. Más adelante, se describen estrategias metodológicas que permiten la utilización adecuada de los datos registrados en la herramienta de Excel.

10. Herramienta en Microsoft Excel

Se decide emplear el software Microsoft Excel ya que resulta ser una excelente herramienta de apoyo debido a su practicidad, su escalabilidad, y la cercanía que se tiene de antemano con este tipo de tecnologías lo cual facilitará en gran medida la apropiación de la herramienta, simplificando el proceso de tabulación y análisis, mejorando la productividad y reduciendo posibles errores de digitación o cálculos. Otras ventajas del desarrollo de la herramienta en Excel es su versatilidad para ir incorporando mejoras, la relación que tiene con otras aplicaciones como SAP. Su accesibilidad es una de sus mayores virtudes permitiendo su uso en diferentes dispositivos móviles y en la mayoría de equipo de cómputo ya que no se requiere una computadora con gran capacidad de procesamiento de información. A partir de ahora esta herramienta se referenciará bajo el nombre de “FIRMAS” (Formato de Inspección y Registros de Mangueras Marinas).

10.1. Ejecución de la herramienta

Esta herramienta está enfocada en facilitar el proceso de análisis y registro de los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el mantenimiento mayor realizado en tierra, las cuales son, inspección visual, prueba hidrostática, prueba de vacío, prueba de conductividad. Esta herramienta se puede aplicar a cada *string* de mangueras la cantidad de veces que decida el usuario.

El primer contacto que se tienen con el libro de Excel es una pestaña interactiva que le permitirá al usuario, ya sea para la digitación de los datos o para observar los resultados de las pruebas del String, navegar en el menú y desplazarse a la ventana de su interés, adicionalmente una pestaña de normativa en la que podrá consultar las normas aplicadas al mantenimiento. Siempre se podrá desplazar entre las diferentes ventanas a través del menú en la parte superior de cada ventana, ver figura 10.

Figura 10.

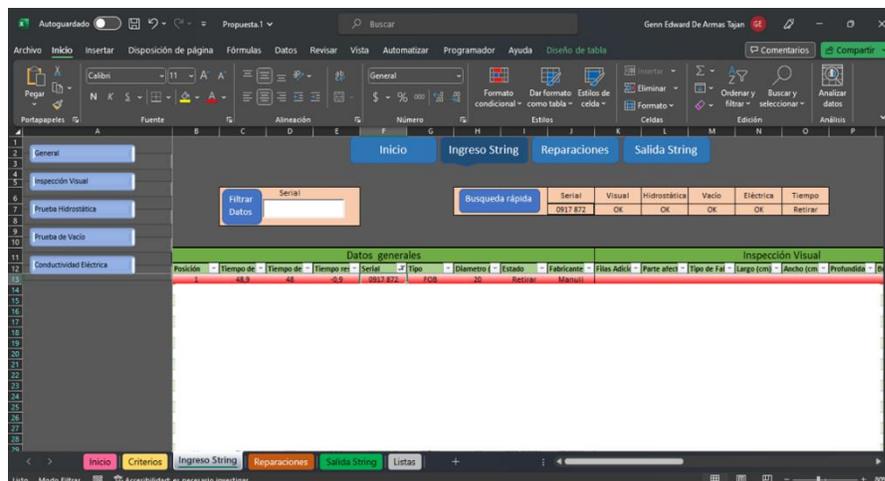
Ventana de inicio, menú general de la herramienta.



Si desea dirigirse a la pestaña de “Ingreso del String”, aquí podrá agregar los datos obtenidos provenientes de las diferentes pruebas que se realizan cuando el String ingresa al área en tierra para su mantenimiento, ver figura 11.

Figura 11.

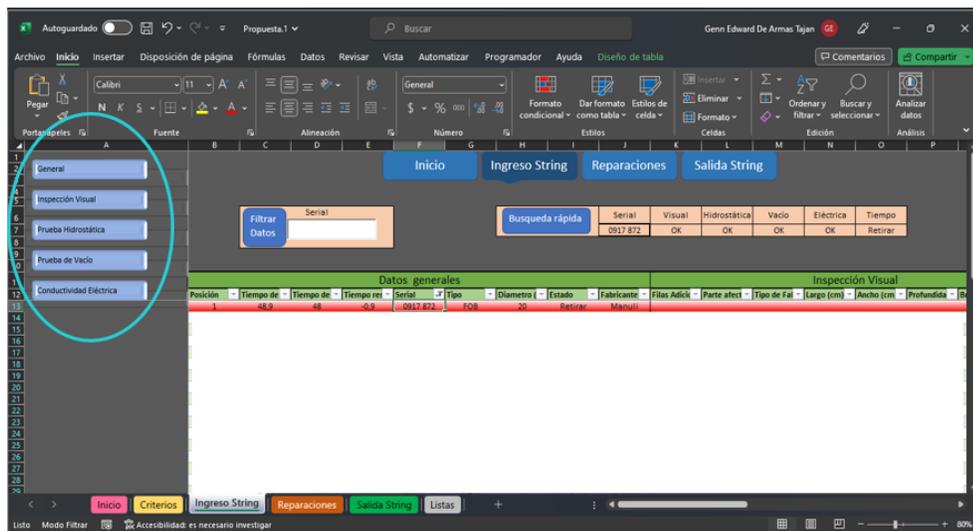
Ingreso string



En la ventana “Ingreso String” se encuentra en la parte superior izquierda un menú interno, que es útil para desplazarse por las diferentes pruebas e ingresar los datos obtenidos o visualizar los que ya se encuentren registrados, ver figura 12

Figura 12.

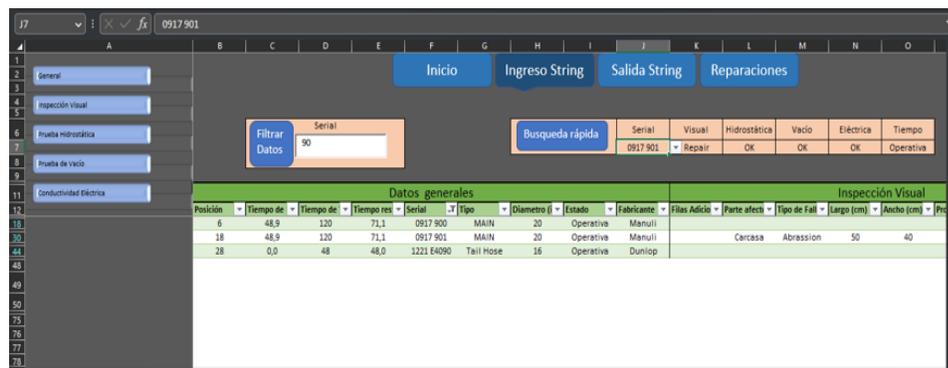
Menú interno, Ingreso String



En la parte central superior se aprecian dos opciones de búsqueda. En la primera opción se pueden filtrar datos, es decir, a medida que se ingresan el número del serial aparecen los resultados que contengan lo buscado, ver figura 13

Figura 13.

