

Marco Estandarizado para la Gestión de Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad en
tuberías de transporte de hidrocarburos

César René Antelíz

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

William Pinto Hernández

Doctor en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mi amada familia, mi esposa Adriana y mis hijos Nicolás, Salomé y Samuel, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo a lo largo de este viaje académico. Cada uno de ustedes ha sido mi motivo para esforzarme cada día y alcanzar este logro. A mi madre Marisol, quien, fue quien me dijo que estudiara para salir adelante sus sacrificios, han sido mi ejemplo a seguir y mi mayor fuente de fortaleza. Agradezco profundamente su constante aliento y apoyo, que han sido fundamentales en mi formación como persona y estudiante. Este trabajo está dedicado a ustedes, con todo mi amor y gratitud.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	8
1. Objetivos	13
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos.....	13
2. Desarrollo Marco De Gestión	14
2.1. Integridad Mecánica.....	15
2.2. Ingeniería de confiabilidad	17
2.3. Aseguramiento de calidad.....	20
2.4. Equipo nuevo	23
2.5. Materiales.....	25
2.6. Gestión de mantenimiento	26
2.7. Inspecciones	29
2.8. Capacitaciones y competencias.....	31
2.9. Proceso de mejora continua	34
2.10. Auditorias.....	37
3. Indicadores	40
3.1. Indicadores Estratégicos y operacionales	40
3.2. Indicadores De Aseguramiento de Calidad.....	42
3.3. Indicadores De integridad Mecánica	44
4. Propuesta Estructura De Gestión	46

5.	Propuesta hoja de ruta de implementación del marco estandarizado para la gestión de integridad mecánica y aseguramiento de calidad en tuberías de transporte de hidrocarburos	47
6.	Conclusiones	49
7.	Recomendaciones	50
	Referencias Bibliográficas	51

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Indicadores de Estrategia y Operación</i>	41
Tabla 2 <i>Indicadores de Aseguramiento de Calidad</i>	43
Tabla 3 <i>Indicadores Integridad Mecánica</i>	45

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Proyección de flujo en el poliducto Puente Aranda – El Dorado</i>	11
Figura 2 <i>Elementos Marco de Gestión</i>	14
Figura 3 <i>Proceso de Mejora Continua</i>	35
Figura 4 <i>Proceso de auditoría</i>	38
Figura 5 <i>Estructura Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad</i>	46
Figura 6 <i>Hoja de Ruta</i>	47

Glosario

Afectación: Daño o impacto negativo sobre algo o alguien.

Confiabilidad: Capacidad de los equipos y sistemas para operar de manera continua y sin fallas durante un período de tiempo específico.

Eficiencia operativa: Capacidad de una organización para lograr los resultados deseados con el menor uso de recursos posibles.

Fuga: Escape gradual de un líquido o gas de su contenedor o conducto debido a un defecto o perforación.

Gestión de activos: Prácticas y procesos utilizados para administrar y optimizar el rendimiento de los activos de una organización.

Gestión de integridad: Proceso de asegurar que los equipos y procesos se mantengan en un estado seguro y funcional a lo largo de su vida útil.

Incumplimiento: Falta de cumplimiento de una obligación o regla establecida.

Índice de Confiabilidad del Equipo (ICE): Métrica operativa que evalúa la confiabilidad de equipos específicos utilizando datos de MTBF y MTTR.

Lucro cesante: Pérdida económica que resulta de no poder llevar a cabo una actividad o negocio.

Tasa de Cumplimiento de Metas de Producción (TCP): Indicador que evalúa la capacidad de para alcanzar sus objetivos de producción, relacionado con la confiabilidad de los equipos y la disponibilidad de la instalación.

Tiempo Promedio de Reparación (MTTR): Métrica que evalúa la eficiencia del proceso de mantenimiento al medir cuánto tiempo lleva reparar un equipo o sistema después de una falla.

Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF): Métrica operativa que mide la confiabilidad de los equipos y sistemas al calcular el tiempo promedio entre fallas.

Resumen

Título: Marco Estandarizado para la Gestión de Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad en tuberías de transporte de hidrocarburos*

Autor: César René Antelíz**

Palabras Clave: Integridad mecánica, Aseguramiento de calidad, Cumplimiento normativo, Riesgos, Prevención, Eficiencia, Hidrocarburos, Medio ambiente.

Descripción: El proyecto aborda la gestión de la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad en sistemas de transporte de hidrocarburos, resaltando su importancia en la prevención de riesgos como derrames y fugas. Se reconoce la complejidad de los sistemas de transporte de hidrocarburo. La falta de una gestión efectiva puede resultar en desafíos de coordinación y falta de visibilidad en la gestión de activos. El cumplimiento normativo en la industria de hidrocarburos es estricto en términos de integridad, calidad, seguridad y medio ambiente. La falta de adherencia a las normativas puede conllevar sanciones legales y financieras. Se examina el impacto económico y reputacional de los incidentes, destacando la necesidad de estrategias de gestión preventiva y eficiente. Es esencial implementar prácticas robustas de gestión de integridad y aseguramiento de calidad para abordar los riesgos en la seguridad y la eficiencia operativa. Además, se considera la importancia de las estrategias de gestión ante la evolución de regulaciones y avances tecnológicos en la industria. Por último, se resalta la necesidad crítica de una gestión efectiva en la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad para garantizar la seguridad, proteger el medio ambiente y mantener la eficiencia operativa en los sistemas de transporte de hidrocarburos.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: William Pinto Hernández. Doctor en Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Standardized Framework for Mechanical Integrity Management and Quality Assurance in Hydrocarbon Pipeline Transportation*

Author: César René Antelíz**

Key Words: Mechanical integrity, Quality assurance, Regulatory compliance, Risks, Prevention, Efficiency, Hydrocarbons, Environment.

Description: The project addresses the management of mechanical integrity and quality assurance in hydrocarbon transportation systems, highlighting its importance in preventing risks such as spills and leaks. The complexity of hydrocarbon transportation systems is acknowledged. The lack of effective management can result in coordination challenges and lack of visibility in asset management. Regulatory compliance in the hydrocarbon industry is strict in terms of integrity, quality, safety, and the environment. Non-compliance with regulations can lead to legal and financial penalties. The economic and reputational impact of incidents is examined, emphasizing the need for preventive and efficient management strategies. It is essential to implement robust practices for managing integrity and quality assurance to address risks to safety and operational efficiency. Furthermore, the importance of management strategies is considered in light of evolving regulations and technological advancements in the industry. Finally, the critical need for effective management of mechanical integrity and quality assurance is highlighted to ensure safety, protect the environment, and maintain operational efficiency in hydrocarbon transportation systems.

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: William Pinto Hernández. Dr in Mechanical Engineering

Introducción

La falta de una gestión efectiva de la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad en sistemas de transporte de hidrocarburos puede dar lugar a materialización del riesgo, como derrames, fugas, explosiones e incendios. Estos incidentes representan riesgos significativos para la seguridad de los trabajadores, las comunidades cercanas, el medio ambiente y daños a la reputación de las empresas. Como, por ejemplo, la ausencia de inversiones y mantenimientos en las instalaciones de Petróleos de Venezuela (PDVSA), grupos ambientalistas indicaron que hubo unos 40.000 a 50.000 derrames de petróleo entre 2010 y 2016. Derrames y fugas de crudo debido a infraestructura petrolera abandonada y por descargas operativas, afectan a Venezuela causando daños ambientales considerables^{††}.

La complejidad de los sistemas de transporte de hidrocarburos, de acuerdo al tipo de sustancia peligrosa que contenga son intrincados y abarcan una amplia variedad de activos, desde tuberías y válvulas de seccionamiento hasta infraestructura de almacenamiento (tanques, vasijas, recipientes a presión). La complejidad inherente a estos sistemas puede dificultar la implementación efectiva de unas buenas prácticas coordinadas y sinérgicas. La falta de un enfoque integrado puede dar lugar a desafíos de coordinación, redundancias y falta de visibilidad en la gestión de activos.

El cumplimiento normativo y regulatorio en la industria de hidrocarburos está sujeta a regulaciones estrictas en términos de integridad, calidad, seguridad y medio ambiente. La falta de

^{††} <https://www.cambio16.com/derrames-petroleros-en-venezuela-alimentan-un-desastre-ambiental/>

sinergia, el poco entendimiento de las normas, la ausencia de una estrategia de gestión entre ellas como apoyo en toma de decisiones puede dificultar el cumplimiento de estas regulaciones, lo que podría resultar en sanciones legales y financieras para las empresas.

Revisando el portal SosTecnibilidad de la empresa Ecopetrol entre el 2011 y el 2022 se han registrado 145 incidentes con derrames de hidrocarburo mayores a 1 barril por causa operacional con potencial afectación al medio ambiente.

En Ecopetrol para el 2022 se presentaron 3 incidentes con derrame de hidrocarburo, de origen operacional, mayores a un barril que suman 63.7 barriles derramados con afectación en cuerpos hídricos y /o biodiversidad. Lo cual genera la implementación de estrategias de intervención por componente.

