



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

***“Sistema para la gestión de la integridad de ductos  
para el transporte de hidrocarburos. Corrosión y  
medidas preventivas”***

**Autor:**

Zapata, Daisi Romina  
ING-1093  
DNI: 35.601.874

**Directora:** MSc. Ing. Flavia Ruiz.

**Lugar y Fecha:** Neuquén, 24 de noviembre 2023

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A mi amada familia, este proyecto integrador está dedicado a ustedes, los pilares inquebrantables que han estado a mi lado en cada paso de mi camino académico y profesional. Su amor, apoyo y comprensión han sido mi fuerza motriz, iluminando cada momento de mi trayectoria. En particular, deseo expresar mi eterna gratitud a mi abuela, un faro de aliento y sabiduría, cuyo amor incondicional ha sido muy significativo para en todo este proceso.

Agradezco a GIE GROUP, la empresa que ha trascendido el marco profesional para convertirse en un aliado fundamental. Su disposición constante para compartir conocimientos, brindar orientación y colaborar en este proyecto ha sido de suma importancia.

Extendiendo mi gratitud a todos aquellos que, de una manera u otra, contribuyeron a este proyecto integrador. A mis compañeros de estudio, cuya compañía y colaboración han hecho que cada desafío sea más llevadero. A los profesores, cuya guía y conocimientos han sido fundamentales en mi formación. A cada persona que ha compartido su tiempo y experiencia, contribuyendo a enriquecer este trabajo.

Este proyecto no sólo representa un hito en mi camino académico, sino también un tributo a las conexiones significativas que he cultivado. A través de estas palabras, deseo expresar mi reconocimiento y aprecio a todos aquellos que han sido parte de este viaje. Su impacto no se limita a estas páginas, sino que se refleja en el tejido mismo de mi crecimiento personal y profesional.

Con profundo agradecimiento,

Daisi Romina Zapata

## RESUMEN

El presente Proyecto Integrador Profesional (PIP) se centró en la mejora de la gestión de integridad de ductos en la empresa GIE, con un enfoque específico en el relevamiento de datos. La iniciativa surgió ante la identificación de deficiencias en la recopilación y validación de información, lo cual afectaba la confiabilidad del proceso y la toma de decisiones en la gestión de ductos.

La metodología empleada para abordar estas problemáticas consistió en un análisis crítico del plan de gestión de ductos existente en GIE, destacando las áreas susceptibles de mejora. La comunicación cliente-proveedor fue identificada como un componente clave para el éxito, y se propuso una herramienta tecnológica específica para optimizar el relevamiento de datos y fortalecer esta comunicación.

En este contexto, la estandarización de datos se reveló como un componente esencial para mejorar la confiabilidad y la eficiencia en la recopilación de información. La propuesta incluyó la implementación de tecnologías emergentes, siendo la *tecnología blockchain*<sup>1</sup> la opción seleccionada para mejorar la trazabilidad y seguridad de los datos, reduciendo así riesgos asociados a manipulaciones no autorizadas.

La implementación de estas mejoras se llevó a cabo en una fase experimental, enfocándose en un número limitado de ductos. Los resultados obtenidos fueron altamente positivos, demostrando avances sustanciales en términos de confiabilidad de datos y eficiencia operativa. La aplicación práctica de estas propuestas proporcionó evidencia concreta de su viabilidad y efectividad.

En resumen, el proyecto propuso una estrategia integral para optimizar la gestión de integridad de ductos en GIE, con una atención especial en la mejora del relevamiento de datos. La estandarización de datos y la adopción de blockchain se presentaron como herramientas esenciales para abordar las deficiencias identificadas. La implementación exitosa en un grupo reducido de ductos validó la efectividad de estas propuestas, generando mejoras significativas en la confiabilidad de datos y la eficiencia operativa en la gestión de ductos de transporte de hidrocarburos.

---

<sup>1</sup> Tecnología blockchain: Tipo de tecnología de registro distribuido que permite la creación de un registro inmutable de transacciones en una red descentralizada.

## ABSTRACT

This Professional Integrator Project (PIP) was focused on the improvement of pipeline integrity management at GIE, with a specific emphasis on data collection. The initiative arose from the identification of shortcomings in the collection and validation of data, which affected the reliability of the process and decision-making in pipeline management.

The methodology used to address these issues involved a critical analysis of GIE's existing pipeline management plan, highlighting areas for improvement. Customer-supplier communication was identified as a crucial component for success, and a specific technological tool was proposed to optimize data collection and strengthen this communication.

In this context, data standardization emerged as an essential component to improve reliability and efficiency in data collection. The proposal included the implementation of emerging technologies with Blockchain being the chosen option to enhance data traceability and security, thereby reducing risks associated with unauthorized manipulations.

The implementation of these improvements took place in an experimental phase, focusing on a limited number of pipelines. The results were highly positive, demonstrating substantial progress in terms of data reliability and operational efficiency. The practical application of these proposals provided concrete evidence of their feasibility and effectiveness.

In summary, the project proposed a comprehensive strategy to optimize pipeline integrity management at GIE, with a special focus on improving data collection. Data standardization and the implementation of Blockchain were presented as essential tools to address the identified shortcomings. The successful implementation in a small group of pipelines validated the effectiveness of these proposals, generating significant improvements in data reliability and operational efficiency in the management of hydrocarbon transport pipelines.

## INDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA INTEGRIDAD DE DUCTOS</b> .....	6
<b>1.1 Contextualización</b> .....	6
<b>1.2 La Figura del Ingeniero en Petróleo</b> .....	6
<b>1.3 Empresas Gestoras de Ductos</b> .....	7
<b>1.4 Herramientas y Tecnologías Avanzadas</b> .....	7
<b>1.5 Compromiso con la Sostenibilidad y la Sociedad</b> .....	8
<b>1.6 Perspectivas Futuras</b> .....	8
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	10
<b>2.1 Introducción</b> .....	10
<b>2.2 Fundamentos de la integridad de Ductos</b> .....	10
<b>2.3 Corrosión en Ductos de Hidrocarburos</b> .....	13
<b>2.4 Normativas y Regulaciones</b> .....	17
<b>2.5 Estudios de Caso y Análisis de Incidentes Pasados</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	25
<b>3.1 Ambientes Corrosivos y Factores Externos</b> .....	25
<b>3.2 Control Documental del Servicio Actual</b> .....	27
<b>3.3 Metodologías y Herramientas para la Gestión de la Integridad de Ductos</b> .....	29
<b>3.4 Evaluación de Tecnologías Emergentes en la Gestión de la Integridad de Ductos</b> .....	31
<b>3.5 Plan actual de Gestión de Integridad de Ductos de GIE GROUP</b> .....	33
<b>3.6 Conclusiones</b> .....	34
<b>CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE DUCTOS</b> .....	36
<b>4.1 Tecnología de blockchain</b> .....	38