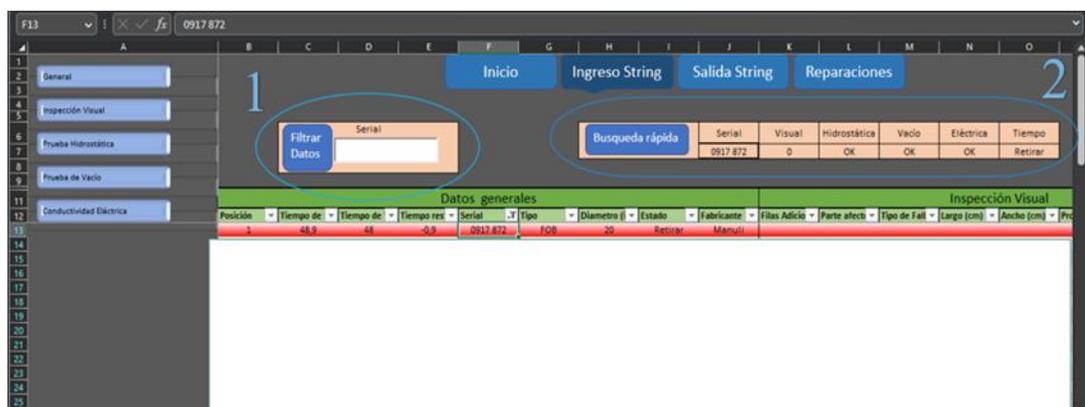
Uso del botón filtrar



A la derecha del botón “Filtrar Datos” se ubica el botón de “búsqueda rápida”, en el cual al momento de ir ingresando el serial se despliega una lista para escoger el segmento del string a buscar o simplemente digitar el serial completo. Luego de esto se muestran los resultados de dicha manguera en cada prueba, esto con el fin de ir a un resultado puntual y evitar que el usuario se desplace en cada zona de la hoja para ver el concepto final, ver figura 14.

Figura 14.

Uso de búsqueda rápida



10.1.1. Ventana de Ingreso String

Para ingresar los resultados de las pruebas, primero se debe registrar información fundamental para identificar correctamente cada segmento del string a analizar.

Primeramente, indicamos la posición de la manguera en el string, seguido del tiempo en servicio y la filosofía de cambio, inmediatamente la herramienta nos arroja cuanto tiempo de servicio le resta a dicha manguera, seguido se ingresa el numero serial, este viene siendo su número de identificación. Del mismo modo se registra que tipo de manguera, su diámetro y fabricante, también existe una columna llamada “Estado” donde se visualiza si la manguera aún permanece operativa o debe ser retirada, ver figura 15.

Figura 15.*Datos generales*

Datos generales									
Posición	Tiempo de	Tiempo de	Tiempo res	Serial	Tipo	Diametro (i)	Estado	Fabricante	
1	48,9	48	-0,9	0917 872	FOB	20	Retirar	Manuli	
2	48,9	120	71,1	0718 464	MAIN	20	Operativa	Manuli	
3	48,9	120	71,1	0818 479	MAIN	20	Operativa	Manuli	

Aquí se pueden evidenciar 2 posibles casos que se pueden presentar, para la primera manguera “0917 872” el criterio arrojado es que sea retirada de servicio porque ya se cumplió su tiempo de vida; en el otro caso, la manguera “0718 464” aún se mantiene operativa, por tanto, cumple el parámetro de tiempo.

10.1.2. Inspección visual

Luego de determinar si existe una, varias o ninguna falla, se debe indicar para el caso que sean 2 o más, el número de dichas averías. En la siguiente casilla el operario selecciona mediante una lista despegable en qué lugar existe la falla seguido del tipo de falla, a su vez se registran las dimensiones de longitud, anchura y profundidad de la avería, seguidamente indicar a que brida se encuentra más cercana, ya sea el lado A o lado B. Finalmente el ingeniero supervisor determinará con el departamento de ingeniería del cliente si se realiza, reparación, limpieza, salida de servicio, entre otras acciones, ver figura 16

Prueba Hidrostática						
Fecha de pr	La (mm)	Lb (mm)	Lc (mm)	ET (%)	EP (%)	Concepto
14/03/2022	10774	10808	10777	0,32%	0,03%	OK
14/03/2022	10801	10827	10804	0,24%	0,03%	OK
14/03/2022	10800	10828	10805	0,26%	0,05%	OK
15/03/2022	10765	10795	10768	0,28%	0,03%	OK
16/03/2022	10808	11031	10811	2,06%	0,03%	Retirar
16/03/2022	10792	10816	10795	0,22%	0,03%	OK
16/03/2022	10800	10831	10804	0,29%	0,04%	OK
16/03/2022	10775	10798	10776	0,21%	0,01%	OK
18/03/2022	10838	10855	10840	0,16%	0,02%	OK
18/03/2022	10782	10804	10785	0,20%	0,03%	OK
18/03/2022	10811	10834	10813	0,21%	0,02%	OK
18/03/2022	10795	10812	10797	0,16%	0,02%	OK
22/03/2022	10804	10825	10805	0,19%	0,01%	OK

Se evidencia casos donde las mangueras cumplen con los parámetros para aprobar los criterios de esta prueba. Adicional se incluye un caso hipotético, con la intención de evidenciar la aplicación de la herramienta. Para este caso la expansión temporal que sufrió la manguera supera el límite establecido por el cliente el cual es del 2%.

10.1.4. Prueba de Vacío

En esta sección se hace el registro mediante el uso de una lista desplegable, en la que el usuario puede escoger, si existe algún defecto en las secciones internas de la manguera, dicho defecto debe indicarse ya sea, corrosión, disminución del diámetro o algún desgaste internos. De no existir alguna anomalía se selecciona la opción “OK”. Ver figura 18.

Figura 18.

Prueba de vacío

Prueba de Vacío						
Fecha de pr	(Lado A)	(Lado B)	Diametro	Linning	Concepto2	
						OK
12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15/03/2022	Corrosión	OK	OK	OK	OK	Retirar
15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15/03/2022	OK	OK	OK	Desgaste	Retirar	Retirar
17/03/2022	OK	OK	OK	Corrosión	OK	OK
17/03/2022	OK	OK	OK	Desgaste	OK	OK
17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK
19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Se evidencia casos donde las mangueras se encuentra en buen estado, por ende, su concepto de “OK”, y se incluyen casos hipotéticos suponiendo existencia de corrosión interna y un desgaste en el Linning, por tanto, el concepto será retirar ambas mangueras.

10.1.5. Prueba de conductividad eléctrica

El usuario podrá elegir si la manguera que se está evaluando es continua o discontinua, así mismo se debe registrar el valor de la resistencia eléctrica para cada sección del string, también se introduce la fecha de ejecución. Ver figura 19

Figura 19.

Prueba de conductividad eléctrica

Prueba de Conductividad Eléctrica			
Fecha de p	Conductivi	Resistencia	Concepto3
14/03/2022	Continua	N/A	OK
14/03/2022	Continua	N/A	OK
14/03/2022	Continua	N/A	OK
15/03/2022	Continua	0	OK
16/03/2022	Continua	7	OK
16/03/2022	Continua	15	Retirar
16/03/2022	Discontinua	0	Retirar
16/03/2022	Discontinua	26000	OK
18/03/2022	Continua	N/A	OK
18/03/2022	Continua	N/A	OK

En este espacio se observan posibles combinaciones hipotéticas evidenciando la aplicación de la herramienta de Excel bajo los parámetros establecidos.

10.2. Salida String

En esta ventana se visualizan las mangueras que podrán operar bajo los parámetros de aceptación durante un periodo determinado. Ver figura 20.

Figura 20.

