

Elaboración de un Plan de Integridad Mecánica y de Seguridad de Procesos Diseñado
para Equipos Estáticos y Ductos Usados en la Industria del Petróleo

Carlos Ernesto Posso Urzola

Trabajo de Grado para Optar Título de Ingeniero Metalúrgico

Director

Ana María Pérez Ceballos

Doctora en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

A Dios por protegerme y cuidarme a lo largo de este camino, por hacer que esta etapa universitaria fuera más de lo que pude haber soñado y por permitirme compartirlo en compañía de familiares y amigos.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS), y a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales por brindarme las herramientas necesarias para convertirme en un excelente profesional y en una gran persona.

A la Dr. Ana María Pérez Ceballos y demás profesores por sus lecciones de vida y por el apoyo académico a lo largo de la vida universitaria.

A mi familia por apoyarme siempre, entenderme y cuidarme.

A mis amigos y compañeros de la universidad que con su cariño, apoyo y compañía hicieron de mi pregrado una experiencia inolvidable.

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1. OBJETIVOS | 11 |
| 1.1 Objetivo General..... | 11 |
| 1.2 Objetivos Específicos..... | 11 |
| 2. MARCO REFERENCIAL | 12 |
| 2.1 Generalidades..... | 12 |
| 2.1.1 Conceptos relevantes | 12 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 15 |
| 3.1 Tipo de proyecto de grado | 15 |
| 3.2 Fases del Proyecto..... | 15 |
| 3.2.1 Etapa 1: Revisión Bibliográfica..... | 15 |
| 3.2.2 Etapa 2: Generar diagnósticos sobre la integridad mecánica de los equipos de acuerdo con el nivel de avance de las inspecciones..... | 16 |
| 3.2.3 Etapa 3: Soporte para presentación de acta e informes de integridad mecánica y de seguridad de procesos | 16 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 4.1 Recopilación y análisis de información técnica de equipos estáticos y ductos en la industria del petróleo y gas | 17 |
| 4.2 Generación de diagnósticos sobre la integridad mecánica de los equipos de acuerdo con el nivel de avance de las inspecciones | 21 |

| | |
|--|----|
| 4.3 Generación de estrategias que impulsen la integridad mecánica de los equipos estáticos y ductos | 22 |
| 4.4 Generación de planes de acción y de mantenimiento | 25 |
| 4.5 Generación de planes de acción y de mantenimiento | 26 |
| 5. CONCLUSIONES | 28 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Mecanismos de daño en ductos y equipos fijos de la industria del petróleo y gas | 18 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Tipos de techo de tanques atmosféricos y de baja presión | 17 |
| Figura 2. Tramos de tubería | 17 |
| Figura 3. Variación de mecanismos de daño según el tiempo de inspección | 19 |
| Figura 4. Metodología de aplicación de técnicas de inspección | 20 |
| Figura 5. Desarrollo de la metodología de inspección basada en riesgo (RBI) | 21 |
| Figura 6. Matriz de riesgo RBI | 22 |
| Figura 7. Aplicación de mejoras en estrategias de integridad mecánica | 23 |
| Figura 8. Enfoque basado en gestión de calidad de procesos según ISO 14001:2015 | 25 |

Resumen

Título: Elaboración de un plan de integridad mecánica y de seguridad de procesos diseñado para equipos estáticos y ductos usados en la industria del petróleo *

Autor: Ana María Pérez Ceballos, Carlos Ernesto Posso Urzola **

Palabras Clave: Ensayos no Destructivos, Inspección Basada en Riesgo, Integridad Mecánica

Descripción: En la industria del petróleo y gas se reconoce la importancia de implementar planes de integridad mecánica y de seguridad de procesos en los equipos estáticos y ductos de los campos en los que operan; esto para lograr optimizar y asegurar actividades de extracción, exploración y/o transporte de hidrocarburos. La aplicación de estos planes tiene el fin de mejorar la gestión del ciclo de vida de los equipos y así maximizar su valor. A partir de este concepto se deben analizar, justificar, planear y evidenciar todas las actividades que aporten al desarrollo y a la implementación de actividades de inspección y de regulación de seguridad de los procesos mecánicos desarrollados en las operaciones de las empresas.

Para lograr la correcta implementación de planes de integridad mecánica y de seguridad de procesos, se deben desarrollar planes para cada empresa, según los objetivos, metas y condiciones operacionales sobre las que trabaja. Es importante que para su desarrollo que se tenga conocimiento técnico e industrial sobre los equipos, la correcta aplicación de ensayos no destructivos y de la inspección basada en riesgo. Esto con el fin de lograr establecer y emitir criterios de aceptación, rechazo y/o tipos de mantenimiento de equipos a través de la aplicación de ensayos que evalúen el ciclo de vida del material.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directora: Ana María Pérez Ceballos. Doctora en Ingeniería.