<b>4.2 Sistema de Gestión de Integridad de Ductos basado en Blockchain. Aplicación.</b> .....	38
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS</b> .....	41
<b>5.1 Detalle de resultados pos implementación de sistema de gestión</b> .....	41
<b>5.2 CICLO DE MEJORA CONTINUA DE DEMING</b> .....	47
<b>5.3 Confiabilidad de los Datos</b> .....	47
<b>5.4 Eficiencia y Rapidez</b> .....	48
<b>5.5 Contribución de la Tecnología de Blockchain</b> .....	49
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</b> .....	50
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	52

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA INTEGRIDAD DE DUCTOS

## 1.1 Contextualización

La industria petrolera ha experimentado una evolución constante, tanto en su infraestructura como en tecnología; con el fin de innovar y mejorar sus prácticas y procesos. En el multifacético panorama de la industria petrolera, la segmentación dedicada al transporte y gestión de ductos ocupa una posición crucial. A nivel global, este sector facilita el movimiento eficiente de hidrocarburos, una especialidad que se dedica a garantizar el transporte seguro y eficiente de los hidrocarburos desde las reservas de extracción hasta los puntos de consumo. Es esta red de ductos, que se extiende por terrenos variados y muchas veces adversos, la que posibilita que recursos energéticos cruciales lleguen desde los sitios de extracción hasta refinerías y distribuidoras, desembocando eventualmente en un sinfín de aplicaciones que sostienen nuestra vida cotidiana.

La gestión y mantenimiento de estos ductos es una tarea compleja, que exige una comprensión profunda de diversos aspectos, como la dinámica del flujo de fluidos, la química de los materiales de los ductos, y las fuerzas ambientales que pueden afectar la integridad estructural de estas infraestructuras cruciales. Esta travesía que los hidrocarburos emprenden está plagada de desafíos intrínsecos, haciendo que la integridad de los ductos sea un aspecto de vital importancia. Esta integridad no sólo guarda relación con mantener una eficiencia operativa óptima, sino que también es sinónimo de seguridad, previniendo incidentes que podrían tener graves repercusiones tanto para el medio ambiente como para las poblaciones circundantes.

## 1.2 La Figura del Ingeniero en Petróleo

Dentro de este escenario, surge la figura del ingeniero en petróleo, un profesional que personifica una amalgama de disciplinas y competencias. Estos profesionales deben encarnar diversos roles, siendo tanto científicos como innovadores, mientras orquestan acciones que garantizan un transporte seguro, eficiente y sostenible de hidrocarburos. Su papel no se limita a aplicar los principios de la ingeniería a los procesos de exploración, extracción y producción de petróleo, sino que también se extiende a garantizar la integridad de los ductos.

La función de estos ingenieros es dinámica y abarca una multitud de responsabilidades, desde el diseño inicial de los materiales y la infraestructura hasta la implementación de protocolos de mantenimiento regular. Además, deben estar siempre un paso adelante en lo que respecta a las posibles amenazas que pueden comprometer la integridad de los ductos, como la corrosión, fisuras y otros mecanismos de fallo; y la

implementación de tecnologías de vanguardia para monitorear y mantener la salud de estos sistemas a lo largo de su ciclo de vida.

Para combatir estos problemas, se espera que los ingenieros en petróleo posean un conocimiento profundo de los materiales que conforman los ductos, así como una comprensión avanzada de cómo los factores externos, como las condiciones climáticas y geográficas, pueden afectar su durabilidad y funcionalidad.

### 1.3 Empresas Gestoras de Ductos

La presencia del ingeniero de petróleo en las empresas que se especializan en la gestión de ductos es vital. Aquí, asumen roles estratégicos, supervisando no solo las operaciones diarias, sino también trabajando en colaboración con otros departamentos para desarrollar estrategias de largo plazo que garanticen una operatividad sostenible y eficiente.

Su responsabilidad se extiende a garantizar que los ductos cumplan con los estándares regulatorios y medioambientales más rigurosos, actuando como un puente entre las metas corporativas y los imperativos de seguridad y sustentabilidad. Esta colaboración multisectorial facilita una operación holística, en la que cada componente del sistema de ductos es optimizado para un rendimiento superior.

GIE GROUP S.A, empresa en donde me encuentro como pasante, desarrolla en forma integral proyectos que abarcan desde la detección de oportunidades, su análisis e interpretación, el análisis de fallas, hasta los planes de inspección, mitigación y monitoreo periódico o permanente, generando importantes beneficios en la operación e integridad del activo, de modo tal de garantizar: mayor disponibilidad; seguridad para la operación y el medio ambiente; mejora de las relaciones con los *stakeholders*<sup>2</sup>; aumento de la rentabilidad por mejora de disponibilidad.

### 1.4 Herramientas y Tecnologías Avanzadas

En la actualidad, los ingenieros de petróleo disponen de un sin fin de herramientas y tecnologías avanzadas que les permiten llevar a cabo su labor con una gran precisión. Pueden hacer uso de tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real, técnicas de modelado y simulación de última generación, entre otras, para garantizar una gestión óptima de los ductos. Tienen la responsabilidad de interpretar y analizar datos provenientes de inspecciones periódicas y pruebas no destructivas, ofreciendo una visión detallada del estado

---

<sup>2</sup>Stakeholders: Personas o agrupaciones que tienen interés en un negocio y que pueden verse afectadas o influir en la toma de decisión de una empresa.

actual de la infraestructura, lo que a su vez permite una toma de decisiones más informada y una respuesta rápida ante cualquier señal de deterioro o fallo.

Además, están a la vanguardia en la implementación de innovaciones tecnológicas, explorando continuamente formas de mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de las operaciones de ductos. Esta búsqueda constante de excelencia a menudo resulta en la adopción de soluciones tecnológicas revolucionarias que redefinen los límites de lo que es posible en la industria petrolera.

GIE GROUP S.A, cuenta con un software de gerenciamento de integridad de ductos llamado KIPU. Este programa permite que se administre la información referente a la integridad de ductos, analizar y optimizar la toma de decisiones bajo ASME B31.8s y API 1160. Permite una visualización rápida de las inspecciones programadas con posibilidad de control y seguimiento de avance, así como una visualización pormenorizada de las inspecciones para conjuntos de ductos o para un solo activo. Cuenta con la posibilidad de exportar los resultados visualizados, convirtiéndose en una herramienta ideal para la generación de reportes de gestión.

## **1.5 Compromiso con la Sostenibilidad y la Sociedad**

En el actual clima de conciencia ambiental creciente, los ingenieros también se están convirtiendo en protagonistas de la sostenibilidad. Estos profesionales están llamados a liderar iniciativas que busquen minimizar el impacto ecológico, trabajando en colaboración con las comunidades locales y las organizaciones medioambientales.

A través de una planificación meticulosa y coordinada, los ingenieros están en una posición privilegiada para balancear las exigencias de una producción energética eficiente con la necesidad imperante de preservar el entorno natural y garantizar la seguridad y bienestar, desarrollando soluciones que sean beneficiosas tanto para las empresas como para el entorno de las comunidades aledañas.

Esta responsabilidad social ampliada significa que están constantemente evaluando y reevaluando las prácticas de la industria, marcando así una nueva era en la responsabilidad corporativa en la industria petrolera.