Listado de mangueras aprobadas para operar

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Inicio		Ingreso String		Reparaciones		Salida String		
3										
4										
5		Datos generales								
6		Posición	Tiempo de Uso	Tiempo de Vida (meses)	Tiempo restante (meses)	Serial	Tipo	Diametro (in)	Estado	Fabricante
7		1	9,3	48	38,7	0918 873	FOB	20	Operativa	Manuli
8		2	63,6	120	56,4	0717 876	MAIN	20	Operativa	Manuli
9		3	63,6	120	56,4	0817 887	MAIN	20	Operativa	Manuli
10		4	63,6	120	56,4	0917 893	MAIN	20	Operativa	Manuli
11		5	63,6	120	56,4	0817 885	MAIN	20	Operativa	Manuli
12		6	63,6	120	56,4	0917 899	MAIN	20	Operativa	Manuli
13		7	63,6	120	56,4	0817 892	MAIN	20	Operativa	Manuli
14		8	63,6	120	56,4	0817 889	MAIN	20	Operativa	Manuli
15		9	63,6	120	56,4	1817 888	MAIN	20	Operativa	Manuli
16		10	63,6	120	56,4	0817 886	MAIN	20	Operativa	Manuli
17		11	63,6	120	56,4	0917 891	MAIN	20	Operativa	Manuli
18		12	63,6	120	56,4	0917 895	MAIN	20	Operativa	Manuli
19		13	63,6	120	56,4	0717 882	MAIN	20	Operativa	Manuli
20		14	63,6	120	56,4	0717 875	MAIN	20	Operativa	Manuli
21		15	63,6	120	56,4	0717 874	MAIN	20	Operativa	Manuli
22		16	63,6	120	56,4	0717 879	MAIN	20	Operativa	Manuli
23		17	63,6	120	56,4	0917 896	MAIN	20	Operativa	Manuli
24		18	63,6	120	56,4	0717 878	MAIN	20	Operativa	Manuli

10.3. Reparaciones

En esta ventana se tiene un listado de las reparaciones menores, acciones que fueron determinadas en conjunto con el cliente. También se registra el listado de las mangueras que fueron retiradas de servicio con su motivo de retiro. Ver figura 21 y 22.

Figura 21.

Listado de reparaciones menores

Reparaciones Menores									
Serial	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Brida (Lado)	Fotos	Criterio	Acción	Reparación	
0917 901	50	40		B		Abrasión: estregamiento o raedura que es despreciable si es solamente superficial o sea que no afecta el refuerzo helicoidal	Reparación de mangueras		
0817 888	30	25		B		Abrasión: estregamiento o raedura que es despreciable si es solamente superficial o sea que no afecta el refuerzo helicoidal	Reparación de mangueras		

Figura 22.

Mangueras fuera de servicio

Mangueras fuera de servicio						
item	Serial	Tipo		Motivo de cambio	Observaciones	Registro Fotográfico
1	0917 872	FDB		Tiempo Cumplido		
2	0917 912	Tail		Tiempo Cumplido		
3	0917 916	Tail		Tiempo Cumplido		
4	0718 492	Tanker		Tiempo Cumplido		
5	0718 486	Tail		Condición. Loose cover	Además del daño visible en la foto se encuentra desprendida la cubierta exterior perimetralmente en los 1,68m de la rasgadura. Brida B. L=168cm; A= 75cm Área total= 12,854m ² 10% de Área total = 1,2854m ² Área afectada= 2,145m ² 10% de Área total < Área afectada	

De esta manera el usuario podrá registrar de mejor manera los datos obtenidos, a su vez también podrá consultar en la pestaña “normativa” criterios de rechazos para las mangueras según la norma que corresponda.

11. Metodologías enfocadas al mantenimiento

Las diferentes estrategias de mantenimiento se pueden resumir como una serie de actividades enfocadas a identificar, recopilar, desarrollar y efectuar una excelente gestión del mantenimiento en cualquiera de las etapas del proyecto en cuestión, ya sea en la fase de diseño, construcción, instalación y/o operación.

A continuación, se exponen dos estrategias ampliamente utilizadas en la industria, cada una con sus ventajas y desventajas, para así optar por la metodología que presente un mejor acople con el plan actual de mantenimiento de la empresa.

11.1. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología con gran reconocimiento a nivel internacional y ampliamente aplicada por diversas industrias. Este tipo de mantenimiento nace en la industria de la aviación en los años 70, concretada por empleados de United Airlines, Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978, pero solo hasta los 1999 se empezó a aplicar debido a la normativa SAE JA1011 en la cual se establecen los requerimientos mínimos para que la metodología llegase a ser un RCM (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018).

Este mantenimiento está orientado en la gestión del mantenimiento buscando aumentar la confiabilidad de un activo o sistema que opera bajo condiciones operacionales específicas, esto se refleja en la disminución del tiempo que un activo permanece inoperante a raíz de una falla.

Este tipo de mantenimiento hace uso de las estadísticas de falla con lo que se puede realizar un análisis de criticidad buscando seleccionar los sistemas más críticos para posteriormente sugerir la aplicación de un mantenimiento, correctivo, preventivo, predictivo o la aplicación el conjunto de ellos (Pinzón).

Para el RCM es de mayor relevancia evitar o disminuir las consecuencias de las fallas que evitar la falla en sí. Resulta importante definir la relación existente entre el contexto operacional y los equipos, dado que un mismo equipo puede funcionar y/o presentar fallos distintos dependiendo de las condiciones de trabajo. Para la aplicación del RCM se requieren dar respuesta a 7 interrogantes (Moubray):

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

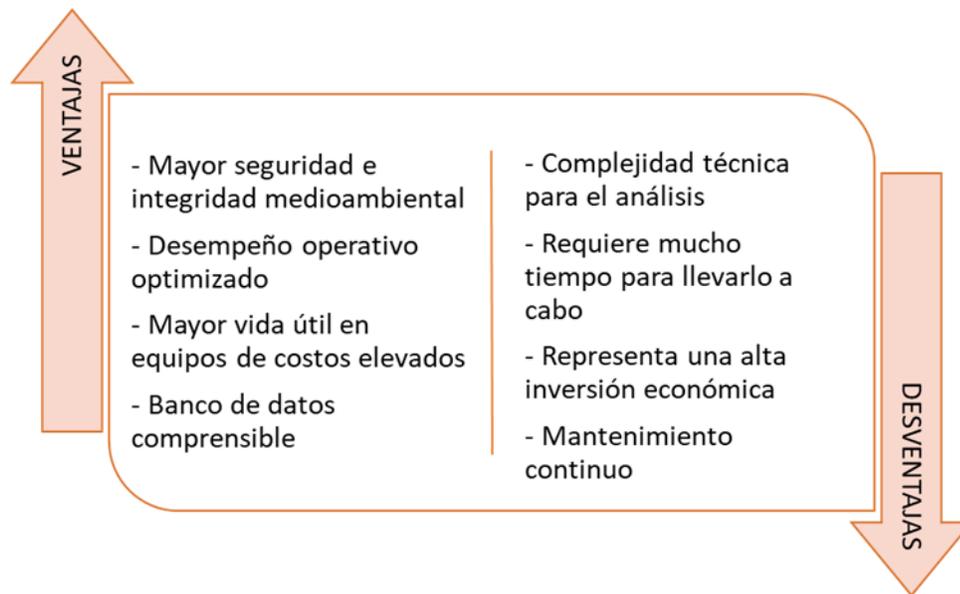
Para resolver las preguntas anteriores se abordarán metodologías para el análisis de fallas, más adelante se describirá una metodología para tal fin.