Abstract

Title: Preparation of a mechanical integrity and process safety plan designed for static equipments and pipelines used in the petroleum industry*

Author: Ana María Pérez Ceballos, Carlos Ernesto Posso Urzola**

Key Words: Non-Destructive Testing, Risk Based Inspection, Mechanical Integrity

Description: The oil and gas industry recognizes the importance of implementing mechanical integrity and process safety plans in static equipment and pipelines in the fields in which they operate; to optimize and ensure hydrocarbon extraction, exploration and / or transportation activities. The application of these mechanical integrity plans is intended to improve the life cycle management of the equipment and thus maximize its value. Based on this concept, all activities that contribute to the development and implementation of inspection activities and safety regulation of mechanical processes developed in company operations must be analyzed, justified, planned, and evidenced. To achieve the correct implementation of mechanical integrity and process safety plans, plans must be developed for each company, according to the objectives, goals, and operational conditions on which it works. It is important that for the development of the plans there is technical and industrial knowledge about the equipment, the correct application of non-destructive tests and risk-based inspection. This to establish and issue criteria for acceptance, rejection or types of equipment maintenance through the application of tests that evaluate the life cycle of the material.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directora: Dr. Ana María Pérez Ceballos.

Introducción

Es posible definir la integridad mecánica en términos generales como una cualidad y condición en la que un equipo se encuentra adecuado para el servicio, alargando y optimizando el tiempo de vida útil del activo físico. Entendiendo este concepto como un estado en el que se garantice que la operación se desarrolle de forma segura y confiable a partir del óptimo estado mecánico de los activos físicos. Para cumplir con lo mencionado anteriormente; se debe garantizar que el diseño, fabricación, instalación, operación, pruebas, inspección, monitoreo y mantenimiento de los activos físicos de una empresa, se realicen de acuerdo con los estándares y normativas legales vigentes de ingeniería para prevenir fallas, accidentes o potenciales riesgos a personas, a los activos físicos y al ambiente.

Recolectar información técnica en campo sobre el desempeño mecánico y estado actual de los activos sirve para conocer la integridad mecánica de los activos físicos de un proceso y así, garantizar que la operación sea segura y confiable bajo las condiciones de trabajo.

En las industrias del petróleo y del gas y la industria petroquímica se ha demostrado el gran aporte que pueden brindar las medidas de prevención y control para la corrosión como consecuencia de varios incidentes de derrame de contención, dando lugar a la definición de criterios importantes para garantizar el estado óptimo y seguro de los activos físicos de la empresa.

La falta de un sistema de manejo de corrosión puede aumentar el riesgo de fallas y reducir la vida útil de los activos. Esto conlleva a una disminución en la seguridad, una mayor

exposición ambiental, tratamiento químico superior, reparación e inspección y un mayor número y duración de paradas no planificadas (5).

En la industria del petróleo y gas es importante fortalecer el área de integridad mecánica y de seguridad de procesos para equipos estáticos y ductos, a través de la inspección de los tanques de almacenamiento y de tuberías de transporte con planes estandarizados según lo recomendado por las normas API, ASME, ASTM, NACE e ISO.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar un plan de integridad mecánica y de seguridad de procesos para equipos estáticos y ductos usados en la industria del petróleo.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer los principales riesgos a los que están expuestos los equipos estáticos y las líneas durante el servicio.
- Identificar la información técnica relevante para asegurar la trazabilidad de las inspecciones realizadas para la evaluación de la integridad mecánica de equipos estáticos y ductos.
- Plantear un plan de acción que permita mantener la integridad mecánica y de seguridad de procesos a partir del análisis de los riesgos y de la información técnica disponible.

2. Marco Referencial

2.1 Generalidades

El correcto desarrollo de los proyectos relacionados con la integridad mecánica de materiales está enmarcado y sustentado bajo diferentes normativas internacionales legales vigentes que, establecen las buenas prácticas que deben ser ejecutadas y los criterios y parámetros necesarios para diseñar los procedimientos que se aplican en campo. En el siguiente capítulo se presentan algunos de los conceptos de interés, las metodologías utilizadas y la normativa internacional de mayor relevancia en la industria del petróleo y gas.

2.1.1 Conceptos relevantes

Integridad Mecánica: Es la gestión de equipos y procesos críticos de trabajo en todas las etapas de su ciclo de vida (diseño, construcción, suministro, instalación, operación, mantenimiento y abandono), para garantizar condiciones óptimas de trabajo que eviten riesgo de fallas en los equipos y sistemas que ocasionen afectación a las personas, derrame de contención al medio ambiente o destrucción de los activos físicos de la empresa (1). Esta disciplina relaciona los planes de mantenimiento y los resultados obtenidos en la implementación de inspecciones periódicas para garantizar el rendimiento confiable del ciclo de vida del activo y, al mismo tiempo, la rentabilidad y el cumplimiento de las necesidades del negocio.

La integridad mecánica hace uso de la normativa legal vigente para establecer los estándares operacionales de trabajo y los planes de inspección; como lo indican el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés) y la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) en las normas API 510 (Código de inspección de

recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones) y ASME Sec VIII Div. 1 (Código de inspección para recipientes a presión) respectivamente.