Los costos asociados a la no calidad, es decir, al incumplimiento de procedimientos, especificaciones técnicas, malas prácticas en la implementación de los planes de integridad, lucro cesante causado por una desviación de calidad o una no conformidad declarada, varían y dependen del tipo de riesgo materializado, tipo de producto transportado, afectación a las personas (si ocurre), daño ambiental (si ocurre), del contrato o servicio que se esté ejecutando y de las especificaciones técnicas o cláusulas de los contratos establecidos entre cliente y ejecutor. una buena gestión de los costes de calidad debe de estar implicada la contabilidad de gestión, para poder dar una información veraz y relevante a los decisores.††

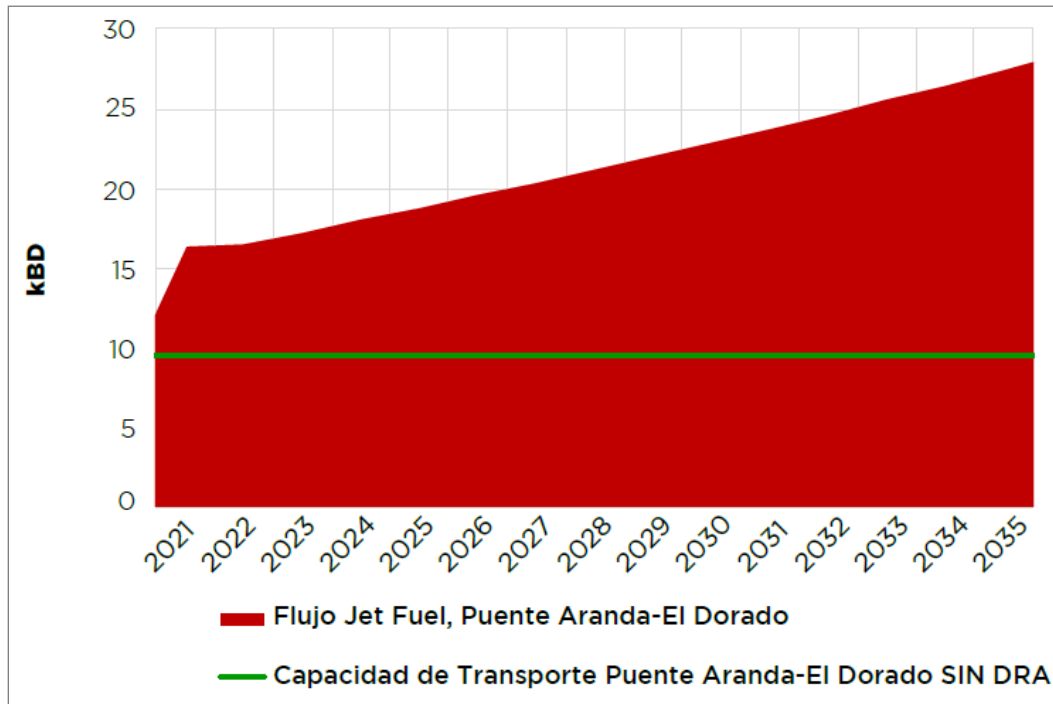
†† Climent Serrano, S. (2003)

Los sistemas de transporte de hidrocarburos son esenciales para garantizar el suministro de energía a nivel mundial. Cualquier interrupción en la cadena de suministro puede tener un impacto directo en la economía global y la vida cotidiana. En Colombia para el año 2019 Ecopetrol entregó a Transmilenio en promedio 1.100 barriles diarios de combustible de la más alta calidad internacional (diésel de menos de 10 partes por millón de azufre). De igual forma, entregó cerca de 32.000 metros cúbicos diarios de gas natural para los buses que usan este combustible^{§§}, por otra parte, basado en el plan indicativo de abastecimiento de combustibles líquidos, publicado por la UPME 2021 (unidad de planeación minero energética), la cual es la entidad gubernamental que garantiza el acceso a la sociedad colombiana a energía asequible, segura, sostenible y moderna, detalla las potenciales limitaciones de transporte de combustibles líquidos a futuro y tomando como ejemplo para el aeropuerto internacional el dorado a 2021, el poliducto que suministra el combustible para el Aeropuerto de Bogotá es insuficiente para satisfacer la demanda actual, déficit que se ampliaría a futuro, según se presenta en la Figura 1. por lo tanto, los incidentes relacionados con la seguridad y la calidad pueden erosionar la confianza del público y la reputación de las empresas.

^{§§} Alcaldía de Bogotá 2019

Figura 1

Proyección de flujo en el poliducto Puente Aranda – El Dorado.



Nota. Información tomada del plan indicativo de abastecimiento de combustibles líquidos 2021

La constante evolución de regulaciones y avances tecnológicos plantea desafíos a las empresas, exigiéndoles cumplir con estándares actuales y futuros, así como aprovechar las oportunidades tecnológicas. En el sector de hidrocarburos, la competencia, la conciencia ambiental y la transición energética subrayan la necesidad de estrategias de gestión centradas en la prevención y eficiencia.

La gestión ineficiente en integridad mecánica y aseguramiento de calidad en la industria de hidrocarburos genera riesgos significativos para la seguridad y la eficiencia operativa; lo cual impacta negativamente la disponibilidad y confiabilidad de la tubería del sistema de transporte de

hidrocarburo. La falta de estrategias sólidas de prevención y evaluación de riesgos, junto con la insuficiente adhesión a normas y estándares, compromete la integridad de los equipos y procesos. Esta deficiencia puede resultar en posibles fallas mecánicas, incumplimientos normativos y pérdida de calidad en la producción, afectando la seguridad de los trabajadores, el medio ambiente y la reputación de la empresa. Es esencial implementar prácticas robustas de gestión de integridad y aseguramiento de calidad para abordar estos desafíos de manera efectiva.

El propósito de este documento guía es proporcionar a las empresas del área de hidrocarburos una herramienta accesible para fortalecer, ampliar o mejorar sus procesos. Contiene lineamientos detallados, estructura y un paso a paso de conceptos, los cuales pueden ser implementados de acuerdo a los objetivos o necesidades específicas de cada empresa. Se busca impulsar la mejora continua al proporcionar elementos base que permitan realizar un diagnóstico inicial y llevarlo a un nivel optimizado, siguiendo los pilares normativos recomendados. Este documento busca ser una referencia para las empresas en la industria de hidrocarburos, brindando una guía práctica para optimizar sus operaciones y cumplir con los más altos estándares de calidad y seguridad, lo cual se verá reflejado en servicio y costos operativos optimizados.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Desarrollar un marco estandarizado de gestión basado en API RP 1160 e ISO 9001 que integre prácticas de integridad mecánica y aseguramiento de calidad, aplicado a tuberías de transporte de hidrocarburos que permita evaluar la eficiencia y calidad.

1.2. Objetivos Específicos

Proponer, dentro de los objetivos estratégicos de la organización, una estructura jerárquica plana y descentralizada que facilite la toma y difusión de decisiones de cada departamento dentro de la organización, promoviendo la comunicación, la coordinación entre equipos y la responsabilidad en todos los niveles.

Establecer indicadores de gestión estratégicos y operacionales, basados en disponibilidad y confiabilidad, que orienten e impulsen el proceso de mejora continua en todos los niveles, con el fin de incrementar la eficiencia, calidad y satisfacción dentro de cada departamento de la organización.

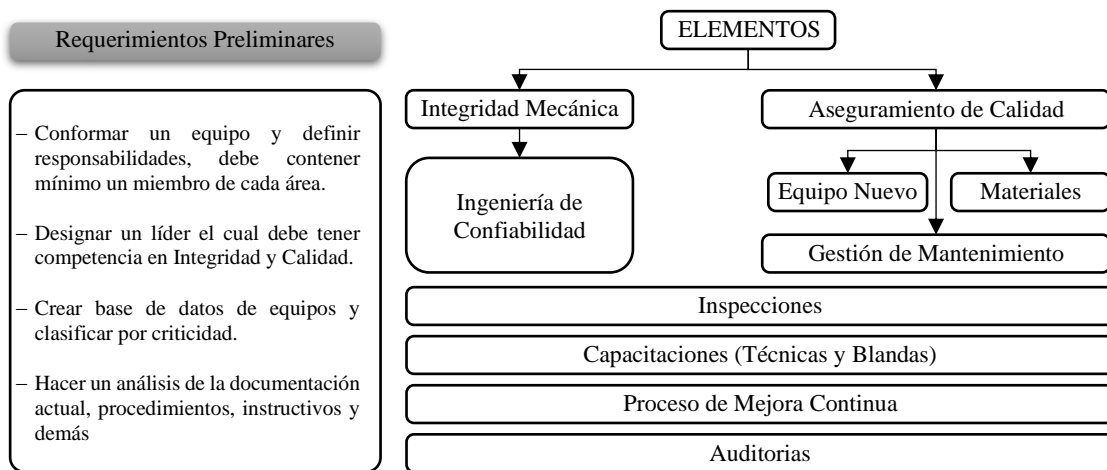
Definir una metodología estructurada a los diferentes escenarios de la organización, que sirva como modelo para la implementación del marco estandarizado de gestión en el desarrollo de proyectos o actividades de mantenimiento, promoviendo ejecución ordenada de las etapas, la coordinación entre equipos y la adaptación a los requisitos.

2. Desarrollo Marco De Gestión

El propósito de la estrategia de Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad es garantizar la confiabilidad, eficiencia y continuidad de las operaciones sin comprometer la seguridad, la salud del personal ni el medio ambiente. Asimismo, esta estructura apoya al personal en asegurar que todas las instalaciones, sistemas, procesos, equipos y componentes mantienen sus condiciones originales de diseño desde su fabricación, instalación, comisionamiento, arranque exitoso, y operación a lo largo de su vida útil hasta su desmantelamiento y disposición final. Esto se logra a través de los siguientes elementos:

Figura 2

Elementos Marco de Gestión



Nota. El diagrama presenta los requerimientos preliminares y los elementos a implementar durante el desarrollo de la estrategia

2.1. Integridad Mecánica

La integridad mecánica se refiere a la capacidad de un equipo industrial (tuberías, válvulas, recipientes) utilizados en la industria de hidrocarburos para mantener su resistencia estructural, hermeticidad y capacidad de transporte de fluidos sin fugas ni fallas, en forma segura y confiable, sin afectar la seguridad de las personas y el medio ambiente.

la gestión de la integridad mecánica no es un proceso estático, sino un enfoque dinámico y continuo que debe aplicarse en todas las etapas del ciclo de vida de los activos para garantizar la seguridad, la calidad y la eficiencia en sistemas de transporte de hidrocarburos^{***}.

La integridad mecánica de un equipo o activo industrial se determina mediante una combinación de inspecciones, evaluaciones y pruebas diseñadas para garantizar que los equipos y estructuras mantengan su funcionalidad y seguridad durante su vida útil. Algunos métodos comunes para establecer el estado de integridad mecánica los cuales son la base para posteriormente establecer los planes preventivos y correctivos de mantenimiento son:

Inspecciones visuales: Exámenes visuales de los componentes para detectar signos evidentes de daño, corrosión, deformación, daños mecánicos u otros problemas, esto a través de la norma ASNT SNT-TC-1A

Pruebas no destructivas (NDT): Métodos como ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas o líquidos penetrantes se utilizan para identificar anomalías o defectos internos y externos sin dañar el material.

*** NTC 5901 (2012)

Monitoreo en línea: Sensores y sistemas de monitoreo continuo para registrar parámetros operativos y detectar cambios que puedan indicar un deterioro en la integridad mecánica.

Evaluación de la corrosión: Medición de la corrosión a través de técnicas como ultrasonido, espesores de pared y monitoreo electroquímico.