11.1.1. Ventajas y desventajas

La aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad traerá consigo ciertas ventajas y algunas desventajas, ver figura 23

Figura 23.

Ventajas y desventajas del RCM



Nota: adaptado de (Moubray)

11.2. Análisis de Modo y Efecto de Falla

El análisis de modo y efecto de falla es una técnica o metodología utilizada para cuantificar y calificar los modos de fallas, esta metodología puede ser aplicada a diseños, procesos o sistemas. Por consiguiente, esta técnica busca resolver inconvenientes antes de que aparezcan o bien cuando se han materializado en determinado activo o sistema (Grima & Tort-Martorell, 1995).

Por ello, esta metodología busca dar respuesta a la identificación de los modos de fallas, cuales tiene mayor influencia en la funcionalidad, los efectos provocan estos fallos y su frecuencia. Por consiguiente, se pueden intervenir los modos de falla de acuerdo con su importancia e impacto en la operación con el fin de direccionar de mejor manera las tareas de mantenimiento (Moubray).

Un modo de falla se define como cualquier posible acontecimiento que pueda ocasionar una afectación al equipo, esto resulta importante debido a que un determinado sistema puede fallar por múltiples razones, incluyendo factores externos y humanos.

Las etapas de un análisis de modos de falla a nivel general son las siguientes (Moubray):

- Definir los equipos a evaluar
- Identificar las funciones
- Determinar las fallas funcionales
- Determinar los modos de falla
- Identificar los efectos de la falla

Aplicar este proceso permite gran recopilación de información lo cual resulta en un gran beneficio para la empresa ya que puede ayudar a conocer mejor el equipo y a ajustar los planes actuales de mantenimiento y su integración con otras estrategias como RCM y FRACAS (*Failure Reporting and Corrective Action System*).

Se debe tener en cuenta que esta metodología es ampliamente aplicada en los sectores industriales, trayendo consigo efectos positivos como se puede evidenciar en la investigación realizada por (González, Myer, & Pachón, 2017) en Bogotá, Colombia, la cual se titula “Evaluación de los riesgos antrópicos en la seguridad corporativa: del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) a un modelo de evaluación integral del riesgo”, en la que se propone el AMFE como posible solución a la evaluación de los riesgos que anteriormente no eran calificados adecuadamente, es decir, que las metodologías aplicadas estaban arrojando resultados insuficientes en la práctica, de esta manera se expone esta metodología como camino que permitiría un correcto análisis del panorama actual.

Por otro lado, otra investigación que hace hincapié en los resultados positivos de la metodología ya mencionada es la realizada por (Luna, Mosquera, Suarez, & Mendoza, 2019) la cual se titula “importancia de la herramienta AMEF en los procesos industriales” que tiene como objetivo principal resaltar los beneficios y los alcances de esta herramienta, por consiguiente, se

busca mostrar los efectos positivos en múltiples investigaciones de diferentes áreas y como esta puede ser de gran ayuda en el sector de los hidrocarburos.

Cabe resaltar que ambas investigaciones exponen el AMFE como una herramienta útil que si ha dado resultados altamente exitosos. De acuerdo con González, J. Myer, R. & Pachón, W. (2017) esta herramienta aporta una nueva mirada de análisis para medir los riesgos y de esta manera, se permite no solo la valoración, sino el control de riesgo durante los daños.

11.3. Número Prioritario de Riesgo.

Para un mejor estudio de los riesgos se realiza un análisis cuantitativo del impacto de cada consecuencia provocada por una falla. Por ello, se incluye el Número de prioridad de riesgo (NPR). Bajo este parámetro se integran los criterios de severidad, detectabilidad y ocurrencia (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018).

11.3.1. Severidad.

Se puede entender este concepto como la gravedad producida por el fallo. Ver tabla 2.

Tabla 2.

Criterio de severidad

Nivel	Criterio
4	Efectos críticos en la seguridad o afectaciones irreversibles al medio ambiente.
3	Efectos importantes en la productividad y pérdidas económicas debido a largas paradas y/o reparaciones.
2	Efecto leve en la capacidad productiva y afectaciones económicas leves.
1	No hay implicaciones productivas, poco impacto económico.

Nota: Adaptado de (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018)

11.3.2. Detectabilidad.

Indica la probabilidad de no detectar el fallo antes que ocurra. Ver tabla 3.

Tabla 3.*Criterio de Detectabilidad*

Nivel	Criterio
4	Nula probabilidad de identificar causas de falla potenciales a tiempo.
3	Baja probabilidad de detectar causas de fallas potenciales y corregirlas a tiempo.
2	Mediana probabilidad de detectar causas de fallas potenciales y corregirlas a tiempo.
1	Facilidad para detectar causas de fallas potenciales y corregirla durante la operación.

Nota: Adaptado de (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018)

11.3.3. Ocurrencia

Estimación de la probabilidad de que ocurra el fallo. Ver tabla 4.

Tabla 4.*Criterio de Ocurrencia*

Nivel	Criterio
4	Tasa de falla ≥ 1 (Fallas/año)
3	$0.3 < \text{Tasa de falla} < 1$ (Fallas/año)
2	$0.1 < \text{Tasa de falla} \leq 0.3$ (Fallas/año)
1	Tasa de falla ≤ 0.1 (Fallas/año)

Nota: Adaptado de (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018)

El NPR nos permite establecer el nivel de riesgo que puede tener los diferentes modos de falla, de esta manera se pueden priorizar dichos riesgos. Este valor se calcula de la siguiente manera. Ver tabla 5 para establecer el nivel riesgo de acuerdo con el valor de NPR

$$\text{NPR} = (\text{Severidad}) \times (\text{Detectabilidad}) \times (\text{Ocurrencia})$$

Tabla 5.

Nivel de riesgo basado en NPR

Riesgo	Valor NPR
Alto	$\text{NPR} \geq 36$
Medio	$7 < \text{NPR} < 36$
Bajo	$\text{NPR} \leq 7$

Nota: Adaptado de (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2018)

12. Aplicación de la Herramienta y Metodologías Propuestas

A continuación, se exponen los resultados obtenidos al implementar la herramienta de Excel (FIRMAS) ver desde la figura 24 hasta la figura 28.

Figura 24.