Inspección Basada en Riesgo (RBI, por sus siglas en inglés): La inspección basada en riesgo es una metodología usada para determinar los intervalos de inspección, el tipo y la extensión de las futuras inspecciones. Este plan de inspección se logra determinar al evaluar el nivel riesgo presente en los equipos, partiendo de que el nivel de riesgo es el producto de la probabilidad de falla por su consecuencia conforme API 580 y API 581 (2).

Mecanismos de daño: Al realizar un estudio inspección basada en riesgo es importante determinar la(s) causa(s) de daño o deterioro observado, o anticipado, y la probabilidad y el grado de daño adicional que pueda ocurrir en el futuro. Los defectos y daños que se descubren durante una inspección en servicio pueden ser el resultado de una condición preexistente antes de que el componente ingrese en servicio y/o pueda ser iniciado. Las causas fundamentales del deterioro podría deberse a consideraciones de diseño inadecuadas o a la interacción con el entorno en condiciones operativas de trabajo para las que el equipo no fue diseñado ya sea durante el servicio normal o durante períodos transitorios (3).

Corrosión: Se denomina corrosión al deterioro y/o pérdida de material superficial en materiales metálicos (metal puro y aleaciones). Este fenómeno es causado por la reacción química o electroquímica que se da entre el material metálico y el medio ambiente en el que se desempeña (4).

Protección catódica: Técnica que tiene como fin reducir la corrosión de una superficie metálica haciendo que esa superficie sea el cátodo de una celda electroquímica, esto dentro del contexto de la reacción que se da entre el material metálico y el entorno en el que está expuesto (5). Existen varios métodos de protección catódica, dentro de los más usados en la industria del

petróleo y gas están los sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio y por corriente impresa.

Ensayos no Destructivos: Los métodos de END están destinados a detectar mecanismos de daño e imperfecciones internas y superficiales en materiales, soldaduras, piezas fabricadas y componentes. Incluyen examen radiográfico, examen ultrasónico, examen por líquidos penetrantes, examen por partículas magnéticas, examen visual, prueba de fugas, examen de emisión acústica, entre otras. Para ASME el personal que realiza los END debe cumplir con todos los exámenes evaluativos que certifiquen los conocimientos del inspector sobre la técnica específica de END (6). En ASME sección VIII división 2 se indican los parámetros que debe cumplir el elemento inspeccionado para ser aceptado o rechazado (7).

Plan de Mantenimiento: Todas las acciones que involucren gestión de activos e integridad mecánica con el fin de preservar o restaurar un activo, deben incluir dentro su línea de tiempo un plan de mantenimiento de estos activos; ya sea preventivo, correctivo y/o predictivo. Se aplica este plan de mantenimiento para que se logren ejecutar las recomendaciones hechas en inspecciones pasadas y poder hacer uso de los equipos sin sufrir afectaciones producidas por el estado mecánico del equipo (8).

3. Metodología

3.1 Tipo de proyecto de grado

Este trabajo se enmarca bajo la modalidad de proyecto de investigación. De acuerdo con los lineamientos y parámetros dados por la Universidad Industrial de Santander en el Acuerdo 240 de 2008 por el cual se definen las modalidades de trabajo de grado de los programas de pregrado de la universidad (9), donde el estudiante debe realizar una revisión y un posterior análisis sobre un tema propuesto y desarrollado durante el pregrado. Esta investigación se hace a partir de documentos de investigación científica que aporten al desarrollo de la metalurgia en el mundo.

3.2 Fases del Proyecto

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto de investigación, se plantean a continuación las diferentes etapas y actividades que se realizaron en la investigación y su posterior análisis.

3.2.1 Etapa 1: Revisión Bibliográfica

En esta etapa se realizarán las siguientes actividades:

- Actividad 1: Recolectar y analizar información sobre las características técnicas de equipos estáticos y ductos.
- Actividad 2: Revisar y analizar información sobre la funcionalidad de los sistemas de protección catódica en tanques y ductos.
- Actividad 3: Establecer los riesgos a los que están expuestos los tanques y ductos de acuerdo con el análisis de la información revisada en los puntos anteriores.

3.2.2 Etapa 2: Generar diagnósticos sobre la integridad mecánica de los equipos de acuerdo con el nivel de avance de las inspecciones

En esta etapa se contempla la realización de las siguientes actividades:

- Actividad 1: Analizar la información recolectada y procedente de reportes de inspección de integridad mecánica y de levantamiento de datos de equipos.
- Actividad 2: Elaborar a partir de los conceptos de seguridad de procesos y de mantenimiento un plan de acción y un plan de mantenimiento que cumpla con las recomendaciones consignadas en los reportes de integridad.
- Actividad 3: Coordinar e incluir dentro del plan de integridad mecánica futuras inspecciones recomendadas por los reportes de integridad.

3.2.3 Etapa 3: Soporte para presentación de acta e informes de integridad mecánica y de seguridad de procesos

- Actividad 1: Coordinar y evidenciar la ejecución de los planes de acción y de mantenimiento de los equipos estáticos y ductos en campos de la industria del petróleo.