Análisis de riesgos: Evaluación de los riesgos potenciales asociados con la operación y el mantenimiento de equipos, identificando posibles fallas y sus consecuencias, los cuales están detallados en la norma API 581 Risk-Based Inspection Technology

Análisis de vibraciones: Monitoreo de las vibraciones para identificar posibles problemas en la integridad de los equipos.

La combinación de estos métodos permitirá evaluar y mantener la integridad mecánica de sus activos, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente a lo largo del tiempo. Es importante realizar estas actividades de manera regular y sistemática como parte de un programa integral de gestión de integridad mecánica.

La gestión de integridad mecánica en la industria de hidrocarburos se rige por varias normas internacionales y prácticas recomendadas. Algunas referentes son:

API RP 1160: Publicada por el American Petroleum Institute (API), se centra en la gestión de la integridad de los sistemas de tuberías de transporte de líquidos y gases, proporcionando un proceso dentro de un marco de sistema de gestión para evaluar riesgos potenciales.

API RP 580: Publicada por el American Petroleum Institute (API), esta práctica recomendada establece los requisitos mínimos para un programa de evaluación de riesgos basado en el análisis de riesgos para equipos estáticos de procesamiento de hidrocarburos.

ISO 31000: Ofrece directrices sobre gestión de riesgos, proporcionando un enfoque genérico y adaptable para gestionar cualquier tipo de riesgo, incluidos los relacionados con la integridad mecánica.

API RP 581: Publicada por el American Petroleum Institute (API), esta práctica recomendada se centra en la evaluación de riesgos de fallas de equipos presurizados en la industria de petróleo y gas.

ASME PCC-3: Desarrollada por la American Society of Mechanical Engineers (ASME), esta guía proporciona principios y prácticas para la inspección y evaluación de la integridad de equipos de procesos.

ASME B31.G: Desarrollada por la American Society of Mechanical Engineers (ASME), proporciona un método simplificado para evaluar la integridad de las tuberías con defectos de corrosión externa, permitiendo la evaluación de un defecto encontrado y determinar si este representa una amenaza para la integridad de la tubería.

ISO 55000: es un conjunto de estándares internacionales que establecen los principios y requisitos para la gestión de activos. Estos estándares proporcionan un marco para optimizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, desde la adquisición hasta la disposición.

Es importante tener en cuenta que las normas y prácticas pueden variar de acuerdo a su versión y revisión. Se recomienda adoptar un enfoque integrado que combina varias normas y mejores prácticas para garantizar una gestión eficaz de la integridad mecánica.

2.2. Ingeniería de confiabilidad

Es una disciplina de la ingeniería que se enfoca en garantizar la confiabilidad y disponibilidad de sistemas, equipos, procesos y activos a lo largo de su ciclo de vida. Su objetivo principal es asegurar que estos sistemas cumplan con los niveles de desempeño requeridos y funcionen de manera segura y eficiente, minimizando los riesgos de fallas o interrupciones no planificadas. La confiabilidad es la probabilidad de que un producto funcione o se proporcione un servicio adecuadamente durante un período de tiempo específico (vida de diseño) bajo las condiciones de operación de diseño (como temperatura, carga, voltios...) sin fallas^{†††}.

Se trata de un proceso de mejora continua que opera en un ciclo constante. Este proceso se basa en el análisis de riesgos, la evaluación de la condición y el estudio de las fallas de equipos. Su objetivo principal es garantizar el cumplimiento de los requisitos del proceso de integridad mecánica. Además, permite la evaluación de un sistema y sus componentes individuales mediante la investigación de los modos de falla en los equipos.

De esta manera, se determina, a través de un análisis de tendencias, cuánto tiempo pueden operar de manera segura antes de requerir reparaciones o reemplazos.

Para el desarrollo de la estrategia de gestión se deben incluir las siguientes actividades de ingeniería de Confiabilidad, Para integrar estas técnicas de manera efectiva, se sugiere un enfoque holístico que aborde diferentes aspectos del ciclo de vida de un sistema o producto. A continuación, una propuesta secuencial de cómo integrar estas técnicas:

Análisis de Fallas: Identificación y análisis de las posibles causas de fallas en un sistema o componente. Esto implica entender los modos de falla, sus consecuencias y cómo mitigarlos. La falla de un componente o estructura se puede definir como una brecha inaceptable entre su

^{†††} Elsayed, Elsayed A. (2012).

desempeño esperado y real. Es una condición que hace que la estructura no pueda realizar su función prevista de manera segura, confiable y económica. Se recomienda utilizar técnicas como el FMEA (Análisis de Modo y Efecto de Falla) para identificar y priorizar los modos de falla potenciales.

Diseño Robusto: Integración de principios de confiabilidad en el diseño de productos o sistemas para minimizar la probabilidad de fallas y facilitar el mantenimiento. Diseñar la línea de transporte con un enfoque robusto que minimice la sensibilidad a las condiciones ambientales (sistemas de recubrimiento y protección catódica), la corrosión (usar inhibidores) y otros factores que puedan afectar su integridad. Utilizar materiales resistentes a la corrosión (espesores y grado de material) y diseños que minimicen los puntos débiles y las concentraciones de esfuerzos (zonas bending, de alta consecuencia).

Mantenimiento Preventivo y Predictivo: Desarrollo de estrategias de mantenimiento para prevenir o detectar fallas antes de que ocurran. Esto incluye inspecciones, pruebas y seguimiento de indicadores de rendimiento. Implementar un programa de mantenimiento que combine actividades preventivas, como inspecciones regulares y reemplazo de componentes según su vida útil, con técnicas predictivas, como el monitoreo de la integridad de la línea mediante inspecciones no destructivas y análisis de datos de operación.

Gestión de Riesgos: Evaluación y mitigación de riesgos que podrían afectar la confiabilidad de un sistema. Esto puede incluir riesgos operativos, financieros y de seguridad. Realizar una evaluación de riesgos exhaustiva para identificar y mitigar los riesgos asociados con la operación de la línea de transporte de hidrocarburos. Desarrollar planes de contingencia (emergencias) para hacer frente a posibles eventos adversos, como derrames de petróleo o rupturas de la línea.

Confiabilidad de Procesos: Aseguramiento de que los procesos de fabricación o producción sean consistentes y cumplan con estándares de calidad para evitar productos defectuosos. Asegura que los procesos de construcción, operación y mantenimiento de la línea de transporte cumplan con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Se recomienda implementar sistemas de gestión de calidad y procedimientos operativos estándar para garantizar la fiabilidad y la integridad del sistema.

Análisis de Confiabilidad: Utilización de herramientas y técnicas estadísticas para evaluar y predecir la confiabilidad de un sistema en función de datos y variables conocidas. Como, por ejemplo, Análisis de supervivencia, Modelos de regresión, Análisis de datos de vida, Análisis de series temporales, Métodos de Monte Carlo, entre otros. Utilizar estas técnicas de análisis de confiabilidad para evaluar y mejorar la fiabilidad de la línea de transporte a lo largo del tiempo. Analizar los datos de operación y las tendencias de fallas para identificar áreas de mejora y optimizar las estrategias de mantenimiento y reemplazo.

Al integrar estas técnicas, se obtendrán resultados que permitan favorecer la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia de las líneas de transporte de hidrocarburos, reduciendo el riesgo de fallas y garantizando un transporte seguro y eficaz de los hidrocarburos.

2.3. Aseguramiento de calidad

El aseguramiento de calidad en el transporte de hidrocarburos se refiere a la implementación de procesos y controles que garanticen que el transporte de productos petroleros y gas cumpla con los estándares de calidad y seguridad, asegurando la integridad de las tuberías de transporte y la prevención de fugas.

Una estrategia de calidad definida asegurará la alineación de los objetivos con los objetivos empresariales, la asignación adecuada de recursos limitados para lograr el impacto previsto y la organización ordenada de todas las actividades necesarias en los planes de trabajo.

El aseguramiento de calidad en la industria de hidrocarburos es un proceso crítico que abarca todas las etapas, desde la exploración y producción hasta el transporte y procesamiento. A continuación, se describen los pasos y prácticas comunes para realizar el aseguramiento de calidad en esta industria:

Política de Calidad: Desarrollo de una política de calidad que establezca el compromiso de la organización con la excelencia y la satisfacción del cliente, específica para la gestión de líneas de transporte de hidrocarburos, que refleje el compromiso de la organización con la seguridad, la fiabilidad y la protección del medio ambiente en todas las operaciones relacionadas.

Sistema de Gestión de Calidad (QMS): Implementación de un Sistema de Gestión de Calidad basado en normas reconocidas internacionalmente, como ISO 9001, que establezca procesos y procedimientos para garantizar la calidad en todas las operaciones. Este sistema debe incluir procesos documentados para todas las actividades relacionadas con la gestión de la calidad.

Control de Documentos: Establecimiento de un sistema eficaz para la creación, revisión, aprobación y control de documentos relacionados con la calidad, procedimientos, instructivos, formatos y listas de chequeo para la construcción, la operación y el mantenimiento de las líneas de transporte de hidrocarburos. Asegurarse de que toda la documentación relevante esté actualizada, accesible y fácilmente identificable.

Control de Procesos: Implementar controles de procesos para garantizar la conformidad con los requisitos normativos, de calidad y seguridad en todas las etapas del ciclo de vida de las

líneas de transporte de hidrocarburos. Esto incluye la supervisión y la mejora continua de los procesos relacionados con la construcción, operación y mantenimiento de las líneas.

Inspecciones y Pruebas: Realizar inspecciones y pruebas regulares en todas las instalaciones y equipos asociados con las líneas de transporte de hidrocarburos, incluyendo tuberías, estaciones de bombeo, válvulas y tanques de almacenamiento. Estas actividades deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos documentados y estándares de la industria.

Gestión de Proveedores: Establecer criterios de selección y evaluación de proveedores para garantizar que los materiales y servicios utilizados en la construcción y mantenimiento de las líneas de transporte de hidrocarburos cumplan con los requisitos de calidad y seguridad establecidos.

Capacitación y Competencia: Asegurar de que el personal esté capacitado incluyendo empleados propios y contratistas, que posea las competencias para realizar sus funciones en concordancia con los estándares de calidad, para desempeñar sus funciones de manera segura y eficiente.

Gestión de Cambios: Implementar un proceso para la gestión de cambios que permita que cualquier modificación en el diseño, la operación o el mantenimiento de las líneas de transporte de hidrocarburos sea evaluada y aprobada adecuadamente, teniendo en cuenta sus posibles impactos en la calidad y seguridad.