Datos generales e inspección visual

Posición	Prueba Hidrostática					Prueba de Vacío					Prueba de Conductividad Eléctrica				
	Lb (mm)	Le (mm)	ET (%)	EP (%)	Concepto	Fecha de	Lado A	Lado B	Diametro	Linning	Concepto	Fecha de	Conduct	Resister	Concepto3
1					OK						OK		Continua	N/A	OK
2	10822	10809	0.15%	0.03%	OK	12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	11/03/2022	Continua	N/A	OK
3	10829	10816	0.15%	0.03%	OK	12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	11/03/2022	Continua	N/A	OK
4	10808	10777	0.32%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
5	10827	10804	0.24%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
6	10828	10805	0.26%	0.05%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
7	10795	10768	0.28%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	15/03/2022	Continua	N/A	OK
8	10831	10811	0.21%	0.03%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
9	10816	10795	0.22%	0.03%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
10	10831	10804	0.23%	0.04%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
11	10798	10776	0.21%	0.01%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
12	10855	10840	0.16%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
13	10804	10785	0.20%	0.03%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
14	10834	10813	0.21%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
15	10812	10797	0.16%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
16	10825	10805	0.19%	0.01%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
17	10830	10814	0.16%	0.01%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
18	10817	10793	0.25%	0.03%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
19	10819	10793	0.27%	0.03%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
20	10823	10808	0.15%	0.01%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
21	10809	10785	0.24%	0.02%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
22	10810	10790	0.21%	0.03%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
23	10815	10789	0.26%	0.02%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
24	10786	10769	0.23%	0.07%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
25	10834	10810	0.23%	0.01%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
26	10820	10796	0.24%	0.02%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
27															
28															
29															
30															
27	10851	10791	0.75%	0.19%	OK	19/04/2022	OK	OK	OK	OK	OK	19/04/2022	Discontinua	960000	OK
28	10856	10796	0.61%	0.06%	OK	17/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	20/04/2022	Discontinua	590000	OK
29	10843	10784	0.67%	0.12%	OK	18/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/05/2022	Discontinua	530000	OK
30	10840	10796	0.58%	0.16%	OK	19/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	19/05/2022	Discontinua	990000	OK
1	10819	10808	0.13%	0.03%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK

Figura 25.

Pruebas hidrostáticas, vacío y conductividad

Posición	Fecha de p1	Prueba Hidrostática					Prueba de Vacío					Prueba de Conductividad Eléctrica					
		La (mm)	Lb (mm)	Lc (mm)	ET (%)	EP (%)	Concepto1	Lado A	Lado B	Diametro	Linning	Concepto2	Fecha de p1	Conductiv	Resistencia	Concepto3	
2	11/03/2022	10806	10822	10809	0.15%	0.03%	OK	12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	11/03/2022	Continua	N/A	OK
3	11/03/2022	10813	10829	10816	0.15%	0.03%	OK	12/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	11/03/2022	Continua	N/A	OK
4	14/03/2022	10774	10808	10777	0.32%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
5	14/03/2022	10801	10827	10804	0.24%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
6	14/03/2022	10800	10828	10805	0.26%	0.05%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	14/03/2022	Continua	N/A	OK
7	15/03/2022	10765	10795	10768	0.28%	0.03%	OK	15/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	15/03/2022	Continua	N/A	OK
8	16/03/2022	10808	10831	10811	0.21%	0.03%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
9	16/03/2022	10792	10816	10795	0.22%	0.03%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
10	16/03/2022	10800	10831	10804	0.29%	0.04%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
11	16/03/2022	10775	10798	10776	0.21%	0.01%	OK	17/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	16/03/2022	Continua	N/A	OK
12	18/03/2022	10838	10855	10840	0.16%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
13	18/03/2022	10782	10804	10785	0.20%	0.03%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
14	18/03/2022	10811	10834	10813	0.21%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
15	18/03/2022	10795	10812	10797	0.16%	0.02%	OK	19/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/03/2022	Continua	N/A	OK
16	22/03/2022	10804	10825	10805	0.19%	0.01%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
17	22/03/2022	10813	10830	10814	0.16%	0.01%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
18	22/03/2022	10790	10817	10793	0.25%	0.03%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
19	22/03/2022	10790	10819	10793	0.27%	0.03%	OK	23/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	22/03/2022	Continua	N/A	OK
20	25/03/2022	10807	10823	10808	0.15%	0.01%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
21	25/03/2022	10783	10809	10785	0.24%	0.02%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
22	25/03/2022	10787	10810	10790	0.21%	0.03%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
23	25/03/2022	10787	10815	10789	0.26%	0.02%	OK	26/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	25/03/2022	Continua	N/A	OK
24	28/03/2022	10761	10786	10769	0.23%	0.07%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
25	28/03/2022	10809	10834	10810	0.23%	0.01%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
26	28/03/2022	10794	10820	10796	0.24%	0.02%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK
27																	
28																	
29																	
30																	
27	19/04/2022	10770	10851	10791	0.75%	0.19%	OK	19/04/2022	OK	OK	OK	OK	OK	19/04/2022	Discontinua	960000	OK
28	20/04/2022	10790	10856	10796	0.61%	0.06%	OK	17/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	20/04/2022	Discontinua	590000	OK
29	18/05/2022	10771	10845	10784	0.67%	0.12%	OK	18/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	18/05/2022	Discontinua	530000	OK
30	19/05/2022	10777	10840	10796	0.58%	0.16%	OK	19/05/2022	OK	OK	OK	OK	OK	19/05/2022	Discontinua	990000	OK
1	11/03/2022	10805	10819	10808	0.13%	0.03%	OK	28/03/2022	OK	OK	OK	OK	OK	28/03/2022	Continua	N/A	OK

Figura 26.

Reparaciones

Reparaciones Menores								
Serial	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Brida (Lado)	Fotos	Criterio	Acción	Reparación
0917 901	50	40		B		Abrasión: estregamiento o raedura que es despreciable si es solamente superficial o sea que no afecta el refuerzo helicoidal	Reparación de mangueras	
0817 888	30	25		B		Abrasión: estregamiento o raedura que es despreciable si es solamente superficial o sea que no afecta el refuerzo helicoidal	Reparación de mangueras	
0917 899	81	30		B		Abrasión: estregamiento o raedura que es despreciable si es solamente superficial o sea que no afecta el refuerzo helicoidal	Reparación de mangueras	

Figura 27.

Mangueras fuera de servicio

Mangueras fuera de servicio						
item	Serial	Tipo		Motivo de cambio	Observaciones	Registro Fotográfico
1	0917 872	FOB		Tiempo Cumplido		
2	0917 912	Tail		Tiempo Cumplido		
3	0917 916	Tail		Tiempo Cumplido		
4	0718 492	Tanker		Tiempo Cumplido		
5	0718 486	Tail		Condición. Loose cover	Además del daño visible en la foto se encuentra desprendida la cubierta exterior perimetralmente en los 1,68m de la rasgadura. Brida B, L= 168cm; A= 75cm Área total= 12,854m ² 10% de Área total = 1,2854m ² Área afectada= 2,145m ² 10% de Área total < Área afectada	

Figura 28.