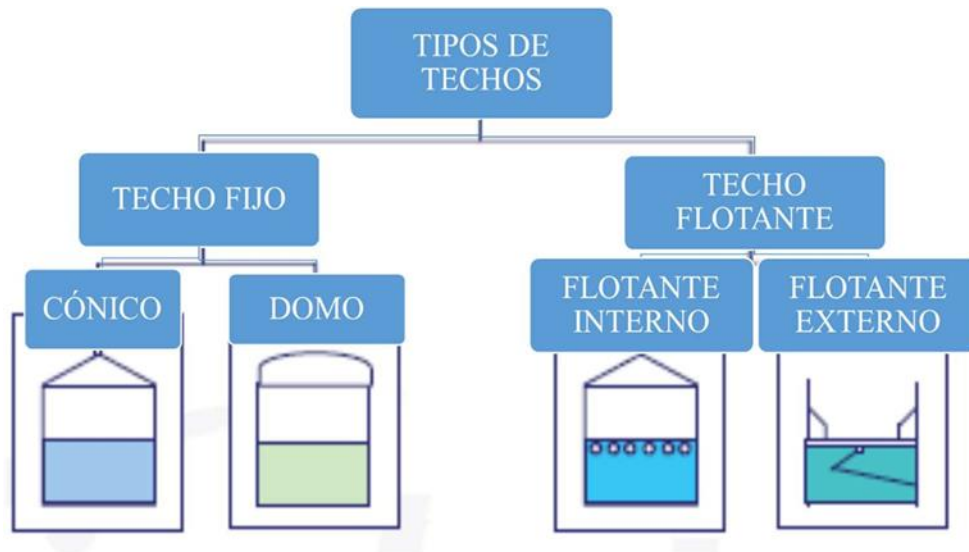
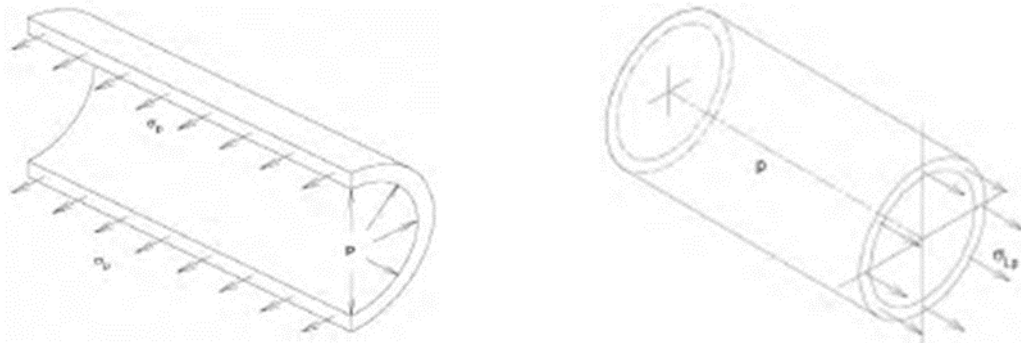
4. Resultados y Discusión

4.1 Recopilación y análisis de información técnica de equipos estáticos y ductos en la industria del petróleo y gas

Funcionamiento de ductos y equipos estáticos según su contenido: Todos los equipos usados durante la extracción del flujo trifásico de hidrocarburos están en constante operación, transportando y trabajando en función del flujo para lograr la separación de gases, sedimentos sólidos y petróleo. Siendo este último quien llega a ser refinado. El análisis de la literatura disponible permitió verificar que la destilación es el principal proceso de separación usando equipos tales como: Tanques de almacenamiento, FWKs (separador de agua libre), EHT (tratador electrostático), ductos, generadores de vapor, etc (10). El correcto funcionamiento y la duración del ciclo de vida de estos equipos depende de la frecuencia con la que sean inspeccionados, de esta manera se logra realizar los respectivos mantenimientos a tiempo evitando pérdidas económicas, derrames de contención e incidentes que afecten el ambiente o las personas.

Los ductos y tanques varían en su funcionamiento y aplicación según el diámetro, materiales de fabricación y tipos de techo. Los equipos mayormente utilizados en la industria del petróleo y gas son mostrados en las figuras 1 y 2.

Materiales de fabricación de ductos y equipos estáticos: Para definir el tipo de inspección a implementar en los equipos y ductos es importante no solamente identificar los procesos y fluidos sobre los que trabajan sino también los materiales de fabricación de estos equipos y ductos.

Figura 1 Tipos de techo de tanques atmosféricos y de baja presión (13)**Figura 2** Tramos de tubería (14)

Estos equipos están contruidos en diferentes materiales se basan en el costo del material, la facilidad de fabricación, la resistencia a la corrosión y la compatibilidad con el fluido almacenado. En la industria petrolera los equipos usados son principalmente contruidos en acero ya que es el material más común, por su facilidad para la construcción y obtención de formas diversas y soldadura, además de su bajo costo (12).