Auditorías Internas: Realización periódica de auditorías internas para evaluar la conformidad con los procedimientos y estándares de calidad establecidos, identificando oportunidades de mejora.

Gestión de No Conformidades: Implementación de un proceso para identificar, registrar y abordar no conformidades, tomando medidas correctivas y preventivas para evitar su recurrencia.

Trazabilidad: Establecimiento de un sistema de trazabilidad que permita rastrear y documentar la procedencia de los productos y materiales a lo largo de la cadena de suministro.

Registros y Documentación: Mantenimiento de registros detallados y documentación completa para respaldar la conformidad con los requisitos de calidad.

Estas prácticas permitirán que los productos y servicios en la industria de hidrocarburos cumplan con los estándares de calidad necesarios para garantizar la seguridad, eficiencia y cumplimiento normativo

2.4. Equipo nuevo

El aseguramiento de calidad de un equipo nuevo es un proceso crucial para garantizar que el equipo cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos antes de su puesta en funcionamiento. Las siguientes son las actividades clave que deben llevarse a cabo en este proceso.

Planificación del Aseguramiento de Calidad: Establecer un plan detallado que defina los objetivos, los estándares de calidad, los plazos y los recursos necesarios para el aseguramiento de la calidad del equipo.

Selección de Proveedores: Evaluar y seleccionar proveedores o fabricantes de equipos con un historial de calidad comprobado y con capacidad para cumplir con los requisitos específicos del proyecto.

Inspección y Pruebas Iniciales: Realizar inspecciones iniciales en las piezas y componentes del equipo para verificar la conformidad con los diseños y especificaciones.

Pruebas de Funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento en el equipo para asegurarse de que todas las funciones y características operen según lo previsto. Esto puede incluir pruebas de carga, pruebas de rendimiento y verificación de la seguridad.

Documentación y Registro: Mantenga un registro completo de todas las inspecciones, pruebas y resultados para futura referencia y trazabilidad.

Calibración y Ajuste: Verifique y calibre cualquier equipo de medición o instrumentos utilizados para pruebas y asegúrese de que estén funcionando correctamente.

Certificaciones y Cumplimiento Normativo: Asegúrese de que el equipo cumpla con todas las normativas y regulaciones aplicables, así como con las normas de la industria.

Revisión de Documentación Técnica: Verifique que toda la documentación técnica, manuales de usuario y guías de mantenimiento estén completos y sean precisos.

Entrenamiento del Personal: Proporcionar capacitación al personal que operará o mantendrá el equipo nuevo para garantizar que tengan el conocimiento necesario sobre su funcionamiento y mantenimiento.

Embalaje y Transporte: Asegurar que el equipo sea empacado de manera segura para evitar daños durante el transporte.

Prueba Final y Aceptación: Realice una prueba final en condiciones reales de operación para verificar que el equipo cumple con los estándares de calidad y rendimiento. La aceptación final se basa en la aprobación de estas pruebas.

Implementación y Monitoreo en el Campo: Desplegar un equipo en campo y seguir monitoreando su rendimiento durante las primeras etapas de operación para garantizar que continúe cumpliendo con los estándares de calidad.

2.5. Materiales

El aseguramiento de calidad de materiales y repuestos es esencial para garantizar que los materiales y componentes utilizados en la industria de hidrocarburos cumplan con los estándares de calidad y seguridad necesarios. A continuación, se describen las actividades clave que deben llevarse a cabo en este proceso:

Selección de Proveedores y Fabricantes: Evaluar y seleccionar proveedores y fabricantes de materiales y repuestos con un historial de calidad comprobado y la capacidad de cumplir con los requisitos específicos del proyecto.

Especificaciones Técnicas: Definir y documentar las especificaciones técnicas claras y detalladas para los materiales y repuestos necesarios, incluyendo normas, estándares, propiedades físicas y químicas requeridas.

Recepción y Almacenamiento: Establecer procedimientos para la recepción y almacenamiento adecuados de materiales y repuestos, garantizando que se evite cualquier daño o contaminación.

Inspección Visual y Dimensional: Realizar inspecciones visuales y dimensionales para verificar que los materiales y repuestos cumplan con las especificaciones de diseño y no presenten defectos visibles.

Pruebas de Calidad: Realizar pruebas de calidad específicas, como pruebas de laboratorio, para evaluar propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales y repuestos.

Documentación y Certificación: Verifique que se proporcione la documentación adecuada, como certificados de calidad y conformidad, que respalde la calidad y el cumplimiento de los materiales y repuestos.

Rastreabilidad: Establecer sistemas de rastreo que permitan el seguimiento de la procedencia y el uso de los materiales y repuestos, facilitando la trazabilidad en caso de problemas o fallas.

Cumplimiento Normativo: Asegurarse de que los materiales y repuestos cumplan con todas las normativas y regulaciones aplicables, así como con las normas de la industria.

Embalaje y Etiquetado: Garantizar que los materiales y repuestos sean empacados y etiquetados de manera adecuada para su transporte y almacenamiento seguros.

Gestión de Devoluciones y Reclamaciones: Establecer procedimientos para gestionar devoluciones y reclamaciones en caso de que los materiales o repuestos no cumplan con las especificaciones o presenten problemas de calidad.

Gestión de Repuestos y Materiales: Mantenga un inventario adecuado de repuestos y materiales críticos para evitar demoras en el mantenimiento.

Entrenamiento y Concientización: Capacitar al personal encargado de la recepción, inspección y gestión de materiales y repuestos en las buenas prácticas de aseguramiento de calidad.

Auditorías de Proveedores: Realizar auditorías regulares a los proveedores y fabricantes para evaluar y mejorar continuamente sus procesos de calidad.

Registro y Seguimiento de Desempeño: Mantenga registros de desempeño de materiales y repuestos a lo largo del tiempo para evaluar la calidad y la vida útil.

2.6. Gestión de mantenimiento

La gestión del mantenimiento es fundamental para garantizar la operación segura y eficiente de las instalaciones, equipos y sistemas críticos. A continuación, se describen las actividades clave que deben llevarse a cabo en la gestión del mantenimiento.

Planificación del Mantenimiento: Desarrollar planes de mantenimiento que definan las tareas, frecuencia y recursos necesarios para el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

Gestión de Activos: Identificar y catalogar todos los activos críticos, como tuberías, válvulas, equipos de producción, sistemas de control y más, para priorizar y planificar el mantenimiento.

Programación de Mantenimiento: Programar las actividades de mantenimiento de acuerdo con la criticidad de los activos y las ventanas de tiempo disponibles para minimizar la interrupción de las operaciones.

Mantenimiento Preventivo: Realizar inspecciones y tareas de mantenimiento planificadas en función de las horas de operación o el tiempo de servicio para prevenir fallas.

Mantenimiento Predictivo: Utilizar tecnologías como el monitoreo de condición, análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite para predecir fallas y programar el mantenimiento en consecuencia.

Mantenimiento Correctivo: Abordar, establecer tiempos de atención oportunos y corregir las fallas inesperadas o problemas de seguridad de manera oportuna y efectiva.

Capacitación del Personal: Proporcionar capacitación y formación a los equipos de mantenimiento para garantizar que estén actualizados en las mejores prácticas y en el uso de equipos y herramientas.

Seguridad en el Mantenimiento: Cumplir con protocolos de seguridad rigurosos para garantizar que las actividades de mantenimiento se realicen de manera segura y sin riesgos para el personal y el medio ambiente.

Gestión de Contratos de Mantenimiento: Establecer acuerdos con contratistas y proveedores de servicios de mantenimiento externos, si es necesario, coordinar y gestionar proyectos de mantenimiento mayores, como la renovación de equipos o la implementación de mejoras. y supervisar su desempeño.

Documentación y Registro: Mantenga registros detallados de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo informes de inspección, registros de reparación y cambios en el estado de los activos.

Procedimientos: Los procedimientos de mantenimiento deben ser claros y actualizados o creados teniendo en cuenta la lista de equipos críticos y la lista de tareas críticas, prestando especial atención a todos los equipos considerados como críticos.

Mejora continua: Realizar análisis de retroalimentación y datos de mantenimiento para identificar oportunidades de mejora en los procesos y en la confiabilidad de los activos.

Auditorías de Mantenimiento: Realizar auditorías periódicas para evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad en las actividades de mantenimiento.

Gestión de Residuos y Medio Ambiente: Disponer adecuadamente de los residuos generados durante las actividades de mantenimiento, siguiendo las regulaciones ambientales aplicables.

Tecnología y Digitalización: Implementar soluciones tecnológicas, como sistemas de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS) y el uso de la Industria 4.0, para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en el mantenimiento.

2.7. Inspecciones

El establecimiento de un programa de inspecciones y pruebas requiere una planificación cuidadosa y la ejecución de una serie de actividades esenciales. Aquí se detallan las actividades necesarias

Identificación de Equipos Críticos: Crear una base de datos y clasificar todos los equipos y componentes críticos para la operación y seguridad de las instalaciones. Esto puede incluir bombas, válvulas, tuberías, intercambiadores de calor, recipientes a presión, etc.

Evaluación de Riesgos: Realizar una evaluación de riesgos para identificar los modos de fallas potenciales de los equipos críticos y sus posibles consecuencias. Esto ayudará a priorizar las inspecciones y pruebas.

Desarrollo de Procedimientos de Inspección: Cree procedimientos detallados de inspección que describan las técnicas, frecuencia y criterios de aceptación para cada tipo de equipo crítico. Estos procedimientos deben basarse en estándares reconocidos y las mejores prácticas de la industria.

Selección de Técnicas de Inspección: Determinar las técnicas de inspección adecuadas para cada tipo de equipo, que pueden incluir pruebas no destructivas (ultrasonidos, radiografía, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, etc.), inspecciones visuales, análisis de vibraciones, termografía, entre otras.

Establecimiento de Programas de Pruebas: Definir programas de pruebas, como pruebas hidrostáticas, pruebas de fugas, pruebas de carga, para asegurar que los equipos críticos cumplan con los estándares de rendimiento y seguridad.

Programación de Inspecciones y Pruebas: Planificar la programación de inspecciones y pruebas de acuerdo con la criticidad de los equipos, las ventanas de tiempo disponibles y las regulaciones aplicables.

Identificación y Capacitación del Personal: Designar personal capacitado y certificado para llevar a cabo las inspecciones y pruebas, y proporcionar la formación necesaria para garantizar que estén actualizados en las técnicas y los procedimientos de inspección. Otra alternativa es subcontratar el servicio de inspección y realizar seguimiento al cumplimiento y requerimientos normativos.