## **1.6 Perspectivas Futuras**

A medida que avanzamos hacia un futuro incierto, el papel del ingeniero de petróleo parece estar destinado a evolucionar aún más. Con los desafíos de un mundo en constante cambio, estos profesionales

serán llamados a liderar esfuerzos para desarrollar soluciones más sostenibles, seguras y eficientes en la gestión de ductos.

En este contexto, los ingenieros se erigen como figuras centrales, siendo llamados a aunar habilidades técnicas, análisis estratégico y un compromiso palpable con la sostenibilidad.

Al mirar hacia el futuro, podemos anticipar una era en la que la integridad de los ductos será gestionada con una combinación de tecnología avanzada y una comprensión más profunda de los complejos sistemas ecológicos y sociales que rodean la industria petrolera. Serán los profesionales de la industria quienes estarán a la vanguardia de estos desarrollos, conduciéndola hacia un futuro más prometedor.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Introducción

En este capítulo, se desarrolla una revisión exhaustiva de literatura y estudios relacionados con la integridad de los ductos y la corrosión en el transporte de hidrocarburos. Se busca establecer una base sólida para la investigación actual, explorando teorías existentes, normativas vigentes, y hallazgos de investigaciones previas en este campo.

### 2.2 Fundamentos de la integridad de Ductos

#### 2.2.1 Importancia de la Integridad de los Ductos

La integridad de los ductos en la industria petrolera se configura como uno de los pilares fundamentales para garantizar una operación segura, eficiente y sostenible. La magnitud de su relevancia se despliega a través de múltiples dimensiones, que abarcan desde aspectos económicos hasta implicaciones medioambientales y sociales. A continuación, se desglosa con más detalles la vital importancia de la integridad de los ductos.

##### A. Relevancia Económica y Operacional

El correcto mantenimiento y la gestión de la integridad de los ductos se traducen directamente en la optimización de las operaciones y la eficiencia económica. Una infraestructura bien mantenida minimiza las posibilidades de fallas catastróficas que pueden derivar en pérdidas significativas de producto, daños a equipos y, en última instancia, pérdidas financieras colosales. Además, una infraestructura confiable facilita la planificación operacional, permitiendo que las operaciones de transporte fluyan sin interrupciones significativas, lo que se traduce en una cadena de suministro más eficiente y confiable.

##### B. Preservación del Medio Ambiente

Los ductos que operan en condiciones óptimas son menos propensos a sufrir derrames y liberaciones no controladas, lo que puede tener graves repercusiones en el medio ambiente. Los accidentes relacionados con ductos pueden resultar en la contaminación del agua, del suelo, y en daños a ecosistemas frágiles. La adopción de una gestión de integridad robusta contribuye a la prevención de tales incidentes, asegurando una operación más armoniosa con el medio ambiente.

### C. Seguridad y Salud Pública

Las fallas en los ductos no solo representan un riesgo para el medio ambiente sino también para las comunidades cercanas a las infraestructuras. Los incidentes pueden traducirse en riesgos graves para la salud pública, desde la exposición a productos químicos peligrosos hasta potenciales explosiones. Por lo tanto, garantizar la integridad de los ductos es una cuestión de responsabilidad social, donde la industria se esfuerza por proteger la salud y la seguridad de las poblaciones vecinas.

### D. Preservación de la Reputación Corporativa

Las empresas en la industria de hidrocarburos, como GIE GROUP, están comprometidas con el mantenimiento de una reputación corporativa sólida. Los incidentes relacionados con la falta de integridad de ductos pueden tener un impacto duradero y negativo en la percepción pública de una compañía, afectando su valor de mercado y su capacidad para operar de manera efectiva en el futuro. Un enfoque proactivo hacia la integridad de los ductos, por lo tanto, actúa como una salvaguarda vital para la reputación corporativa.

### E. Innovación y Desarrollo Tecnológico

El mantenimiento de la integridad de los ductos también impulsa la innovación en la industria. A medida que las compañías buscan maneras de monitorear y mantener su infraestructura más eficientemente, están impulsadas a desarrollar y adoptar nuevas tecnologías y métodos. Esto, a su vez, puede llevar a avances que benefician a la industria en su conjunto, promoviendo un ciclo continuo de mejora y desarrollo.

### F. Responsabilidad Social Corporativa

La integridad de los ductos también se alinea con los objetivos más amplios de responsabilidad social corporativa. Esto involucra la adopción de prácticas empresariales que buscan minimizar los impactos negativos en la comunidad y el medio ambiente, a la vez que promueven un impacto positivo en todas las partes involucradas. A través de la gestión efectiva de la integridad de los ductos, las compañías pueden demostrar el compromiso que tiene en cuenta los intereses de una amplia gama de grupos.

## **2.2.2 Factores que Afectan la Integridad de los Ductos**

El sistema de ductos que facilita el transporte de hidrocarburos y otros fluidos es una infraestructura crítica en la industria energética. La integridad de estos ductos es esencial para garantizar una operación segura, eficiente y ecológica. A continuación, vamos a analizar diversos factores que

pueden afectar la integridad de los ductos, subdivididos en categorías como factores físicos, operativos y externos.

### Factores Físicos:

- **Corrosión:** Es uno de los factores más críticos que afecta la integridad de los ductos. La corrosión puede ocurrir tanto interna como externamente y es influenciada por diversas variables, como la composición del material del ducto, la presencia de impurezas en el fluido transportado, y las condiciones medioambientales. A su vez, se pueden identificar subfactores como:
  - **Corrosión Interna:** Ocurre debido a la reacción química entre el material del ducto y las sustancias que transporta.
  - **Corrosión Externa:** Es inducida por elementos presentes en el entorno del ducto, como la humedad del suelo, la presencia de sales, entre otros.
- **Erosión:** La erosión es el desgaste físico de las paredes internas del ducto, generalmente provocado por partículas sólidas presentes en el fluido que circula a alta velocidad.

### Factores Operativos:

- **Presión Operativa:** Una presión operativa inadecuada puede provocar la deformación del ducto, originando fallos estructurales como abolladuras o fisuras.
- **Temperatura:** El funcionamiento a temperaturas extremadamente altas o bajas puede afectar la integridad del ducto, modificando las propiedades materiales del mismo.

### Factores Externos

- **Impactos Mecánicos:** Los impactos mecánicos, como los producidos por maquinaria pesada o fenómenos naturales, pueden generar daños significativos en la estructura del ducto.
- **Interferencias de Terceros:** Las intervenciones no autorizadas o accidentales por terceros pueden representar una amenaza significativa para la integridad de los ductos.

## 2.3 Corrosión en Ductos de Hidrocarburos

### 2.3.1 Tipos de Corrosión y Mecanismos

La corrosión en los ductos de hidrocarburos es una amenaza multidimensional, manifestándose de varias maneras debido a diferentes factores. Aquí exploramos los principales tipos de corrosión junto con los mecanismos que los impulsan.

- **Corrosión Uniforme:** Esta forma de corrosión afecta extensamente la superficie de los ductos de manera homogénea. Las reacciones electroquímicas uniformes ocasionan la pérdida material continua y uniforme a lo largo de la superficie del ducto.