Posibles Mecanismos de daño y posibles sistemas de protección: En la Norma API 571 es posible revisar los posibles mecanismos de daño que se pueden encontrar en ductos y equipos estáticos (3). En la tabla 1, a través de un análisis industrial, se presentan los mecanismos de daño más comunes en la industria.

El revestimiento también debe satisfacer los requisitos relativos a la acción corrosiva de los elementos naturales especificados en la Norma ASMT D2244: Method for Calculation of Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates (11).

Tabla 1 *Mecanismos de daño en ductos y equipos estáticos de la industria del petróleo y gas*

| API 571 | | | | |
|-------------------|--|--|--|---|
| Mecanismo de daño | Descripción | Equipos afectados | Metodos de inspección recomendable | Sistemas de protección |
| Erosión/Corrosión | deterioro y/o pérdida de material superficial en materiales metálicos | Todos los equipos y ductos que transportan o almacenan fluidos. Tuberías y recipientes para unidades de crudo y vacío: expuestos al ácido nafténico en algunos petróleos crudos. Sistemas de tuberías en particular codos, reductores, aguas abajo de válvulas de | Inspección visual Inspección de ultrasonido Radiografía industrial | |
| Cavitación | Picaduras causadas por el colapso de las cavidades que producen un enorme desgaste en los diferentes componentes | descarga y válvulas de bloqueo, bombas, impulsores, agitadores, recipientes agitados, tubos de intercambiadores de calor, orificios de dispositivos de medición, álabes de turbina, boquillas, conductos y líneas de vapor, raspadores, cortadores, placas de desgaste, equipos que transportan lodos. | Inspección Visual Ultrasonido Radiografía Industrial | Uso de aleaciones y recubrimientos más resistentes a la corrosión |
| Fatiga Mecánica | Produce rotura del material en servicio por aumento constante de variables operacionales. | | Partículas Magnéticas Ultrasonido Industrial | |

La figura 3 permite relacionar y verificar la variación de los mecanismos de daño más frecuentes en esta industria con el pasar del tiempo y de igual manera; permite establecer la importancia de aplicar planes de inspección y de mantenimiento para evitar costos y afectaciones a los equipos, a la planta, a las personas y al medio ambiente (entorno).

Figura 3 Variación de mecanismos de daño según el tiempo de inspección y mantenimiento



4.2 Generación de diagnósticos sobre la integridad mecánica de los equipos de acuerdo con el nivel de avance de las inspecciones

Metodologías de planes de inspección: Además de conocer los datos técnicos actuales de los equipos, la última inspección realizada y el desempeño mecánico actual, es importante también inspeccionar por medio de ensayos no destructivos (END) para verificar el estado de los equipos. Inicialmente, siempre se debe realizar la inspección visual (VT) para poder determinar el estado de estos y proceder a realizar inspecciones más avanzadas, como por ejemplo usando líquidos penetrantes para detectar grietas, porosidades, o bien; es posible también aplicar una examinación de ultrasonido para determinar cuánto espesor se ha perdido. Para poder iniciar un plan de inspección se debe tener en cuenta la Figura 4 donde se muestran las etapas de aplicación de inspecciones en estos equipos.

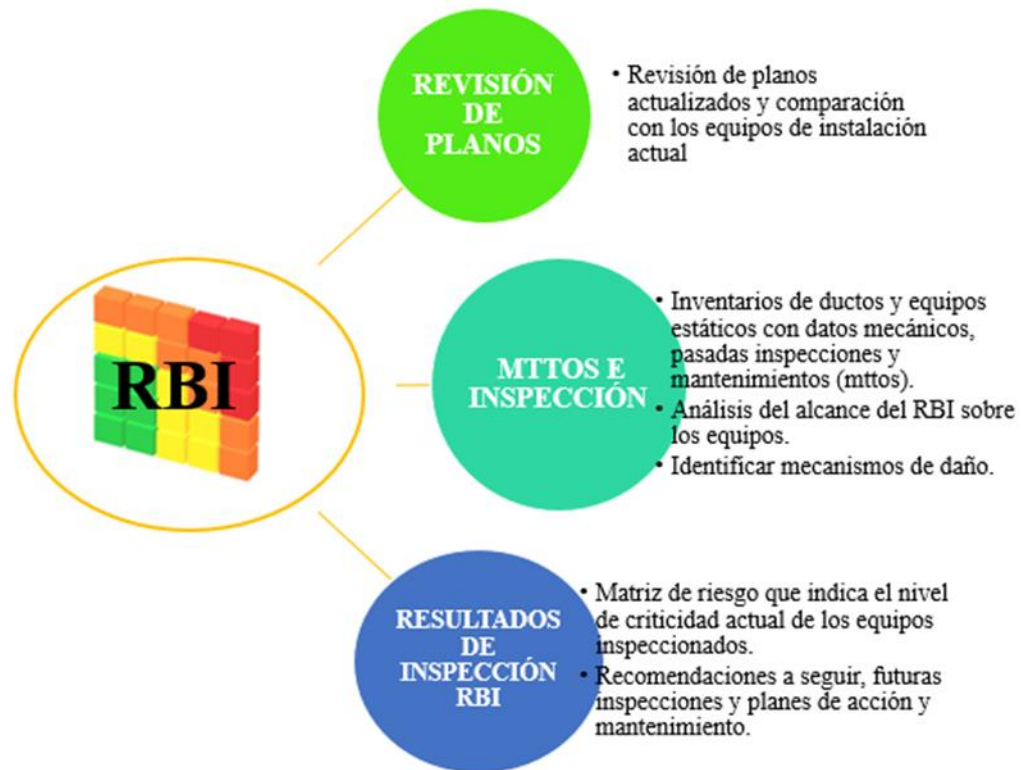
Figura 4 Metodología de aplicación de técnicas de inspección