Mangueras en operación

Datos generales									
Posición	Tiempo de Uso	Tiempo de Vida (meses)	Tiempo restante (meses)	Serial	Tipo	Diametro (in)	Estado	Fabricante	
1	10,5	48	37,5	0918 873	FOB	20	Operativa	Manuli	
2	64,8	120	55,2	0717 876	MAIN	20	Operativa	Manuli	
3	64,8	120	55,2	0817 887	MAIN	20	Operativa	Manuli	
4	64,8	120	55,2	0917 893	MAIN	20	Operativa	Manuli	
5	64,8	120	55,2	0817 885	MAIN	20	Operativa	Manuli	
6	64,8	120	55,2	0917 899	MAIN	20	Operativa	Manuli	
7	64,8	120	55,2	0817 892	MAIN	20	Operativa	Manuli	
8	64,8	120	55,2	0817 889	MAIN	20	Operativa	Manuli	
9	64,8	120	55,2	1817 888	MAIN	20	Operativa	Manuli	
10	64,8	120	55,2	0817 886	MAIN	20	Operativa	Manuli	
11	64,8	120	55,2	0917 891	MAIN	20	Operativa	Manuli	
12	64,8	120	55,2	0917 895	MAIN	20	Operativa	Manuli	
13	64,8	120	55,2	0717 882	MAIN	20	Operativa	Manuli	
14	64,8	120	55,2	0717 875	MAIN	20	Operativa	Manuli	
15	64,8	120	55,2	0717 874	MAIN	20	Operativa	Manuli	
16	64,8	120	55,2	0717 879	MAIN	20	Operativa	Manuli	
17	64,8	120	55,2	0917 896	MAIN	20	Operativa	Manuli	
18	64,8	120	55,2	0717 878	MAIN	20	Operativa	Manuli	
19	64,8	120	55,2	0917 900	MAIN	20	Operativa	Manuli	
20	64,8	120	55,2	0917 894	MAIN	20	Operativa	Manuli	
21	64,8	120	55,2	0818 468	MAIN	20	Operativa	Manuli	
22	64,8	120	55,2	0718 464	MAIN	20	Operativa	Manuli	
23	64,8	120	55,2	0917 897	MAIN	20	Operativa	Manuli	
24	64,8	120	55,2	0917 901	MAIN	20	Operativa	Manuli	
25	64,8	120	55,2	0818 479	MAIN	20	Operativa	Manuli	
26	64,8	120	55,2	0817 884	MAIN	20	Operativa	Manuli	
27	10,5	48	37,5	0122 E4095	Tail Hose	16	Operativa	Dunlop	
28	10,5	48	37,5	1221 E4090	Tail Hose	16	Operativa	Dunlop	
29	10,5	48	37,5	1221 E4089	Tail Hose	16	Operativa	Dunlop	
30	10,5	24	13,5	1221 E4003	Tanker Rail	16	Operativa	Dunlop	

Al aplicar la herramienta FIRMAS se pueden observar y consultar los resultados de todas las pruebas e inspecciones realizadas a cada parte del segmento del string #1, a si mismo se observa que mangueras requirieron reparaciones (bajo lineamientos del fabricante) y que mangueras necesitaron ser remplazadas para que el sistema pueda seguir operando de manera segura.

Por otro lado, se decide junto con el personal de ingeniería que la estrategia que mejor se amolda en estos momentos, teniendo en cuenta el panorama actual (ya expuesto con anterioridad en el capítulo 9), el contexto operacional y recursos actuales, se opta por la aplicación de la metodología AMFE. Teniendo en cuenta las características de los *String* se decide aplicar esta metodología a cada tipo de manguera. Ver las figuras 29 hasta la figura 32.

Figura 29.

AMFE para FOB

Item	Sistema	Tipo de manguera	Función	Modo de falla	Causa de la falla	Efecto de la falla	Acciones realizadas	Ocurrencia	Detectabilidad	Severidad	NPR
1	Sistema de carga	FOB	Proporcionar protección contra la intemperie y protege al material de flotación.	Pérdida y/o afectaciones de la Cubierta y material de flotación	Compresión del material	Pérdida de material resistente a la intemperie, pérdida de flotabilidad, no se puede garantizar la seguridad de la operación.	Inspecciones rutinarias e inspecciones detalladas programadas.	1	1	2	2
					Corte en profundidad			1	1	3	3
					Loose cover			1	1	3	3
					Corte que levanta el material			1	1	3	3
					Bulge			1	1	3	3
					loose float medium			1	1	3	3
			Segunda capa protectora y de contención en caso de que la cubierta interior falle	Pérdida y/o afectaciones de la Carcasa	Torcedura	No se puede garantizar protección en caso de una fuga. No es capaz de proteger adecuadamente los componentes internos	Inspecciones rutinarias e inspecciones detalladas programadas.	1	1	3	3
					Aplastamiento			2	1	3	6
					Corte que levanta el material			1	1	3	3
					Corte en profundidad			1	1	3	3
					Daño en el refuerzo			1	1	4	4
					Torsión			1	2	3	6
			Primera capa que da protección al lining.	Desgaste de la Cubierta interior	Bulge	Se pierde el resguardo del lining. La segunda carcasa hará la contención en caso de fuga	Pruebas de presión y vacío. Inspecciones programadas	1	2	3	6
					Protuberancias			1	2	4	8
					Cuarteadura interna			1	2	4	8
					Separación del Lining			1	2	4	8
					Soft area (ablandamiento)			1	2	3	6
					Protuberancias			1	2	3	6
Brinda facilidad de conexión entre mangueras y accesorios	Corrosión y/o desgaste en Bidas y acoples	Corrosión en los sellos	Mala conexión, disminuyendo la capacidad contención en altas presiones	Pruebas de presión y vacío.	2	3	1	6			
		Corrosión en el acople			1	3	2	6			
		Corrosión adyacente al revestimiento			1	3	2	6			
Canal seguro creado para resistir el crudo	Daños en el Lining	Espacio entre acople y revestimiento	Riesgo alto de presentar fugas	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1	3	3	9			
		Burbujas de aire o gas			1	3	4	12			
		Separación de la cubierta interior			1	3	4	12			
Evalúan el comportamiento de	Elonciones excesivas	Rasgaduras	No es seguro ejecutar la operación	Pruebas de presión. Actividades programadas	1	3	4	12			
		Cortes a través de la cubierta interior			1	3	4	12			
		Elongación temporal fuera de los rangos permitidos			1	2	4	8			
Previene arcos incendiarios	Conductividad	Elongación Permanente fuera de los rangos permitidos	Puede provocar incendios	Pruebas de conductividad. Actividades programadas	1	2	4	8			
		No tener resistencia eléctrica en el rango permitido			1	2	4	8			

Figura 30.

AMFE para Main Line

2	Sistema de carga	Main Line	Proporcionar protección contra la intemperie y protege al material de flotación.	Pérdida y/o afectaciones de la Cubierta y material de flotación	Compresión del material	Pérdida de material resistente a la intemperie, pérdida de flotabilidad, no se puede garantizar la seguridad de la operación.	Inspecciones rutinarias e inspecciones detalladas programadas.	1	1	2	2
					Corte en profundidad			1	1	3	3
					Loose cover			4	1	3	12
					Corte que levanta el material			1	1	3	3
					Bulge			1	1	3	3
					loose float medium			4	1	3	12
			Segunda capa protectora y de contención en caso de que la cubierta interior falle	Pérdida y/o afectaciones de la Carcasa	Torcedura	No se puede garantizar protección en caso de una fuga. No es capaz de proteger adecuadamente los componentes internos	Inspecciones rutinarias e inspecciones detalladas programadas.	1	1	3	3
					Aplastamiento			1	1	3	3
					Corte que levanta el material			1	1	3	3
					Corte en profundidad			1	1	3	3
					Daño en el refuerzo			1	1	4	4
					Torsión			1	2	3	6
			Primera capa que da protección al lining.	Desgaste de la Cubierta interior	Bulge	Se pierde el resguardo del lining. La segunda carcasa hará la contención en caso de fuga	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1	2	3	6
					Protuberancias			1	2	4	8
					Cuarteadura interna			1	2	3	6
					Separación del Lining			1	2	4	8
					Soft area (ablandamiento)			1	2	3	6
					Protuberancias			1	2	3	6
Brinda facilidad de conexión entre mangueras y accesorios	Corrosión y/o desgaste en Bidas y acoples	Corrosión en los sellos	Mala conexión, disminuyendo la capacidad contención en altas presiones	Pruebas de presión y vacío.	2	2	1	4			
		Corrosión en el acople			1	2	2	4			
		Corrosión adyacente al revestimiento			1	2	2	4			
Canal seguro creado para resistir el crudo	Daños en el Lining	Espacio entre acople y revestimiento	Riesgo alto de presentar fugas	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1	2	3	6			
		Burbujas de aire o gas			1	2	4	8			
		Separación de la cubierta interior			1	2	4	8			
Evalúan el comportamiento de	Elonciones excesivas	Rasgaduras	No es seguro ejecutar la operación	Pruebas de presión. Actividades programadas	1	2	4	8			
		Cortes a través de la cubierta interior			1	2	4	8			
		Elongación temporal fuera de los rangos permitidos			1	2	4	8			
Previene arcos incendiarios	Conductividad	Elongación Permanente fuera de los rangos permitidos	Puede provocar incendios	Pruebas de conductividad. Actividades programadas	1	2	4	8			
		No tener resistencia eléctrica en el rango permitido			1	2	4	8			

Figura 31.