Documentación y Registro: Mantenga registros precisos de todas las inspecciones y pruebas, incluyendo informes detallados, resultados y acciones correctivas si es necesario.

Análisis de datos: Analizar los datos recopilados durante las inspecciones y pruebas para identificar tendencias y modos de falla emergentes.

Mejora continua: Evaluar regularmente el programa de inspecciones y pruebas para identificar oportunidades de mejora en los procedimientos y la eficiencia del programa.

Auditorías y Cumplimiento Normativo: Realizar auditorías regulares del programa de inspecciones y pruebas para asegurarse de que cumple con todas las regulaciones y normativas aplicables.

Seguimiento y Comunicación: Establecer un sistema de seguimiento y comunicación para informar a las partes interesadas sobre el estado y los resultados de las inspecciones y pruebas.

Actualización del programa: Mantener el programa de inspecciones y pruebas actualizado con los avances tecnológicos, cambios en la operación y las lecciones aprendidas de las inspecciones anteriores.

2.8. Capacitaciones y competencias

Las capacitaciones técnicas en la industria de hidrocarburos son fundamentales para asegurar que el personal esté actualizado en las mejores prácticas, regulaciones y tecnologías específicas de esta industria. A continuación, se describen algunas de las técnicas de capacitación esenciales

Seguridad en la Industria de Hidrocarburos: Formación en medidas de seguridad en plataformas offshore, refinerías, instalaciones de perforación y otras áreas de alto riesgo. Esto incluye capacitación en el uso de equipo de protección personal, procedimientos de evacuación y respuesta a emergencias.

Operación y Mantenimiento de Equipos Específicos: Capacitación en la operación y mantenimiento de equipos especializados, como bombas, compresores, sistemas de control, válvulas, generadores y sistemas de separación de hidrocarburos.

Tecnología y Automatización: Formación en tecnologías de automatización y control utilizadas en la industria de hidrocarburos, como sistemas de control distribuido (DCS), sistemas de instrumentación y control, y SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Mantenimiento Predictivo: Capacitación en técnicas de monitoreo y mantenimiento predictivo, como análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite y ultrasonidos, para prevenir fallas no planificadas.

Técnicas de Inspección: Formación en técnicas de inspección no destructiva (NDT) utilizadas para evaluar la integridad mecánica de equipos, incluyendo pruebas de radiografía, ultrasonidos, inspección visual y ensayos de líquidos penetrantes.

Gestión de Proyectos: Capacitación en gestión de proyectos específicos de la industria de hidrocarburos, incluyendo planificación, presupuestación y ejecución de proyectos de exploración, perforación y producción.

Calidad y Aseguramiento de Calidad: Formación en sistemas de gestión de calidad, como ISO 9001, y en estándares de aseguramiento de calidad específicos de la industria, como API Q1.

Control de Derrames y Contaminación: Capacitación en procedimientos de control de derrames de hidrocarburos y de protección ambiental, incluyendo medidas el manejo de sustancias peligrosas y la gestión de residuos.

Seguridad en el Transporte de Hidrocarburos: Capacitación en medidas de seguridad en el transporte de hidrocarburos por carretera, ferrocarril, mar y tuberías, incluyendo regulaciones de transporte y manejo de productos peligrosos.

Normativas y Regulaciones: Formación en las normativas y regulaciones aplicables a la industria de hidrocarburos, como las emitidas por agencias gubernamentales y organizaciones como API (American Petroleum Institute) e ISO (Organización Internacional de Normalización).

Gestión de Crisis y Respuesta a Emergencias: Capacitación en la gestión de crisis y en la respuesta a emergencias, incluyendo simulacros y prácticas de evacuación.

Salud y Seguridad Ocupacional: Formación en prácticas seguras en el lugar de trabajo, identificación y mitigación de riesgos laborales, y cumplimiento de regulaciones de salud ocupacional.

Big Data y Análisis de Datos: Capacitación en la recopilación, almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos generados por sensores, dispositivos y sistemas de monitoreo en la industria.

Optimización Energética y Sostenibilidad: Formación en tecnologías y prácticas para la optimización del consumo de energía y la promoción de prácticas sostenibles en la industria de hidrocarburos

Como complemento, las habilidades blandas, también conocidas como habilidades sociales o habilidades interpersonales, son esenciales en la industria de hidrocarburos para fomentar la comunicación efectiva, la colaboración y el liderazgo. A continuación, se incluyen capacitaciones en habilidades blandas relevantes para la industria.

Comunicación Efectiva: Capacitación en habilidades de comunicación verbal y escrita para garantizar una comunicación clara y efectiva entre los equipos de trabajo y con otros departamentos y partes interesadas.

Liderazgo y Trabajo en Equipo: Formación en liderazgo efectivo, resolución de conflictos y fomento del trabajo en equipo en entornos de alto riesgo y colaboración intensiva.

Toma de Decisiones: Capacitación en técnicas de toma de decisiones efectivas, especialmente en situaciones de emergencia o alta presión.

Gestión del Tiempo y Priorización: Formación en la gestión del tiempo, establecimiento de prioridades y cumplimiento de plazos en operaciones y proyectos de la industria de hidrocarburos.

Habilidades de Negociación: Capacitación en técnicas de negociación para tratar con proveedores, contratistas y otras partes interesadas en contratos, acuerdos y adquisiciones.

Gestión del Estrés y Resiliencia: Formación en el manejo del estrés en entornos de alta presión y situaciones imprevistas, así como en el desarrollo de resiliencia.

Ética y Responsabilidad Profesional: Capacitación en la importancia de la ética en la toma de decisiones y la responsabilidad profesional en la industria de hidrocarburos.

Comunicación Intercultural: Formación en la comprensión de las diferencias culturales y la comunicación efectiva en equipos multiculturales.

Adaptabilidad y Flexibilidad: Capacitación en la adaptabilidad a entornos cambiantes y la capacidad de ajustar estrategias y operaciones según sea necesario.

Gestión de Conflictos: Formación en la resolución constructiva de conflictos entre equipos, departamentos y partes interesadas.

Presentación y Comunicación en Público: Capacitación en la preparación y realización de presentaciones efectivas ante audiencias internas y externas.

Gestión de Cambio Organizacional: Formación en la gestión y liderazgo del cambio en situaciones de transformación organizacional, tecnológica o estratégica

Las habilidades blandas son esenciales para el éxito en la industria de hidrocarburos, ya que facilitan la colaboración efectiva, el liderazgo y la toma de decisiones adecuadas en un entorno complejo y desafiante. La combinación de habilidades técnicas y blandas es crucial para una gestión eficiente y un desempeño exitoso en esta industria.

2.9. Proceso de mejora continua

El proceso de mejora continua impulsa la innovación, optimiza procesos y promueve la excelencia en todas las facetas de la operación.

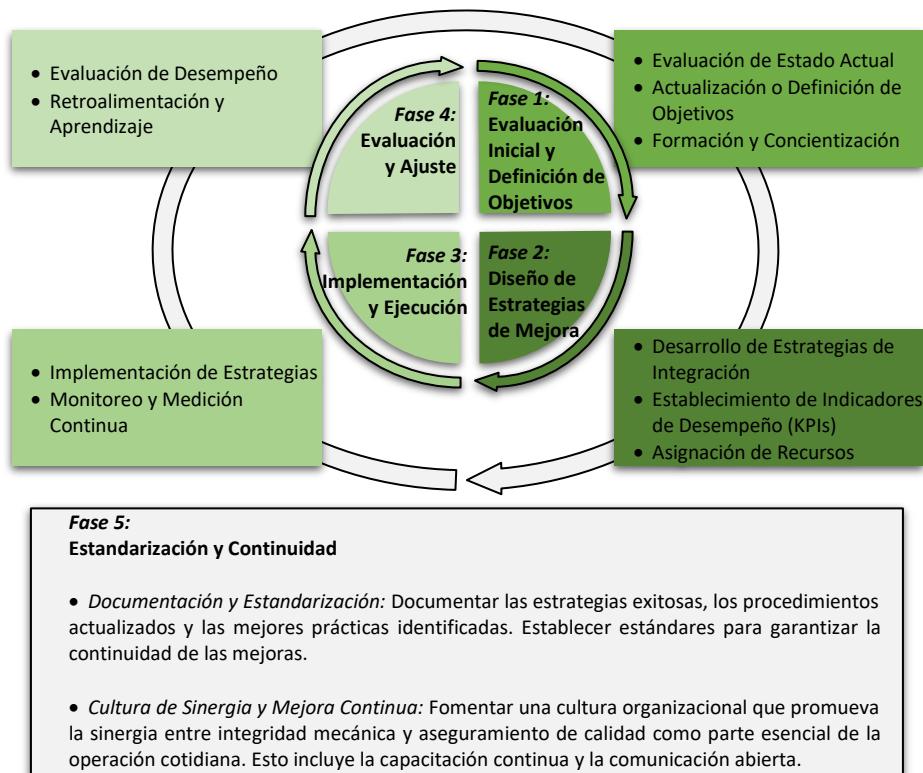
La mejora continua es un enfoque sistemático y proactivo que busca identificar, analizar y abordar de manera constante las oportunidades de mejora en todas las áreas de la empresa de transporte de hidrocarburos. Desde la gestión de activos hasta la seguridad en el lugar de trabajo, pasando por la eficiencia logística y la calidad del servicio, la mejora continua implica un

compromiso permanente con la excelencia y la adaptación a las nuevas condiciones y demandas del mercado.

Este proceso no se limita a cambios radicales o transformaciones drásticas, sino que se basa en la implementación de pequeñas mejoras incrementales a lo largo del tiempo. Se trata de un esfuerzo colaborativo que involucra a todos los niveles de la organización, desde el personal de campo hasta la alta dirección, y que se apoya en la recopilación y análisis de datos, el establecimiento de objetivos claros y la retroalimentación constante.

Figura 3

Proceso de Mejora Continua



Nota. Esta figura representa el proceso PHVA, que se recomienda implementar como elemento de proceso de mejora continua del marco de gestión.

Fase 1: Evaluación Inicial y Definición de Objetivos

Evaluación de Estado Actual: Realizar una evaluación exhaustiva de los procesos existentes de integridad mecánica y aseguramiento de calidad. Identificar áreas de mejora y sinergias potenciales.