Figura 1: Ejemplo de corrosión uniforme

- **Corrosión Galvánica:** Ocurre cuando dos metales diferentes están en contacto eléctrico en presencia de un electrolito, facilitando una reacción que causa la corrosión de uno de los metales. El metal más anódico sufre una degradación acelerada debido a la diferencia en el potencial eléctrico con el metal catódico.



Figura 2: Ejemplo de corrosión galvánica

- Corrosión por Picaduras: Es un tipo de corrosión localizada que resulta en la formación de pequeños huecos o cavidades en la superficie del material. Concentraciones de cloruros o fluctuaciones del pH pueden crear áreas de alta corrosión, dando lugar a la formación de picaduras.



Figura 3: Ejemplo de corrosión por picaduras

- Corrosión Intergranular: Afecta principalmente las fronteras de grano del material, debilitando la estructura interna del ducto. El material se sensibiliza, generalmente debido a procesos térmicos, promueve la corrosión en las fronteras de grano.



Figura 4: Ejemplo de corrosión intergranular

- **Corrosión Bajo Tensión (SCC):** Este tipo de corrosión es resultado de la combinación de tensión mecánica y corrosión química. La presencia de tensiones residuales y ambientes corrosivos puede iniciar la formación de pequeñas fisuras que se propagan con el tiempo.



Figura 5: Ejemplo de corrosión bajo tensión

- **Corrosión Microbiológica:** Se produce por la acción de microorganismos, como bacterias que inducen corrosión en la superficie del ducto. Los microorganismos liberan sustancias que pueden acelerar las reacciones corrosivas o crear biopelículas que propician un ambiente corrosivo.



Figura 6: Ejemplo de corrosión microbiológica

- **Corrosión por Erosión:** Esta forma de corrosión es el resultado de la interacción física entre el flujo de fluidos y la superficie del ducto. El flujo turbulento de fluidos puede desgastar físicamente la superficie, facilitando la corrosión en las áreas afectadas.



Figura 7: Ejemplo de corrosión por erosión

### 2.3.2 Materiales y su Susceptibilidad a la Corrosión.

La integridad de los ductos en la industria de hidrocarburos no solo depende de las condiciones ambientales y operacionales sino también de los materiales que se utilizan en su fabricación. Diferentes materiales tienen variados grados de susceptibilidad a la corrosión, lo que puede influir significativamente en la vida útil y la seguridad de los ductos. En este apartado, exploraremos los materiales comúnmente empleados en la construcción de ductos y su resistencia a distintos tipos de corrosión, junto con estrategias para optimizar la selección de materiales.

#### Materiales Comunes en la Construcción de Ductos:

- *Acero al carbono*: El acero al carbono es el material más comúnmente utilizado en la fabricación de ductos debido a su fortaleza y ductilidad. Sin embargo, es susceptible a varios tipos de corrosión, incluyendo la corrosión uniforme y galvánica.
  - Resistencia a la Corrosión: Media. Aunque robusto, es propenso a la corrosión en ambientes con alta concentración de agentes corrosivos.
  - Mejoras Propuestas: Aplicación de recubrimientos protectores, y adición de elementos aleantes para mejorar su resistencia a la corrosión.
- *Acero Inoxidable*: El acero inoxidable, con su alta resistencia a la corrosión, es otra opción popular. Su contenido de cromo le confiere una resistencia superior a la corrosión intergranular y por picaduras.
  - Resistencia a la Corrosión: Alta. La capa de óxido de cromo actúa como una barrera contra agentes corrosivos.
  - Mejoras Propuestas: Utilización de tipos específicos de acero inoxidable con mayor contenido de níquel para una mejor resistencia en ambientes más agresivos.

- *Aleaciones de Níquel*: Las aleaciones de níquel son conocidas por su excelente resistencia a la corrosión, especialmente en entornos con altas temperaturas y presiones.
  - Resistencia a la Corrosión: Muy alta. Estas aleaciones pueden resistir efectivamente la corrosión incluso en condiciones severas.
  - Mejoras Propuestas: Investigar nuevas aleaciones que puedan ofrecer una mejor relación costo-beneficio.

## 2.4 Normativas y Regulaciones.

Mantener la integridad de los ductos es vital para garantizar la seguridad operativa y la protección del medio ambiente. Para lograr esto, existe una serie de normativas y regulaciones tanto a nivel internacional como regional que guían y supervisan la construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas críticos. En este segmento, se discutirán los estándares y regulaciones que son imperativos para asegurar la integridad de los ductos.

### 2.4.1 Estándares Internacionales

La industria de hidrocarburos está guiada por una serie de estándares internacionales que han sido diseñados para promover la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones de ductos. A continuación, se describen algunos de los organismos internacionales que establecen estos estándares:

- *API (Instituto Americano del Petróleo)*: El API es reconocido mundialmente por su contribución en el establecimiento de normas para la industria del petróleo y gas. Entre los estándares relacionados con la integridad de los ductos están:
  - API 1160: Este estándar detalla las prácticas recomendadas para la gestión de la integridad de ductos de líquidos.
  - API 1176: Un documento que se centra en la evaluación y reparación de fisuras en ductos.
- *ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)*: ASME proporciona un marco normativo amplio, con varios estándares pertinentes para la integridad de los ductos, incluyendo:
  - ASME B31.4: Esta norma se aplica a los sistemas de transporte por ductos de hidrocarburos líquidos.
  - ASME B31.8: Un estándar que cubre la gestión de gasoductos y sistemas de almacenamiento.

- *NACE (Corporación Nacional de Corrosión de Ingenieros)*: NACE Internacional se especializa en la publicación de estándares que se centran en la corrosión y su control. Algunas de las normas clave son:
  - NACE SP0169: Establece las prácticas de control de la corrosión para los ductos enterrados o sumergidos.
  - NACE SP0102: Un estándar que se centra en la monitorización de la corrosión para ductos.

#### 2.4.2 Normativas Locales y Regulaciones Regionales

En Argentina, la industria de hidrocarburos está regulada por una serie de leyes, decretos y resoluciones que estipulan las normas y directrices para garantizar la integridad y seguridad de los ductos. Aquí presento algunas de las normativas más relevantes:

- Ley Nacional de Hidrocarburos (Ley N° 17.319): Esta ley establece el marco general para la exploración, explotación, refinación y transporte de hidrocarburos en Argentina. En su texto, se encuentran varias disposiciones que hacen referencia a la seguridad y la integridad de las operaciones, incluyendo las que involucran ductos.
- Decreto Reglamentario 44/91: Este decreto reglamenta la Ley Nacional de Hidrocarburos, y contiene disposiciones específicas sobre la construcción, mantenimiento y operación de los ductos.
- Ley de Seguridad en el Transporte de Hidrocarburos por Ductos (Ley N° 26.095): Esta ley es de especial relevancia, ya que establece las medidas de seguridad necesarias para el transporte de hidrocarburos a través de ductos, promoviendo la prevención de accidentes y la minimización de los riesgos asociados a estas operaciones.
- Resoluciones de la Secretaría de Energía: La Secretaría de Energía, a través de diversas resoluciones, establece normativas específicas para la operación segura de ductos. Esto incluye requisitos para la construcción, mantenimiento y la prevención de accidentes. Estas resoluciones pueden variar y actualizarse con el tiempo, por lo que es recomendable revisar continuamente las últimas disposiciones publicadas. Algunas de ellas son: Resolución N° 46/1991, Resolución E 120/2017, Resolución N° 104/1998, Resolución N° 127/1999 y Resolución 571/2019.
- Normas IRAM: El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) establece una serie de normas técnicas que son de aplicación en la industria de hidrocarburos, incluyendo las que rigen la construcción y operación de ductos. Las normas IRAM son referencias técnicas que ayudan a garantizar que las operaciones se llevan a cabo de acuerdo con los estándares aceptados de seguridad y calidad.