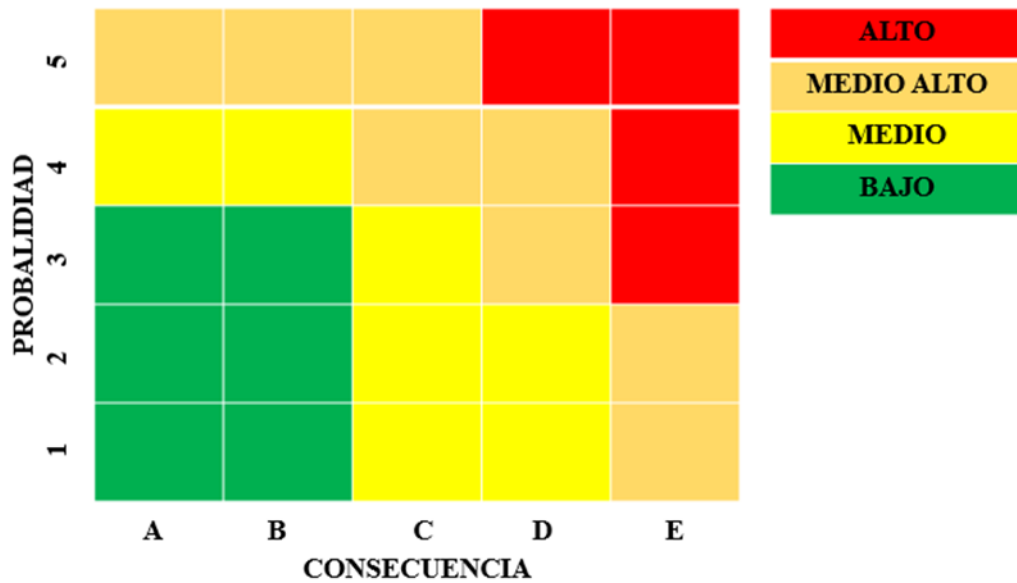
4.3 Generación de estrategias que impulsen la integridad mecánica de los equipos estáticos y ductos

Aplicación de la metodología de inspección basada en riesgo (RBI): Usar la metodología de RBI implica conocer con mayor relevancia las áreas de operación, mantenimiento y seguridad de los equipos. El conocer esto permite establecer los criterios necesarios para la evaluación del nivel de riesgo de los equipos estáticos de la instalación (16). Este tipo de inspección reduce el riesgo de fallas de alta consecuencia y a su vez mejora la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento. Las actividades que componen la correcta aplicación de un análisis RBI se describen en la figura 5.

Figura 5 Desarrollo de la metodología de inspección basada en riesgo (RBI)



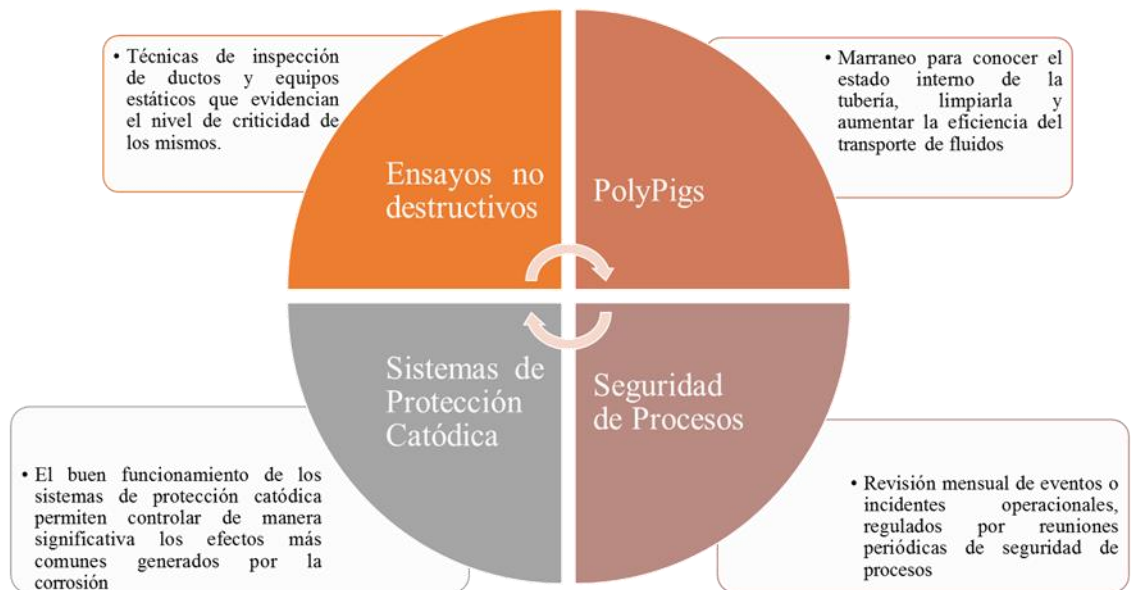
El riesgo es determinado por el tiempo que a su vez también es determinado por los mecanismos de daño y su gravedad. La distribución de los riesgos para los componentes puede mostrarse en una matriz de riesgos como se muestra en la Figura 6. Se usan los principios de probabilidad de que ocurra un riesgo con la consecuencia de este posible riesgo para establecer los niveles de criticidad, y este está argumentado por la gravedad de los resultados encontrados en las inspecciones.