Actualización o Definición de Objetivos: Establecer objetivos claros que se centran en la optimización de la integridad mecánica, la calidad y la sinergia entre ambos. Estos objetivos deben ser medibles y alineados con la misión de la organización.

Formación y Concientización: Capacitar a los equipos involucrados en la importancia de la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad, así como en la necesidad de trabajar en conjunto para lograr sinergias.

Fase 2: Diseño de Estrategias de Mejora

Desarrollo de Estrategias de Integración: Diseñar estrategias específicas para integrar los procesos de integridad mecánica y aseguramiento de calidad de manera eficiente. Esto incluye la identificación de áreas de superposición y oportunidades de colaboración.

Establecimiento de Indicadores de Desempeño (KPIs): Definir KPIs que permitan medir el progreso hacia los objetivos de integridad mecánica y calidad. Estos KPI deben ser específicos y orientados a resultados, pueden ser de gestión y control

Asignación de Recursos: Identificar y asignar los recursos necesarios, incluyendo personal capacitado y tecnología, para implementar las estrategias de mejora.

Fase 3: Implementación y Ejecución

Implementación de Estrategias: Poner en práctica las estrategias de integración y mejora de manera secuencial y de acuerdo con el plan establecido, minimizando la interrupción de las operaciones.

Monitoreo y Medición Continua: Establecer un sistema de monitoreo constante para evaluar el progreso y el cumplimiento de los KPIs relacionados con la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad.

Fase 4: Evaluación y Ajuste

Evaluación de Desempeño: Evaluar el impacto de las estrategias de mejora en relación con los objetivos establecidos, prestando especial atención a la eficiencia, la seguridad y la calidad.

Retroalimentación y Aprendizaje: Recopilar retroalimentación de los equipos involucrados y partes interesadas para identificar oportunidades adicionales de mejora. Aprender de los éxitos y las lecciones aprendidas

2.10. Auditorías

Las auditorías desempeñan un papel fundamental. Estas auditorías proporcionan una evaluación objetiva y sistemática de los sistemas, procesos y prácticas de la empresa, permitiendo identificar áreas de mejora, riesgos potenciales y oportunidades para fortalecer la gestión integral del negocio.

El proceso de auditorías en el sector de transporte de hidrocarburos se caracteriza por su enfoque exhaustivo y multidisciplinario. Durante una auditoría, se examinan diversos aspectos, que van desde la infraestructura física, como oleoductos y terminales de almacenamiento, hasta los procedimientos de gestión de riesgos, mantenimiento de equipos y programas de capacitación del personal.

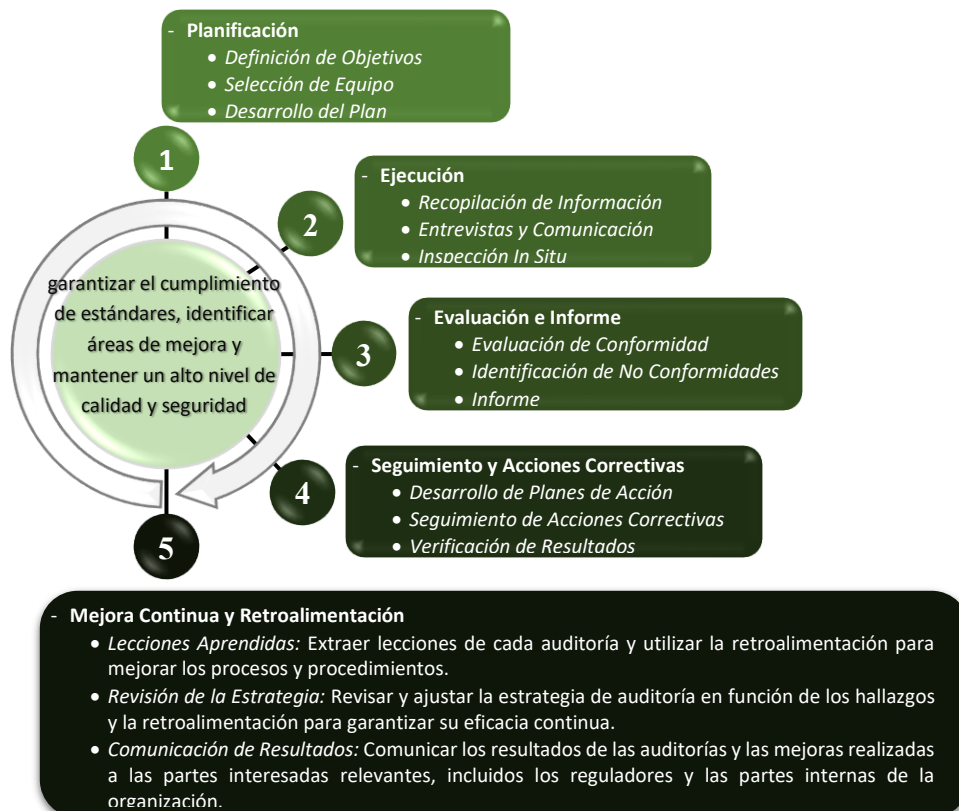
La realización de auditorías requiere una cuidadosa planificación, ejecución y seguimiento. Es fundamental establecer objetivos claros, definir criterios de auditoría específicos y seleccionar

un equipo auditor. Además, se deben utilizar herramientas y técnicas, como listas de verificación, entrevistas, inspecciones físicas y revisión de documentación, para recopilar información precisa y relevante.

Una vez completada la auditoría, los hallazgos se analizan y se documentan de manera detallada. Se identifican áreas de cumplimiento, así como posibles desviaciones o incumplimientos, y se formulan recomendaciones para corregir deficiencias y mejorar los procesos existentes. Estas recomendaciones pueden abarcar desde acciones correctivas inmediatas hasta cambios estructurales a largo plazo en la organización. A continuación, en la Figura 4 se propone un proceso de auditoría a implementar.

Figura 4

Proceso de auditoría



Nota. Esta figura representa el proceso PHVA, que se recomienda implementar como elemento de proceso de mejora continua del marco de gestión

1. Planificación de la Auditoría

Definición de Objetivos: Establecer claramente los objetivos de la auditoría, que deben estar alineados con la mejora de la sinergia, la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad.

Selección de Equipos: Designar un equipo de auditores que cuente con experiencia en integridad mecánica, aseguramiento de calidad y sistemas de transporte de hidrocarburos.

Desarrollo del Plan: Crear un plan detallado que incluya el alcance de la auditoría, los criterios de evaluación, los procedimientos y la programación.

2. Ejecución de la Auditoría

Recopilación de Información: Revisar documentación relevante, como procedimientos operativos, registros de mantenimiento, informes de calidad y otros documentos pertinentes.

Entrevistas y Comunicación: Realizar entrevistas con el personal involucrado en la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad, operadores, inspectores, obreros... para obtener información y retroalimentación.

Inspección In Situ: Realizar inspecciones en el terreno para evaluar la integridad de los equipos, la calidad de los materiales y los procedimientos de mantenimiento y control de calidad.

3. Evaluación e Informe

Evaluación de Conformidad: Comparar los resultados con los criterios de auditoría y determinar si se cumplen los estándares y las mejores prácticas.

Identificación de No Conformidades: Documentar cualquier hallazgo que indique incumplimientos o áreas de mejora en relación con la integridad mecánica y el aseguramiento de calidad.

Informe de Auditoría: Prepare un informe que resuma los hallazgos, las no conformidades y las recomendaciones para mejorar la sinergia, la integridad mecánica y la calidad.

4. Seguimiento y Acciones Correctivas

Desarrollo de Planes de Acción: Trabajar con los responsables para elaborar planes de acción que aborden las no conformidades y áreas de mejora identificadas.

Seguimiento de Acciones Correctivas: Supervisar la implementación de los planes de acción y asegurarse de que se lleven a cabo dentro de los plazos establecidos.

Verificación de Resultados: Realizar auditorías de seguimiento para verificar la efectividad de las acciones correctivas y asegurarse de que se hayan abordado adecuadamente las no conformidades.

3. Indicadores

3.1. Indicadores Estratégicos y operacionales

La implementación de indicadores de confiabilidad y disponibilidad en la industria de hidrocarburos responde a una necesidad crítica de garantizar la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones. El transporte de hidrocarburos involucra una compleja red de equipos, infraestructuras y procesos, donde incluso una pequeña falla puede tener consecuencias significativas, tanto en términos económicos como ambientales.

La confiabilidad se convierte en un aspecto clave para mantener la continuidad operativa y maximizar la producción. En un entorno donde los costos de producción son altos y la competencia es feroz, cada hora de inactividad no planificada puede resultar en pérdidas sustanciales de ingresos. Además, la seguridad y la protección del medio ambiente son

consideraciones primordiales en la industria de hidrocarburos, donde los incidentes pueden tener impactos devastadores en la vida humana y el ecosistema circundante.

Por lo tanto, la implementación de indicadores de confiabilidad y disponibilidad detallados en la Tabla 1, se convierte en una herramienta esencial para monitorear y mejorar el rendimiento operativo de las instalaciones que transportan petróleo y gas. Estos indicadores proporcionan una visión cuantitativa y cualitativa del estado de los equipos y sistemas, permitiendo a los directivos tomar decisiones informadas sobre mantenimiento, inversiones en activos y gestión de riesgos.

Al centrarse en la prevención de fallas, la optimización de los programas de mantenimiento y la maximización del tiempo de actividad, las empresas de hidrocarburos pueden mejorar su competitividad, reducir los costos operativos y cumplir con los estándares de seguridad y medio ambiente más exigentes.