- Ley General del Ambiente (Ley N° 25.675): Aunque no es específica para ductos, esta ley establece el marco general para la protección del medio ambiente en Argentina, y las empresas que operan ductos deben cumplir con sus disposiciones para prevenir y mitigar los impactos ambientales de sus operaciones.
- Ley de Residuos Peligrosos (Ley N° 24.051): Esta ley regula la gestión de residuos peligrosos, incluyendo aquellos que pueden resultar de las operaciones con ductos, como los derrames de hidrocarburos.
- NAG 100: Una normativa técnica específica de Argentina que establece las regulaciones y directrices para la operación segura y eficiente de gasoductos.
- DS 081 y 042: Son decretos supremos que regulan la seguridad y la operación de los ductos de hidrocarburos en ciertas regiones, estableciendo los criterios técnicos y de seguridad que deben ser seguidos.
- OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible): El OPDS es una entidad que supervisa el cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales relacionadas con la operación de ductos en ciertas regiones.

Las normativas y regulaciones tanto internacionales como regionales desempeñan un papel vital en la garantía de la integridad y la seguridad de los ductos. Proveen un marco que guía el diseño, la construcción, y la operación de ductos, promoviendo prácticas seguras y sostenibles. Es imperativo que las organizaciones estén al tanto de estas normas y las incorporen en sus operaciones para garantizar una gestión eficiente y segura de los ductos de hidrocarburos.

## 2.5 Estudios de Caso y Análisis de Incidentes Pasados

La industria ha experimentado varios incidentes críticos a lo largo de los años, con muchas de estas incidencias atribuidas a fallas en la integridad estructural de los ductos, principalmente debido a la corrosión. Analizar estos incidentes puede ofrecer *insights*<sup>3</sup> sobre cómo mejorar las estrategias de mantenimiento y prevención. En esta sección, se explorarán algunos casos significativos que sirven como estudios puntuales para entender mejor los desafíos y las soluciones disponibles en la gestión de la integridad de ductos.

---

<sup>3</sup>Insights: Descubrimiento valioso que proporciona una nueva perspectiva o entendimiento, ayudando a tomar decisiones más informadas o a desarrollar estrategias más efectivas.

### 2.5.1 Caso 1: Derrame de Petróleo en Kalamazoo River (2010)

El 26 de julio de 2010, una de las tragedias ambientales más significativas en la historia de los Estados Unidos ocurrió cerca de Marshall, Michigan. En la tarde de ese día, el ducto 6B operado por Enbridge Inc. sufrió una fisura que desencadenó un derrame masivo de petróleo crudo en el río Kalamazoo. El incidente es notable no solo por la magnitud del derrame, sino también por la serie de fallos operacionales y de comunicación que lo acompañaron.

#### Detalles del Incidente

El ducto 6B, con una extensión de más de 1900 millas, transportaba petróleo crudo desde Griffith, Indiana, hasta Sarnia, Ontario. La brecha en la tubería liberó aproximadamente 3.2 millones de litros de petróleo crudo en Talmadge Creek, que luego fluyó hacia el río Kalamazoo. El petróleo se extendió por más de 38 millas a lo largo del río, resultando en graves daños ambientales y requerimientos de limpieza a largo plazo.

La fuga fue producto de una corrosión bajo tensión asistida por corrosión (SCC), un tipo de degradación que ocurre cuando la tensión mecánica y la corrosión química convergen, facilitando la formación de grietas en el material del ducto.

#### Lecciones Aprendidas

- Prevención y Monitoreo:
  - Inspección Regular: La necesidad de inspecciones regulares para identificar y monitorear la progresión de SCC y otras formas de degradación.
  - Sistema de Detección de Fugas Mejorado: Implementar sistemas de detección de fugas más sensibles y precisos para identificar las fugas en una etapa temprana.
- Gestión de la Corrosión:
  - Control de Tensiones Residuales: Desarrollo de estrategias para controlar las tensiones residuales en los ductos para prevenir la formación de SCC.
  - Técnicas de Mitigación de Corrosión: Implementación de técnicas de mitigación de corrosión más efectivas, como revestimientos protectores y sistemas de protección catódica.
- Respuesta a Emergencias:
  - Planes de Respuesta Mejorados: Desarrollo de planes de respuesta a emergencias más robustos que permitan una acción rápida para mitigar el impacto de los derrames.
  - Capacitación y Sensibilización: Programas continuos de capacitación para el personal de operaciones para asegurar una respuesta rápida y efectiva ante emergencias.

### Impacto y Recuperación

El incidente en Kalamazoo River no solo resultó en daños ambientales significativos, sino también en graves repercusiones económicas y legales para Enbridge. El esfuerzo de limpieza se extendió por varios años, con costos que ascendieron a más de 1.2 mil millones de dólares.

El caso del derrame de petróleo en Kalamazoo River subraya la importancia crítica de mantener y monitorear proactivamente la integridad de los ductos para prevenir accidentes devastadores. Las lecciones aprendidas de este incidente deben ser una guía para mejorar continuamente las estrategias de gestión de la integridad de ductos, con un enfoque particular en prevenir la corrosión y garantizar una respuesta rápida y efectiva en caso de emergencias.

#### **2.5.2 Caso 2: Explosión de Gasoducto en San Bruno (2010)**

El 9 de septiembre de 2010, la ciudad de San Bruno en California, Estados Unidos, fue escenario de una de las explosiones de gasoducto más devastadoras en la historia reciente. A las 6:11 PM, un segmento de un gasoducto de transporte de gas natural, operado por Pacific Gas and Electric Company (PG&E), explotó en el vecindario de Crestmoor. Este incidente no solo subrayó las consecuencias potencialmente catastróficas de los fallos en la integridad de los ductos, sino que también puso de manifiesto una serie de deficiencias en la regulación y supervisión de la industria de gasoductos.

#### Detalles del Incidente

El estallido produjo una enorme columna de fuego, alcanzando alturas superiores a los 300 metros, lo que resultó en la destrucción de 38 hogares y daños severos a muchos más. Ocho personas perdieron la vida y numerosas resultaron heridas. La investigación posterior reveló que la explosión fue causada por una combinación de factores, incluyendo corrosión, material de baja calidad y soldaduras defectuosas.

El segmento del gasoducto que falló fue construido en la década de 1950 y estaba compuesto por tuberías de acero de diferentes calidades y con soldaduras longitudinales deficientes. La inspección después del incidente también señaló la presencia de corrosión interna y externa significativa que habían debilitado la integridad estructural de la tubería a lo largo de los años.