AMFE para Tail Hose

3	sistema de carga	Tail	Proporcionar protección contra la intemperie y protege al material de flotación.	Pérdida y/o afectaciones de la Cubierta y material de flotación	Compresión del material Corte en profundidad Loose cover Corte que levanta el material Bulge loose float medium Torcedura	Pérdida de material resistente a la intemperie, pérdida de flotabilidad, no se puede garantizar la seguridad de la operación.	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas.	1 1 4 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	2 3 3 3 2 3 3	2 3 12 3 2 3 3
			Segunda capa protectora y de contención en caso de que la cubierta interior falle	Pérdida y/o afectaciones de la Carcasa	Aplastamiento Corte que levanta el material Corte en profundidad Daño en el refuerzo Torsión Bulge Abrasión	No se puede garantizar protección en caso de una fuga. No protege adecuadamente las otras partes internas	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas.	1 1 1 1 1 1 3	1 1 1 1 2 1 1	3 3 3 4 3 6 2 3	3 3 3 4 6 2 9
			Primera capa que da protección al lining.	Desgaste de la Cubierta interior	Cuarteadura interna Separación del Lining Soft area (ablandamiento) Protuberancias	Se pierde el resguardo del lining, no hay garantía de contención en caso de fuga	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1 1 1 1	2 2 2 2	3 4 8 8	6 8 8 6
			Brinda facilidad de conexión entre mangueras y accesorios	Corrosión y/o desgaste en Bidas y acoples	Corrosión en los sellos Corrosión en el acople Corrosión adyacente al revestimiento Espacio entre acople y revestimiento	Mala conexión, disminuyendo su capacidad de retención en altas presiones	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas. Pruebas de presión y vacío.	2 1 1 1	3 3 3 3	1 2 6 6	6 6 6 9
			Canal seguro creado para resistir el crudo	Daños en el Lining	Burujas de aire o gas Separación de la cubierta interior Raspaduras Cortes a través de la cubierta interior	Riesgo alto de presentar fugas	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1 1 1 1	3 3 3 3	4 12 12 12	12 12 12 12
			Evaluar el comportamiento de	Elonciones excéntricas	Elongación temporal fuera de los rangos permitidos Elongación Permanente fuera de los rangos permitidos	No es seguro ejecutar la operación	Pruebas de presión. Actividades programadas	1 1	3 3	4 12	12 12
			Previene arcos incendiarios	Conductividad	No tener resistencia eléctrica en el rango permitido	Puede provocar incendios	Pruebas de conductividad. Actividades programadas	1	3	4	12

Figura 32.

AMFE para Tanker Rail

4	sistema de carga	Tanker rail	Proporcionar protección contra la intemperie y protege al material de flotación.	Pérdida y/o afectaciones de la Cubierta y material de flotación	Compresión del material Corte en profundidad Loose cover Corte que levanta el material Bulge loose float medium Torcedura	Pérdida de material resistente a la intemperie, pérdida de flotabilidad, no se puede garantizar la seguridad de la operación.	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas.	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1	2 3 3 3 2 3 3	2 3 3 3 2 3 3
			Segunda capa protectora y de contención en caso de que la cubierta interior falle	Pérdida y/o afectaciones de la Carcasa	Aplastamiento Corte que levanta el material Corte en profundidad Daño en el refuerzo Torsión Bulge Abrasión	No se puede garantizar protección en caso de una fuga. No protege adecuadamente las otras partes internas	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas.	2 1 1 1 1 1 3	1 1 1 2 1 1 1	3 3 3 4 3 6 3	3 3 3 4 6 2 9
			Primera capa que da protección al lining.	Desgaste de la Cubierta interior	Cuarteadura interna Separación del Lining Soft area (ablandamiento) Protuberancias	Se pierde el resguardo del lining, no hay garantía de contención en caso de fuga	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1 1 1 1	2 2 2 2	3 4 8 8	6 8 8 6
			Brinda facilidad de conexión entre mangueras y accesorios	Corrosión y/o desgaste en Bidas y acoples	Corrosión en los sellos Corrosión en el acople Corrosión adyacente al revestimiento Espacio entre acople y revestimiento	Mala conexión, disminuyendo su capacidad de retención en altas presiones	Inspecciones rutinarias e inspecciones mayores programadas. Pruebas de presión y vacío.	2 1 1 1	3 3 3 3	1 2 6 6	6 6 6 9
			Canal seguro creado para resistir el crudo	Daños en el Lining	Burujas de aire o gas Separación de la cubierta interior Raspaduras Cortes a través de la cubierta interior	Riesgo alto de presentar fugas	Pruebas de presión y vacío. Actividades programadas	1 1 1 1	3 3 3 3	4 12 12 12	12 12 12 12
			Evaluar el comportamiento de	Elonciones excéntricas	Elongación temporal fuera de los rangos permitidos Elongación Permanente fuera de los rangos permitidos	No es seguro ejecutar la operación	Pruebas de presión. Actividades programadas	1 1	3 3	4 12	12 12
			Previene arcos incendiarios	Conductividad	No tener resistencia eléctrica en el rango permitido	Puede provocar incendios	Pruebas de conductividad. Actividades programadas	1	3	4	12

13. Conclusiones

- Se logró comprender el contexto operacional y las funciones que desarrolla el sistema de carga y descarga de hidrocarburos ubicado en el municipio de Coveñas, sucre. A su vez se establecen las diferencias y similitudes que presenta cada segmento del string comprendiendo su función en el string.
- Se identificaron las diferentes acciones realizadas por la empresa BUZCA S.A. enfocadas en la preservación de la integridad del sistema, estas acciones se llevan a cabo tanto en offshore y on shore con la finalidad de establecer una operación segura.
- Se realizó la creación de una herramienta en el software Microsoft Excel llamada “FIRMAS” el cual es un formato que permite el registro de los datos provenientes de las diferentes pruebas realizadas a cada manguera. este software se integra con lineamientos internacionales dados por OCIMF y recomendaciones del fabricante, lo cual permite arrojar un concepto sobre el estado, ya sea que pueda seguir operando con normalidad, requerir una reparación o definitivamente debe ser retirada del servicio. De esta manera se consolidan los resultados de las diferentes pruebas obteniendo un registro útil que sería la base para incluir nuevas estrategias o acoplarlas con las existentes, estos datos pueden ser usados para analizar el comportamiento de la manguera en todo el tiempo de vida útil, ver que variables permanecen en el tiempo, así como cuales presentan desviaciones.
- Se observó que el fenómeno que más se presenta en este string es el de abrasión afectando a la pérdida de la cubierta exterior, estas mangueras pudieron ser reparadas debido a los mantenimientos programados ejecutados a tiempo, evitando

que estas afectaciones se esparcieran o permitieran que la afectación fuera mayor, logrando mantener operativas dichas mangueras.