Tabla 1 *Indicadores de Estrategia y Operación*

Indicadores de Gestión Estratégica	
Disponibilidad (D): Este indicador estratégico mide el tiempo en que la planta o instalación está disponible para operar. Una alta disponibilidad es crucial para maximizar la producción y los ingresos.	$D = \frac{T.Operación - T.Inactividad}{T.Total Operación} \times 100\%$
Tasa de Cumplimiento de Metas de Producción (TCP): Evalúa la capacidad de la planta para alcanzar sus objetivos de producción. Esto se relaciona directamente con la confiabilidad de los equipos y la disponibilidad de la instalación.	$TCP = \frac{Producción Real}{Producción Objetivo} \times 100\%$
Indicadores de Gestión Operacional	
Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF): Este indicador operacional mide la confiabilidad de los equipos y sistemas al calcular el tiempo promedio entre fallas. Un MTBF alto indica una mayor confiabilidad.	$MTBF = \frac{Tiempo total de operación}{Número de fallas}$

Tiempo Promedio de Reparación (MTTR): El MTTR evalúa la eficiencia del proceso de mantenimiento al medir cuánto tiempo lleva reparar un equipo o sistema después de una falla. Un MTTR bajo es deseable ya que significa una rápida restauración de la operatividad.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad debido a fallas}}{\text{Número de fallas}}$$

Índice de Confiabilidad del Equipo (ICE): Es una métrica operativa que evalúa la confiabilidad de equipos específicos, como bombas, compresores o turbinas. Se calcula utilizando datos de MTBF y MTTR.

$$ICE = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

3.2. Indicadores De Aseguramiento de Calidad

El transporte de hidrocarburos es una actividad crítica que requiere una gestión cuidadosa y eficaz para garantizar la seguridad, la calidad y la eficiencia en todas las etapas del proceso. En este contexto, los indicadores de aseguramiento de calidad desempeñan un papel fundamental al proporcionar métricas objetivas para evaluar el desempeño y la efectividad de las prácticas de gestión de calidad. Estos indicadores no solo permiten monitorear el cumplimiento de normativas y regulaciones gubernamentales, sino que también ayudan a identificar áreas de mejora y a prevenir incidentes y accidentes. Desde el porcentaje de cumplimiento de normativas hasta la tasa de cumplimiento de objetivos de calidad del producto, cada indicador ofrece una visión única y detallada del estado de la calidad en las operaciones de transporte de hidrocarburos. Su aplicación y seguimiento riguroso son esenciales para garantizar la integridad de los sistemas, la protección del medio ambiente y la seguridad del personal involucrado. En este sentido, estos indicadores no solo son herramientas de medición, sino también pilares fundamentales para mantener los más altos estándares de calidad y seguridad en la industria del transporte de hidrocarburos.

La implementación efectiva de estos indicadores no solo es una respuesta a la necesidad imperante de garantizar la eficiencia y seguridad en la industria de hidrocarburos, sino que también

sirve como un paso crucial hacia la mejora continua y la excelencia operativa. Al establecer una comprensión clara de la importancia de la confiabilidad y disponibilidad de los activos, las empresas se enfocan en la ejecución de estrategias específicas para maximizar el rendimiento y minimizar los riesgos. En este sentido, la aplicación de estos indicadores se convierte en una herramienta estratégica para impulsar una cultura organizacional centrada en la excelencia operativa y la responsabilidad ambiental, fundamentada en datos sólidos y procesos bien definidos.

Tabla 2 *Indicadores de Aseguramiento de Calidad*

<p>Cumplimiento de Programas de Inspección y Mantenimiento (PIM): Este indicador mide el grado en que se cumplen los programas de inspección y mantenimiento preventivo establecidos para los equipos, infraestructuras y sistemas utilizados en el transporte de hidrocarburos. Un alto porcentaje de cumplimiento indica una buena gestión de mantenimiento y una menor probabilidad de fallas inesperadas</p>	$PIM = \frac{\# \text{ actividades completadas}}{\text{Total de actividades programadas}} \times 100\%$
<p>Cumplimiento de estándares de calidad (CEC): Este indicador mide el grado en que las operaciones de transporte de hidrocarburos cumplen con las normas y especificaciones de calidad establecidas por la organización. Un alto porcentaje de cumplimiento indica una gestión eficaz del cumplimiento normativo y reduce el riesgo de sanciones y multas.</p>	$CEC = \frac{\# \text{ actividades en cumplimiento}}{\text{Total de actividades programadas}} \times 100\%$
<p>Porcentaje de Personal Certificado (PPC): Este indicador mide el porcentaje de empleados que han obtenido las certificaciones requeridas para desempeñar sus funciones.</p>	$PPC = \frac{\# \text{ empleados certificados}}{\text{Total empleados que requieren capacitación}} \times 100\%$

Tasa de Rotación de Personal Calificado (RPC): Este indicador mide la tasa a la que el personal calificado abandona la organización. Una alta tasa de rotación puede indicar problemas en la retención de talento y en la satisfacción laboral, lo que puede afectar negativamente la continuidad operativa y la calidad del trabajo realizado.

$$HSE = \frac{\# \text{ de empleados calificados que se retiran}}{\text{Promedio de empleados calificados}} \times 100\%$$

Se debe realizar el cálculo durante el mismo periodo

Porcentaje de Cumplimiento de Requisitos de Seguridad (HSE): Este indicador evalúa el cumplimiento de los requisitos de seguridad y salud ocupacional por parte del personal.

$$HSE = \frac{\# \text{ de incidentes}}{\text{Total de empleados}} \times 100\%$$

Porcentaje de Entregas a Tiempo (EAT): Este indicador mide el porcentaje de entregas de productos o servicios realizadas por los proveedores dentro de los plazos acordados.

$$EAT = \frac{\# \text{ de entregas a tiempo}}{\text{Total entregas realizadas}} \times 100\%$$

Índice de Satisfacción del Cliente Interno: Este indicador evalúa la satisfacción de los clientes internos, como el departamento de operaciones o mantenimiento, con respecto al desempeño de los proveedores.

El índice de satisfacción del cliente interno puede calcularse mediante encuestas periódicas o evaluaciones de retroalimentación. Por ejemplo, se puede asignar un puntaje numérico a cada respuesta en la encuesta y calcular un promedio general de satisfacción

3.3. Indicadores De integridad Mecánica

La integridad mecánica en el transporte de hidrocarburos es un aspecto crítico que no solo garantiza la seguridad de las operaciones, sino también la protección del medio ambiente y la sustentabilidad a largo plazo de la industria. En este contexto, la implementación de indicadores específicos de integridad mecánica se vuelve fundamental. Estos indicadores proporcionan una evaluación objetiva y cuantitativa del estado de los equipos, infraestructuras y sistemas utilizados en el transporte de hidrocarburos, permitiendo identificar áreas de riesgo y establecer medidas

preventivas y correctivas adecuadas. Desde la detección temprana de posibles fallos hasta la optimización de programas de mantenimiento preventivo, los indicadores de integridad mecánica son herramientas esenciales para la fiabilidad, seguridad y eficiencia de las operaciones de transporte de hidrocarburos.

Tabla 3 *Indicadores Integridad Mecánica*

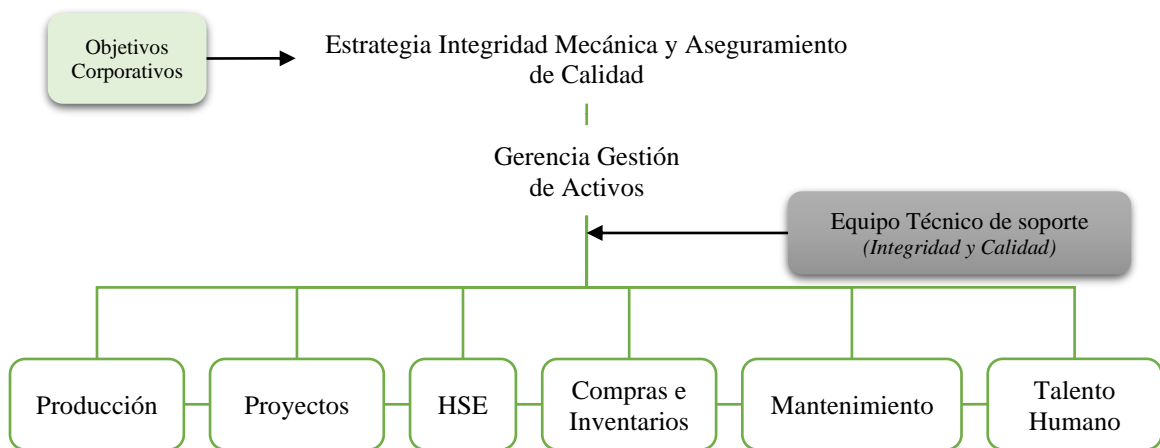
<p>Inspecciones Programadas Realizadas (IPR): Este indicador evalúa el cumplimiento de los programas de inspección de integridad mecánica planificados.</p>	$IPR = \frac{\# \text{ Inspecciones ejecutadas}}{\text{Total inspecciones programadas}} \times 100\%$ <p><i>Se recomienda realizar cortes cada 1000 horas de operación</i></p>
<p>Cumplimiento de Recomendaciones de Inspección y Mantenimiento (CRM): Este indicador mide el grado en que se implementan las recomendaciones derivadas de inspecciones de integridad mecánica y mantenimiento preventivo.</p>	$CRM = \frac{\# \text{ recomendaciones ejecutadas}}{\text{Total recomendaciones emitidas}} \times 100\%$
<p>Índice de Eficiencia Energética en Equipos Mecánicos (EEM): Este indicador evalúa la eficiencia energética de los equipos mecánicos utilizados en el transporte de hidrocarburos, como bombas, compresores y motores. Se calcula comparando la energía consumida por los equipos con la energía teórica requerida para realizar las mismas funciones.</p>	$EEM = \frac{\text{Energía real consumida}}{\text{Energía Teórica Requerida}} \times 100\%$
<p>Índice de Incidentes o Accidentes (IACC): Este indicador registra la frecuencia y gravedad de incidentes o accidentes relacionados con el transporte de hidrocarburos, como derrames, fugas o colisiones. Un índice bajo indica un buen desempeño en términos de seguridad y prevención de riesgos</p>	$IACC = \frac{\# \text{ Total Accidentes}}{\text{Total Horas Operación}} \times 100\%$ <p><i>Se debe establecer las horas de corte de operación del indicador de acuerdo a la necesidad de su organización</i></p>

4. Propuesta Estructura De Gestión

Para la construcción, desarrollo de la estrategia y divulgación de las decisiones se propone una estructura, la cual se describe en la Figura 5, Esta estructura es adaptable y modular, ha sido diseñada para cumplir con los objetivos corporativos. Es flexible, permite su implementación en diversas compañías, agregando o ajustando cada uno de sus procesos o departamentos, la cual permite una respuesta efectiva y personalizada a las necesidades específicas de cada organización.