### Lecciones Aprendidas

- Mantenimiento y Monitoreo:
  - Inspección Rigurosa: Realizar inspecciones periódicas rigurosas utilizando técnicas avanzadas de monitoreo para identificar áreas potencialmente vulnerables antes de que se conviertan en problemas críticos.
  - Mejora en los Materiales y Técnicas de Soldadura: Utilizar materiales de alta calidad y técnicas de soldadura avanzadas para garantizar la integridad a largo plazo de los gasoductos.
- Gestión de la Corrosión:
  - Evaluación Continua de la Corrosión: Implementar programas de gestión de corrosión que permitan una evaluación continua del estado de corrosión de las tuberías y faciliten intervenciones tempranas para prevenir fallos catastróficos.
  - Mitigación de Corrosión Activa: Adoptar estrategias de mitigación de corrosión activas, como la aplicación de revestimientos protectores y el uso de sistemas de protección catódica para prevenir la corrosión externa e interna.
- Gestión de Emergencias:
  - Planes de Respuesta Mejorados: Elaborar planes de respuesta de emergencia detallados y realistas para garantizar una respuesta rápida y coordinada en caso de incidentes.
  - Coordinación con Agencias Locales: Fortalecer la coordinación con las agencias locales de emergencia para garantizar una respuesta rápida y efectiva en caso de incidentes graves.

### Impacto y Recuperación

El impacto del incidente fue inmenso, no solo en términos de vidas perdidas y daños a la propiedad, sino también desde una perspectiva económica y legal. PG&E enfrentó demandas multimillonarias y fue condenada por múltiples violaciones de seguridad. La recuperación de la comunidad de San Bruno ha sido un proceso largo, con esfuerzos significativos dedicados a la reconstrucción y a garantizar que un incidente de esta magnitud no se repita.

El caso de la explosión de gasoducto en San Bruno destaca la necesidad de una gestión eficiente de la integridad de los ductos para garantizar la seguridad de las comunidades circundantes. Este suceso proporciona una hoja de ruta valiosa para la industria, subrayando la importancia de la inspección regular, la mitigación de la corrosión y la preparación para emergencias como piedras angulares de un programa de integridad de ductos robusto y efectivo. La tragedia de San Bruno sirve como un recordatorio sombrío de las consecuencias potencialmente catastróficas de la negligencia en la gestión de la integridad

de los ductos y subraya la necesidad de una supervisión y regulación más estrictas en la industria de gasoductos.

### **2.5.3 Caso 3: Derrame de Oleoducto en Santa Bárbara (2015)**

El 19 de mayo de 2015, el oleoducto Line 901, operado por Plains All American Pipeline, sufrió una falla catastrófica que resultó en un derrame significativo de petróleo crudo en el condado de Santa Bárbara, California. Este incidente fue un claro recordatorio de los peligros ambientales y económicos que los fallos en los ductos pueden ocasionar, exacerbando la urgente necesidad de medidas de seguridad y vigilancia más rigurosas.

#### Detalles del Incidente

A las 11:30 AM del mencionado día, el oleoducto, que transportaba petróleo crudo desde Las Flores hasta Gaviota, sufrió una ruptura que resultó en el derrame de aproximadamente 123,228 galones de petróleo crudo. Gran parte de este petróleo alcanzó el océano, creando una mancha de petróleo que afectó cerca de 97 millas cuadradas de área oceánica y 9 millas de costa. El ecosistema local, una zona rica en biodiversidad, se vio severamente afectado, con daños significativos a la vida marina y las aves costeras.

Las investigaciones posteriores revelaron que la ruptura fue producto de una severa corrosión en las paredes del ducto, con un desgaste que alcanzaba casi el 87% del grosor de la pared de la tubería. La inspección y mantenimiento inadecuados del ducto, junto con una respuesta tardía al incidente, exacerbó la gravedad de la situación.

#### Lecciones Aprendidas

- Gestión de la Corrosión:
  - Inspecciones Regulares: Implementar inspecciones regulares y minuciosas de los ductos para identificar y mitigar los riesgos de corrosión antes de que alcancen niveles críticos.
  - Tecnologías de Monitoreo Avanzado: Adoptar tecnologías de monitoreo avanzado que puedan detectar signos de deterioro temprano para prevenir incidentes de esta naturaleza.
- Preparación para Emergencias:
  - Planes de Respuesta Efectivos: Desarrollar y mantener planes de respuesta a emergencias que permitan una actuación rápida y coordinada en caso de derrames.

- Coordinación Interinstitucional: Fomentar la coordinación entre las empresas operadoras de ductos y las agencias gubernamentales para garantizar una respuesta efectiva en caso de incidentes.
- Responsabilidad Ambiental:
  - Protección del Ecosistema: Adoptar medidas proactivas para proteger los ecosistemas sensibles en las áreas circundantes a los ductos.
  - Restauración Ecológica: Implementar programas de restauración ecológica para recuperar las áreas afectadas por derrames y minimizar el impacto a largo plazo en el medio ambiente.

### Impacto y Recuperación

El incidente en Santa Bárbara dejó una mancha en el historial de Plains All American Pipeline y resaltó las graves repercusiones ambientales de los derrames de petróleo. La empresa enfrentó cargos criminales y civiles, resultando en multas significativas. Además, se vio obligada a invertir en la restauración del hábitat afectado y en mejorar sus protocolos de seguridad y monitoreo.

La recuperación del área afectada ha sido un proceso laborioso, con esfuerzos concertados para restaurar el hábitat natural y rehabilitar la vida silvestre afectada. El incidente ha servido como una llamada de atención para la industria, subrayando la necesidad de mejores prácticas de gestión de la integridad de los ductos.

El derrame de oleoducto en Santa Bárbara en 2015 resalta las consecuencias potencialmente devastadoras de las fallas en la integridad de los ductos, especialmente en regiones con ecosistemas frágiles. Este hecho subraya la importancia de una gestión proactiva y responsable de los ductos, con un enfoque particular en la prevención de la corrosión y la preparación para emergencias. El caso representa un llamado a la adopción de tecnologías avanzadas de monitoreo y la implementación de estrategias de gestión ambiental sostenible en la industria de oleoductos.

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### 3.1 Ambientes Corrosivos y Factores Externos

Los factores externos que afectan a los ductos para el transporte de hidrocarburos son variables y complejos, implicando un profundo análisis para garantizar una operación segura y eficiente. Es imperativo entender los ambientes corrosivos específicos en los que operan estos ductos para desarrollar estrategias eficaces de mitigación. Estos conductos están sometidos a un amplio espectro de condiciones ambientales, cada una presentando desafíos únicos para su integridad.

#### 3.1.1 Factores Ambientales

- Humedad y Salinidad

En regiones costeras y marinas, la salinidad y la humedad elevadas son condiciones inherentes. La sal del mar, combinada con el oxígeno y el agua, puede acelerar el proceso de corrosión de los ductos, demandando materiales y protecciones especializadas para garantizar su durabilidad. El mantenimiento preventivo y las inspecciones regulares son esenciales para monitorizar la tasa de corrosión y aplicar medidas correctivas cuando sea necesario.