Figura 6 *Matriz de riesgo RBI*

La matriz de riesgo es una valiosa herramienta visual para identificar ductos y equipos de alto riesgo con cierto nivel de probabilidad de ocurrencia. La matriz ocupa cuatro áreas; donde el alto riesgo en ductos y equipos requiere una inspección más rigurosa (17). Las fórmulas y pasos para calcular los niveles de riesgo están descritos en la norma API 581.

Formulación de estrategias para mejorar la integridad mecánica en los equipos: La mejor forma de incrementar la integridad de los equipos y reducir niveles de criticidad no solamente es aplicando END sino también diferentes técnicas de inspección muy usadas en la industria como lo muestra la Figura 7. El uso de PolyPigs (usualmente conocidas como marranas), la implementación de modelos de inspección basada en riesgo (RBI), revisión y mantenimiento de sistemas de protección catódica, revisión mensual de eventos o incidentes operacionales, etc. son fundamentales para mejorar la integridad mecánica de los equipos y ductos.

Figura 7 *Aplicación de mejoras en estrategias de integridad mecánica*



4.4 Generación de planes de acción y de mantenimiento

Planes de acción y de mantenimiento: Para poder corregir las indicaciones relevantes y aplicar las recomendaciones dadas por el equipo de inspección se deben gestionar primeros planes de acción que incluyan un plan de mantenimiento preventivo o correctivo según el estado y desempeño mecánico actual de los equipos inspeccionados. Los planes de acción se deben planear a largo plazo y por periodos de tiempo, de manera que se logre preservar el equipo y optimizar su valor el mayor tiempo posible; lo que implica reducción de costos de reemplazo de equipos y reducción de costos generales a futuro.

Plan de seguridad de procesos: Es importante mantener la integridad mecánica de los ductos y equipos estáticos no solo por optimizar costos, sino también con el fin de evitar que el equipo humano que está sobre los equipos y la operación no sufran incidentes que afecten su salud y mucho menos contaminar o afectar el entorno ambiental sobre el que se está trabajando. A partir de este análisis es posible implementar encuentros de seguridad de procesos donde se

divulguen los principios propuestos por la norma API 754. Esta norma nos permite visualizar cuales son los indicadores de desempeño en seguridad de procesos en las operaciones de las industrias del petróleo y gas (18).

Gestión de calidad: Diseñar e implementar un plan de integridad mecánica y de seguridad de procesos significa un mejoramiento continuo de los procesos que dependen en gran parte del desempeño mecánico de los ductos y equipos. Para lograr la mejora continua y conservar un nivel de calidad alto en un proceso es importante comprender los requisitos de este, no esperar a que falle para mejorarlo y auditarlo periódicamente a través de la evaluación de los datos de desempeño y de la información técnica de los ductos y equipos en servicio (19). Este enfoque basado en procesos y aplicable en esta industria está descrito en la figura 8.

Figura 8 Enfoque basado en gestión de calidad de procesos según ISO 14001:2015



4.5 Generación de planes de acción y de mantenimiento

Trazabilidad de planes de inspección y mantenimiento: Para lograr este objetivo es necesario el uso de plataformas o software de soporte de información y de gestión empresarial donde sea posible organizar, administrar, gestionar, exponer e integrar toda la información de la

empresa y así no solo sea posible organizar la información e interpretarla sino también tenerla como evidencia (15).

En la industria del petróleo y gas es muy usado el software de gestión empresarial SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos) para trazabilidad de mantenimiento en campo.

5. Conclusiones

Se logró investigar y analizar de forma exacta la información relevante relacionada con la integridad mecánica en la industria del petróleo y gas; donde fue posible identificar toda la normativa legal vigente, estandarizada, actualizada y usada en planes de integridad mecánica y de seguridad de procesos en la industria. Este tipo de investigación se realizó para lograr evidenciar la gestión de activos, la optimización de procesos y equipos que logra la integridad mecánica; no sola en esta industria sino en todas las que intervengan ductos y equipos estáticos.