Figura 5

Estructura Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad

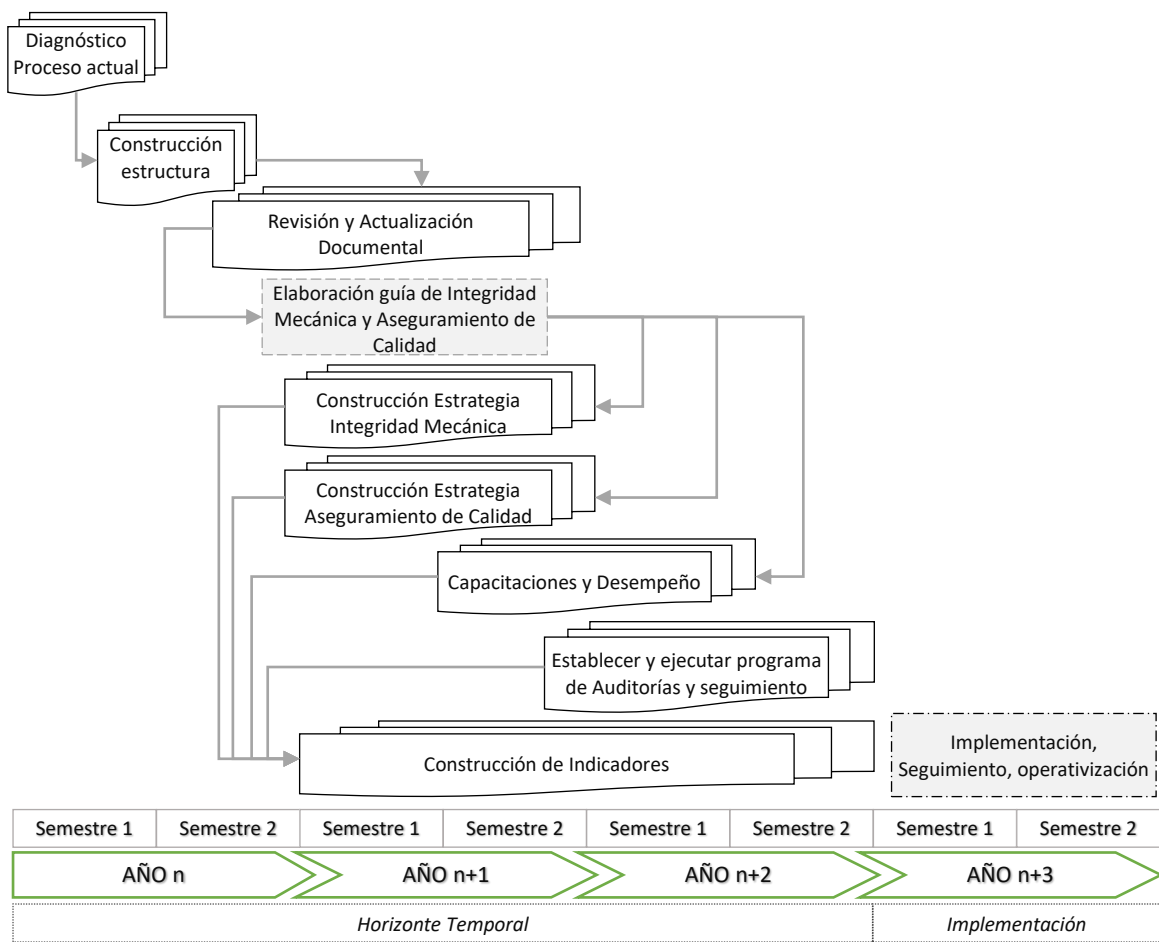


Una vez construida la estrategia en conjunto con todo el equipo, cada líder de área tendrá la responsabilidad de difundirla y poner en práctica

5. Propuesta hoja de ruta de implementación del marco estandarizado para la gestión de integridad mecánica y aseguramiento de calidad en tuberías de transporte de hidrocarburos

Figura 6

Hoja de Ruta



Se recomienda como etapa inicial para adoptar en el desarrollo de este marco y gestión realizar un diagnóstico exhaustivo del proceso actual, es decir, detallar los procesos que actualmente manejan en su empresa. Este diagnóstico no solo proporcionará una evaluación detallada del estado actual de los activos y sistemas utilizados en el transporte de hidrocarburos,

sino que también identifica áreas de mejora y oportunidades de optimización. Desde la inspección de infraestructuras críticas hasta la revisión de políticas y procedimientos, un diagnóstico completo permite establecer los parámetros que se deben mejorar, fortalecer y cambiar, lo anterior da lugar al siguiente paso de la hoja de ruta el cual es la construcción de la estructura a establecer en su marco de gestión.

La revisión documental implica un análisis detallado de todas las políticas, procedimientos, manuales operativos, normativas y estándares relevantes. Este proceso es fundamental para evaluar la robustez y la coherencia de los documentos que rigen las operaciones y los estándares de calidad de la empresa.

Durante la revisión documental, se prestará especial atención a la alineación de los documentos con las prácticas de la industria y los requisitos regulatorios. Se verificará si las políticas y procedimientos reflejan adecuadamente los principios de seguridad, calidad y sostenibilidad en todas las fases del transporte de hidrocarburos, desde la producción hasta la distribución. Además, se evaluará si los documentos están actualizados y si se han incorporado cambios recientes en la legislación, normas y en los estándares de la industria.

La revisión documental también proporcionará una oportunidad para identificar posibles brechas o inconsistencias en la documentación existente. Se buscarán áreas donde los procedimientos pueden ser mejorados o actualizados para garantizar una gestión efectiva de riesgos y una operación segura y eficiente. Además, se revisarán los registros de mantenimiento, inspección y calidad para evaluar su integridad y precisión, ya que estos documentos son críticos para monitorear y mantener la integridad de los activos de la empresa.

Las etapas subsiguientes son los procesos que se describen en los capítulos 2, 3, y 4 del presente documento.

6. Conclusiones

La construcción de un marco estandarizado de gestión basado en ISO 9001 y API RP 1160, como pilares fundamentales en la industria del transporte de hidrocarburos, brinda a las organizaciones la capacidad de identificar y eliminar redundancias, así como de mejorar los procesos, productos y servicios para alcanzar una calidad superior y satisfacer las expectativas del cliente. Esta mejora continua se traduce en una ventaja competitiva en el mercado al establecer una hoja de ruta clara en la estrategia empresarial. Proporciona claridad, planificación anticipada, seguimiento, comunicación efectiva y flexibilidad en el desarrollo de los elementos a ejecutar, lo que fortalece la posición de la empresa y su capacidad para adaptarse a los cambios del mercado de manera eficiente.

El desarrollo de una estructura de gestión para la Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad ofrece dirección sobre las responsabilidades individuales y los flujos de comunicación dentro de la empresa, facilitando la toma de decisiones al establecer canales claros de autoridad y comunicación; favoreciendo la eficacia organizativa y crecimiento sostenible.

La creación y ejecución de indicadores aterrizados a los objetivos organizacionales, permite monitorear y mejorar el rendimiento operativo de las instalaciones, se pueden identificar áreas de oportunidad y tomar medidas proactivas para optimizar los procesos, esto se refleja en la reducción de costos y mejora de la competitividad.

7. Recomendaciones

Explorar cómo las tecnologías emergentes, como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, pueden integrarse para mejorar la recopilación y el análisis de datos en tiempo real. Estas tecnologías pueden ayudar a predecir fallas antes de que ocurran, optimizar los programas de mantenimiento predictivo y mejorar la eficiencia operativa.

Considerar cómo la implementación de indicadores de confiabilidad y disponibilidad puede mejorar la resiliencia de las operaciones de hidrocarburos frente a crisis como desastres naturales, eventos extremos o pandemias. La capacidad de mantener la continuidad operativa en situaciones de crisis es fundamental para minimizar el impacto en la producción y en el medio ambiente.

Explorar cómo la implementación de indicadores de confiabilidad y disponibilidad puede contribuir a la sostenibilidad ambiental al reducir los riesgos de fugas, derrames y otros incidentes que puedan afectar el medio ambiente. Esto puede incluir la integración de indicadores de impacto ambiental en la evaluación del rendimiento operativo.

Destacar la importancia de la capacitación y el desarrollo del personal en la implementación efectiva de estrategias y decisiones relacionadas con la confiabilidad y disponibilidad. Esto incluye la formación en el uso de herramientas de análisis de datos, técnicas de mantenimiento predictivo y prácticas de seguridad operativa.

Investigar oportunidades de colaboración sectorial entre empresas de hidrocarburos, instituciones académicas, organismos gubernamentales y organizaciones no gubernamentales para compartir mejores prácticas, desarrollar estándares comunes y promover la innovación.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bogotá. (2019, diciembre). Calidad del aire en Transmilenio. Recuperado de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/transmilenio/calidad-del-aire-transmilenio#:~:text=Desde%20que%20entr%C3%B3%20la%20nueva,partes%20por%20mill%C3%B3n%20de%20azufre>
- American Petroleum Institute. (2019). Pipeline Control Systems Cybersecurity—Third Edition (API Recommended Practice 1160).
- American Society for Nondestructive Testing. (2016). SNT-TC-1A: Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. ASNT.
- Centro de Seguridad de Procesos Químicos. (2007). Directrices para la seguridad de procesos basados en riesgos. Estados Unidos: Wiley Interscience.
- Cambio16. Derrames petroleros en Venezuela alimentan un desastre ambiental. Recuperado de <https://www.cambio16.com/derrames-petroleros-en-venezuela-alimentan-un-desastre-ambiental/>
- Ecopetrol. (2023, 13 de octubre). Histórico de Incidentes. Recuperado de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/prevencion-remediacion/historico-incidentes>
- Elsayed, Elsayed A. (2012). Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Incorporated.
- ICONTEC. (2012). NTC 5901: Gestión de integridad de sistemas de tubería para transporte de líquidos peligrosos. Bogotá, Colombia
- International Organization for Standardization. (2015). Quality management systems—Requirements (ISO 9001:2015). Ginebra, Suiza.

International Organization for Standardization. (2018). Risk management—Guidelines (ISO 31000:2018). Ginebra, Suiza

Nereyda del Toro Ramírez. (2022). Incidencia del componente humano en el análisis de los costos de no calidad. *Revista cubana de finanzas y precios (En línea)*, 6(4), 57–68.

UPME. (2021). Plan Indicativo de Abastecimiento de Combustibles Líquidos. Bogotá.

V. Ramachandran, A.C. Raghuram, R.V. Krishnan, y S.K. Bhaumik. (2005). *Failure Analysis of Engineering Structures. Methodology and Case Histories*. A S M International.

Climent Serrano, S. (2003). *Los Costes De Calidad Como Estrategia Empresarial: Evidencia Empírica en la Comunidad Valenciana (Tesis doctoral)*. Facultad de Economía, Departamento de Contabilidad, Universidad de Valencia, Valencia