- Temperatura

Los ductos que atraviesan zonas de temperaturas extremas, tanto frías como cálidas, experimentan expansiones y contracciones. Estos cambios físicos pueden causar estrés en los materiales, resultando en fatiga y desgaste acelerado. La selección de materiales que puedan resistir estas fluctuaciones de temperatura es crucial.

- Presión

En terrenos montañosos y depresiones, los ductos están sometidos a diferentes niveles de presión. La presión variante puede influir en la velocidad y severidad de la corrosión. Los sistemas de monitoreo de presión en tiempo real son vitales para detectar anomalías y prevenir fallas catastróficas.

#### 3.1.2 Factores Químicos

- Composición del Suelo

La composición química del suelo es un factor determinante en la corrosión de los ductos subterráneos. Suelos ricos en sales minerales, ácidos y otros compuestos corrosivos requieren medidas de

protección adicionales, como recubrimientos anticorrosivos y sistemas de protección catódica para neutralizar las reacciones electroquímicas.

- Calidad del Material de los Ductos

La selección de materiales es esencial para mitigar la corrosión. Acero al carbono, acero inoxidable, aleaciones especiales y materiales compuestos son evaluados basados en su resistencia a los compuestos corrosivos presentes en el entorno operativo específico.

### 3.1.3 Factores Externos

- Desarrollo Urbano

La expansión urbana y la proximidad a zonas pobladas aumentan el riesgo de incidentes relacionados con la integridad de los ductos. La planificación urbana y la zonificación deben considerar la ubicación de los ductos para minimizar los riesgos para la población y el medio ambiente.

- Cambios Climáticos

Los fenómenos climáticos extremos, como huracanes, inundaciones e incendios forestales, presentan desafíos adicionales. Los sistemas de monitoreo y respuesta rápida son esenciales para garantizar la integridad de los ductos durante estos eventos.

- Actividades Antropogénicas

La intervención humana, como la construcción, la excavación y otras actividades industriales, puede dañar físicamente los ductos o alterar su entorno operativo. Las regulaciones y la conciencia pública son fundamentales para prevenir daños accidentales.

### 3.1.4 Estrategias de Mitigación

La mitigación de la corrosión en ambientes específicos requiere una combinación de tecnologías avanzadas, materiales de alta calidad y regulaciones rigurosas. La adaptación y la personalización de estrategias de mitigación basadas en la evaluación detallada de factores ambientales y externos son cruciales.

La innovación en materiales resistentes a la corrosión, tecnologías de monitoreo en tiempo real y sistemas de protección avanzados será central para superar los desafíos presentados por los diversos ambientes corrosivos. La colaboración entre ingenieros, reguladores, científicos y otros stakeholders es esencial para desarrollar soluciones integrales que aseguren la integridad de los ductos a largo plazo, protegiendo tanto a las personas como al medio ambiente.

En conclusión, el análisis exhaustivo y continuo de los ambientes corrosivos y factores externos es una pieza integral en el rompecabezas de asegurar la integridad de los ductos de hidrocarburos. Cada factor, desde la composición del suelo hasta el impacto del cambio climático, debe ser meticulosamente evaluado para desarrollar y aplicar estrategias de mitigación efectivas y sostenibles.

## **3.2 Control Documental del Servicio Actual**

El control documental es un componente vital en la gestión de la integridad de los ductos para el transporte de hidrocarburos. Proporciona una base sólida para entender, monitorear y mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de los sistemas de ductos. En el contexto actual, la importancia de un control documental robusto, preciso y actualizado no puede ser subestimada.

### **3.2.1 Digitalización y Automatización**

En la era de la digitalización, la transición de documentos físicos a digitales ha transformado significativamente el almacenamiento, la accesibilidad y el análisis de datos. Los sistemas automatizados han mejorado la precisión, reducido el margen de error y aumentado la eficiencia operativa. Los documentos digitales se almacenan en bases de datos seguras, donde se pueden recuperar, actualizar y compartir con facilidad y rapidez.

### **3.2.2 Categorización de Documentos**

La categorización efectiva de documentos es esencial. Incluye especificaciones técnicas, informes de inspección, datos de mantenimiento, registros de reparaciones, certificaciones y otros documentos relacionados. Cada documento es crucial para proporcionar una visión integral de la condición, el mantenimiento y la integridad de los ductos.

### **3.2.3 Rastreabilidad y Transparencia**

La rastreabilidad es fundamental. Cada documento y dato debe ser rastreable para garantizar la autenticidad, la validez y la responsabilidad. Los sistemas de control documental deben ser transparentes, permitiendo auditorías regulares para verificar la precisión y la integridad de los datos.

### **3.2.4 Accesibilidad y Seguridad**

La accesibilidad a documentos es equilibrada con medidas de seguridad rigurosas para proteger la información sensible. Los protocolos de seguridad digital, como la encriptación y los sistemas de autorización, aseguran que la información solo sea accesible para personal autorizado.

### **3.2.5 Análisis de Datos**

Los avances en análisis de datos han permitido extraer insights de documentos para informar la toma de decisiones. Las herramientas analíticas avanzadas, combinadas con tecnologías como el Machine Learning, facilitan el análisis profundo, predicciones y recomendaciones basadas en datos históricos y actuales.

### **3.2.6 Integración de Sistemas**

La integración de sistemas de control documental con otros sistemas operativos y de gestión es crucial. Permite una visión holística, donde los datos de documentos se utilizan para informar y mejorar operaciones, mantenimiento y estrategias de mitigación de riesgos.

### **3.2.7 Mejoras Continuas**

En el entorno actual, el control documental es un proceso dinámico. Se revisa y mejora continuamente para adaptarse a cambios en tecnología, regulaciones y desafíos operativos. La innovación y la adaptabilidad son centrales para garantizar que el control documental siga siendo un pilar en la gestión de la integridad de los ductos.

Resumiendo, el control documental del servicio actual es un eje central en la garantía de la integridad de los ductos. Proporciona un mecanismo sistemático para registrar, rastrear y analizar datos cruciales que son fundamentales para la operación segura, eficiente y sostenible de los sistemas de ductos. En un entorno en constante evolución, la adaptabilidad, la innovación y la mejora continua son imperativos para garantizar que el control documental satisfaga las necesidades emergentes y los desafíos del transporte de hidrocarburos. En este marco, se plantea un escenario propicio para la incorporación de estrategias analíticas innovadoras para elevar el control documental a nuevos estándares de excelencia.

### 3.3 Metodologías y Herramientas para la Gestión de la Integridad de Ductos

La preservación de la integridad de los ductos en la industria del petróleo y el gas es un aspecto central para asegurar operaciones eficientes, seguras y ecológicamente responsables. En este segmento, exploramos las metodologías y herramientas contemporáneas que se aplican para mantener y monitorear la integridad de estos componentes críticos de infraestructura.

#### 3.3.1 Tecnologías de Inspección

- Inspección Visual:

La inspección visual sigue siendo un método primario y efectivo. Se utiliza tecnología de imagen avanzada y drones para inspeccionar ductos en ubicaciones inaccesibles, proporcionando datos precisos sobre su estado.