Según los procesos y operaciones aplicadas en la industria y a partir del conocimiento y de la información técnica analizada en los ductos y equipos de esta fue posible establecer los principales mecanismo de daño a los que están expuestos los ductos y equipos durante el tiempo de servicio. Siendo de esta manera la corrosión el principal mecanismo de daño que afecta el desempeño mecánico y el tiempo de vida útil de ductos y equipos, por esa razón dentro de los planes de integridad mecánica no solo se recomiendan inspecciones periódicas para reconocer el estado de los equipos y lograr reemplazarlos antes de que fallen y terminen en incidentes; sino también la aplicación de sistemas de protección catódica o técnicas de limpieza e inspección de tuberías que mejoren su rendimiento y efectividad al transportar y almacenar fluidos trifásicos y de hidrocarburos.

Se identificó que es necesario programar, implementar y mantener la trazabilidad de metodologías como la inspección basada en riesgo, donde no solamente se usan ensayos no destructivos sino también otros tipos de actividades que indican un diagnóstico mecánico de los ductos y equipos. A partir de este diagnóstico el departamento de mantenimiento puede programar mantenimientos preventivos o correctivos según sean el nivel de criticidad encontrado por los inspectores.

Referencias Bibliográficas

- ANSI/AWWA D103-09 (2018). Chapter 6: Standard for. Factory-Coated Bolted Carbon Steel Tanks (AWWA).
- API (2008). API Std 581 Tecnología de Inspección basada en Riesgo. (Segunda ed.). Instituto Americano del Petróleo (API).
- API (2010). API Std 754 Indicadores de Desempeño en Seguridad de los Procesos para las Industrias de Refinamiento y Petroquímicas. (Primera ed.). Instituto Americano del Petróleo (API).
- API (2011). API RP 571 Damage mechanism affecting fixed equipment in the refining industry. (Second ed.). American Petroleum Institute (API).
- API (2014). API Std 510 Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones. (Décima ed.). Instituto Americano del Petróleo (API).
- ASME (2015). BPVC.V: Nondestructive Examination, American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- ASME (2019). BPVC.VIII.2: Alternative Rules, American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- GIRALDO GARCIA, Luis. Estrategia para el manejo de la integridad mecánica de plantas de gas. [En Línea]. Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2013. [Consultado en noviembre de 2020].
- GOMEZ DELGADO, Jimena Lizeth. Propuesta conceptual para el aprovechamiento del gas de anulares de los pozos de un campo colombiano. [En línea]. Colombia. Universidad

Industrial de Santander. 2016. [Consultado: 10 de diciembre de 2020]. Disponible en:
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163146.pdf>

GÓMEZ HERNÁNDEZ, Adriana; CASTILLO, Julie Ximena. Definición de estándares operativos para tanques atmosféricos y vasijas de almacenamiento de líquidos a presión. [En línea]. Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2007. [Consultado: 10 de diciembre de 2020].

GUZMÁN ACOSTA, Miguel. Manual de diseño para sistema de tuberías y tanques atmosféricos de techo fijo. [En línea]. Colombia. Universidad Simón Bolívar. 2012. [Consultado en enero de 2021].

INELECTRA. (2010). GUÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO (903-HM120-P09-GUD-093).

INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO ANTICORROSIVO BASADO EN DATOS [en línea]. En: (1:5-20, mayo, 2020: Lima, Perú) Introducción al mantenimiento anticorrosivo basado en datos. Lima, Perú: Infocorrosión, 2020. [Consultado: mayo 5 de 2020]. Disponible en <https://global.gotomeeting.com/join/462817541>.

ISO (2015). ISO Std 9001 Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos. (Quinta ed.). Organización Internacional para la Estandarización (ISO).

JIMENEZ RINCÓN, Beatriz. Estudio y evaluación sobre la implementación de un sistema SAP ERP Netweaver 7.4. [En línea]. España. Universidad Carlos III de Madrid. 2015. [Consultado en noviembre de 2020].

NACE. (2013). SP0169 Control de la corrosión externa en sistemas de tuberías metálicas subterráneas o sumergidas. NACE INTERNACIONAL.

Petrotecnica: Mejores prácticas para la implementación de un sistema de integridad mecánica, caso práctico: Instalaciones de MTBE [en línea]. Buenos aires: Instituto Argentino del petróleo y del gas, febrero, 2016. Disponible en: <http://www.petrotecnica.com.ar/febrero16/sinPubli/Mejores.pdf>

SALAZAR JIMENEZ, Jose Alberto. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales [en línea]. Costa rica. Insituto tecnológico de Costa Rica. 2015. [Consultado: 6 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283699824_Introduccion_al_fenomeno_de_corrosion_tipos_factores_que_influyen_y_control_para_la_proteccion_de_materiales_Nota_tecnica.

Universidad Industrial de Santander (UIS). (2008). Acuerdo No 240 DE 2008 Por el cual se definen las modalidades que aplican para la realización del Trabajo de Grado por parte de los estudiantes de los programas de pregrado de la Universidad. Recuperado de https://www.uis.edu.co/webUIS/es/trabajosdegrado/documentos/AC_ACAD_240_2008.pdf