De igual manera, se observó que una manguera tipo Tail, que a pesar del tiempo cumplido presento un desgase en su cuerpo, específicamente un desprendimiento de cubierta exterior exponiendo un área mayor al 10% de la manguera.

- Se identificó que el motivo de cambio predominante en el mantenimiento del string es debido a tiempo de vida útil cumplido, las mangueras bajo este concepto son las tipo FOB, Tail y las Tanker rail, por lo que resulta vital la correcta programación del mantenimiento para realizar estas intervenciones.
- De acuerdo con la metodología aplicada AMFE se lograron identificar los principales modos de falla de cada manguera y sus posibles causantes para que estas sean retiradas de su servicio. Adicionalmente, se integró esta metodología con el número prioritario de riesgo el cual permite cuantificar los hallazgos provenientes de la metodología AMFE. Con lo anterior se logró identificar los siguiente para cada tipo de manguera:
 - FOB: El mayor riesgo para este tipo manguera recae en las afectaciones que suceden al interior, en el linnig, estas afectaciones pueden ser burbujas de gas o aire, separación con la cubierta interior, entre otras. Este riesgo se debe a que este tipo de mangueras solo se le realizan pruebas de inspección al momento de ser instaladas.
 - Main Line: este tipo de manguera presenta sus mayores riesgos de falla debido a la pérdida y/o afectaciones de la cubierta y material de flotación provocados por perdidas en el material que cubre la manguera o a burbujas de aire en esta

zona. Esto se debe a la ocurrencia que presenta este tipo de falla, que de ser atendidas a tiempo no representa un peligro para la operación.

Por otro lado, se encuentra la abrasión. Un estado avanzado de este fenómeno puede afectar la carcasa exterior, la abrasión tiene alta ocurrencia debido al roce existente entre las mangueras.

- Tail: Al igual que las mangueras tipo FOB se presentan riesgo respecto al linnig, adicional a esto, en este tipo de manguera se da un riesgo adicional relacionado a la perdida de material que cubre la maguera, esto se debe al roce que existe entre la maguera y el casco del buque al momento de carga y descarga. Por consiguiente, con lo anterior se evidencia el riesgo de perder sus propiedades eléctricas, este riesgo se relaciona a la severidad en caso de fallar, ya que se pueden provocar incendios.
- Tanker: Estas mangueras tienen un comportamiento de riegos muy similar a las mangueras Tail, ya que estas se encuentran al final del string. Su diferencia radica en que estas mangueras son mas robustas que las Tail por lo que resisten de mejor manera la manipulación al momento del cargue de los buques.
- Después de aplicar un análisis de modo efectos de falla y complementarlos con implementación del número prioritario de riesgo se obtienen valores muy bajos, esto se debe a que en muchas ocasiones se puedan detectar las fallas mediante las inspecciones rutinarias y paradas programadas. Los resultados indican que se tiene un riesgo medio en algunos modos de falla como los expresados anteriormente y esto se debe generalmente a la poca probabilidad de detectar a tiempo la falla o a su severidad en, el NPR para estos casos es de 12.

- La mayoría de los modos de falla presentan un riesgo bajo, su valor de NPR está por debajo de 7, esto permite indicar que las acciones de mantenimientos e inspección son adecuadas para mitigar estas posibles fallas.

Referencias Bibliográficas

- Akyuz, E., & Celik, E. (2016). A modified human reliability analysis for cargo operation in single point mooring (SPM) off-shore units. *Elsevier*. doi:<https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.1016/j.apor.2016.03.012>
- Amaechi, C., Chesterton, C., Butler, H., Wang, F., & Ye, J. (2021). An Overview on Bonded Marine Hoses for Sustainable Fluid Transfer and (Un)Loading Operations via Floating Offshore Structures (FOS). *Marine Science and Engineering*.
- Amaechi, C., Chesterton, C., Butler, H., Wang, F., & Ye, J. (2021). Review on the design and mechanics of bonded marine hoses for Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) buoys. *Elsevier*.
- BUZCA. (07 de Diciembre de 2022). BSGI-PT46-OT03-21 INSPECCIÓN Y PRUEBAS DE BANCO DE MANGUERAS MARINAS. Coveñas, Sucre, Colombia.
- Buzca. (10 de Enero de 2023). Obtenido de <https://www.buzca.com/>
- Buzca. (5 de Enero de 2023). TPT-STD-003 INSPECCIÓN Y PRUEBAS DE BANCO DE MANGUERAS MARINAS . Coveñas, Sucre, Colombia.
- Campos, I. (2018). PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD EN LA EMPRESA DE TRANSPORTE SAYVAN E.I.R.L. Chiclayo.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2018). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *ed de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 51-59.

- East Marine. (2023). *East Marine*. Recuperado el 2023, de <http://m.es.jsdymarine.com/oil-and-marine-hose/single-carcass-hose/single-carcass-floating-hose.html>
- Gamarra, J. (2004). *Slideshare*.
- García, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Díaz de Santos.
- Gómez de León, F. c. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Gomez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.
- González, A. (2021). Confiabilidad y Mantenibilidad en el Ciclo de Vida del Activo.
- González, J., Myer, R., & Pachón, W. (2017). La evaluación de los riesgos antrópicos en la seguridad corporativa: del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) a un modelo de evaluación integral del riesgo. *Revista Científica General José María Córdova* 15(19), 269-289.
- Grima, P., & Tort-Martorell, J. (1995). *Técnicas para la gestión de la calidad*. España: Diaz de santos.
- Ju, X., Amaechi, C., Dong, B., Meng, X., & Ji, J. (2023). Numerical analysis of fishtailing motion, buoy kissing and pullback force in a catenary anchor leg mooring (CALM) moored tanker system. *Elsevier*.
- Luna, D., Mosquera, M., Suarez, N., & Mendoza, J. (2019). *IMPORTANCIA DE LA HERRAMIENTA AMEF EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES*. Popayán: Repositorio FUP.
- Manuli. (5 de Enero de 2023). Recuperado el 2023, de man oil marine: <https://www.manoilmarine.com/products/>

Manuli. (10 de Enero de 2023). *M Oil and Marine*. Obtenido de <https://www.manoilmarine.com/products/>

Moubray, J. (s.f.). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD*. Industrial Press Inc.

OCIMF (Compañías petroleras Foro Internacional Marina). (2009). Guía para la Fabricación Mangueras y de compra de los Amarres Marino 5ed. Bermudas, Reino unido: Bell & Bain Ltd. Glasgow.

Perez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Bucaramanga: Ediciones USTA.

Pinzón, C. (s.f.). Tipos de mantenimiento. *CMMShere*.

Prando, R. (1996). *Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida*. Guatemala: Piedra Santa . Real Academia Española. (14 de 04 de 2023). *Real Academia Española*.

Rey Sancristán, F. (2001). *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Madrid: Fundación confemetal.

Sexto, L. (2018). Tipos de mantenimiento: ¿cuántos y cuáles son? *Electromagazine*, 1-4.

Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2013). *Cadena del petróleo* . Bogota: Strategy Ltda .