- Inspección Basada en Sensores:

La implementación de sensores y dispositivos de monitoreo en tiempo real permite una evaluación constante de los ductos. Estos sensores detectan anomalías como la corrosión, desgaste y presión irregular, facilitando intervenciones tempranas.

- Pigging:

Las herramientas de pigging, especialmente los "smart pigs", son esenciales para la limpieza interna y la inspección de ductos. Equipadas con sensores y cámaras, proporcionan datos detallados sobre la integridad interna de los ductos.

#### 3.3.2 Análisis de Datos y Modelado

- Análisis Predictivo:

El uso de IA y Machine Learning ha revolucionado el análisis de datos en la gestión de la integridad de ductos. Estas tecnologías predicen posibles fallas y desgastes, facilitando un mantenimiento proactivo.

- Modelado 3D y Simulaciones:

Los modelos 3D y las simulaciones computarizadas proporcionan visualizaciones detalladas de los ductos y su entorno. Permiten simulaciones de escenarios de fallas y respuestas, ayudando en la preparación y planificación de contingencias.

### 3.3.3 Protocolos de Mantenimiento

- Mantenimiento Preventivo:

Es un enfoque sistemático que involucra inspecciones regulares y mantenimiento programado para evitar fallas y desgastes prematuros.

- Mantenimiento Reactivo:

Se enfoca en la reparación y recuperación post-falla. Aunque no es ideal, es esencial para restablecer la operación de ductos después de incidentes inesperados.

- Mantenimiento Predictivo:

Centrado en el uso de datos y análisis predictivos para anticipar y abordar problemas antes de que ocurran, maximizando la eficiencia operativa y la seguridad.

### 3.3.4 Normativas y Cumplimiento

El cumplimiento con las normativas locales e internacionales es integral en la gestión de la integridad. Incluye la adherencia a protocolos estandarizados, inspecciones regulares y reportes detallados para asegurar que los ductos cumplen con los estándares de seguridad y calidad.

### 3.3.5 Integración de Sistemas

La integración efectiva de sistemas de gestión de integridad con operaciones generales y sistemas de mantenimiento es crucial. Facilita una coordinación sinérgica, optimizando recursos y esfuerzos para mantener la integridad de los ductos.

La gestión de la integridad de ductos es una combinación articulada de tecnología avanzada, metodologías ingeniosas, y rigurosos protocolos de cumplimiento. En un mundo donde la demanda de energía y los desafíos ambientales crecen paralelamente, la innovación, la adaptabilidad y la excelencia en la gestión de la integridad de ductos no son solo deseables sino imperativos. Este panorama complejo y dinámico invita a una revisión constante y mejora de las estrategias, asegurando que la industria del petróleo y el gas no solo prospera, sino que lo hace de manera responsable y sostenible.

### **3.4 Evaluación de Tecnologías Emergentes en la Gestión de la Integridad de Ductos**

El avance ininterrumpido de la tecnología se ha manifestado con fuerza en la industria del petróleo y gas, ofreciendo soluciones inéditas y eficientes para la gestión de la integridad de ductos. En este segmento, se explora el impacto y el potencial de estas innovaciones tecnológicas, evaluando su aplicabilidad, eficacia y los desafíos asociados.

#### **3.4.1 Tecnologías de Sensores Avanzados**

La incursión de sensores de última generación ha revolucionado la monitorización en tiempo real de los ductos. Estos dispositivos, caracterizados por su precisión y capacidad para operar en condiciones extremas, proporcionan data crítica sobre la salud estructural de los ductos, detectando anomalías como la corrosión y presión inusual en etapas tempranas.

##### IoT en la Monitorización de Ductos:

La Internet de las Cosas (IoT) ha ampliado significativamente las capacidades de monitoreo. Los sensores IoT, instalados a lo largo de los ductos, transmiten data en tiempo real a las plataformas de análisis, ofreciendo insights instantáneos sobre la condición de los ductos y permitiendo una respuesta rápida a los problemas emergentes.

#### **3.4.2 Automatización y Robótica**

La automatización y la robótica están en el epicentro de las innovaciones tecnológicas en la industria. Los robots, equipados con herramientas de inspección avanzadas, pueden acceder a áreas difíciles, reduciendo los riesgos humanos y aumentando la precisión del monitoreo y la inspección.

##### Drones en la Inspección de Ductos:

Los drones se han convertido en una herramienta invaluable, capaces de realizar inspecciones aéreas detalladas, proporcionando imágenes de alta resolución y datos críticos sin poner en riesgo la seguridad del personal.

### 3.4.3 Inteligencia Artificial y Machine Learning

La IA y el Machine Learning están transformando la gestión de datos. Estos sistemas no solo procesan volúmenes masivos de data a velocidades sin precedentes, sino que también ofrecen análisis predictivos, identificando patrones y tendencias que pueden indicar posibles fallos o necesidades de mantenimiento.

#### Análisis Predictivo:

La capacidad de prever problemas antes de que ocurran es una ventaja estratégica. Los sistemas de IA están programados para identificar señales y patrones que preceden a los fallos, permitiendo intervenciones proactivas y reduciendo los tiempos de inactividad.

### 3.4.4 Virtualización y Simulaciones

La virtualización y las simulaciones permiten la recreación detallada de escenarios específicos, facilitando pruebas y análisis en un entorno controlado. Esto es crítico para la formación, la preparación para situaciones de emergencia y la evaluación de la integridad de los ductos en condiciones variadas.

### 3.4.5 Ciberseguridad

Con la creciente digitalización, la ciberseguridad se ha convertido en un pilar. La protección de datos críticos y sistemas operativos contra amenazas cibernéticas es esencial. Se exploran protocolos de seguridad robustos, tecnologías de encriptación avanzada y medidas de autenticación para garantizar la integridad de los datos y los sistemas.

La integración de tecnologías emergentes en la gestión de la integridad de ductos es un proceso de innovación continua. Cada avance ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad. Sin embargo, también invita a nuevos desafíos en términos de implementación, adaptabilidad y seguridad. Explorar este terreno de transformación requiere una visión equilibrada, donde la adopción de tecnología se armoniza meticulosamente con los estándares de seguridad, la regulación y las necesidades humanas y ambientales. En este camino, la colaboración interdisciplinaria, la educación continua y la adaptabilidad emergen como catalizadores clave para transformar los desafíos en oportunidades, marcando el camino hacia un futuro donde la tecnología y la humanidad coexisten y prosperan.

### 3.5 Plan actual de Gestión de Integridad de Ductos de GIE GROUP

El protocolo integral de gestión de ductos de GIE se inicia con la construcción de una sólida base de datos de integridad. Este paso primordial involucra la meticulosa recopilación de información, que posteriormente se presenta de manera digitalizada a la Autoridad de Aplicación (AA), cubriendo aspectos técnicos y ubicaciones geográficas específicas de los ductos.

- Fase 1: Recopilación y Validación de Datos

La precisión en esta etapa es crucial, ya que los datos reunidos sentarán las bases para todas las operaciones y evaluaciones subsiguientes. A pesar de su importancia cardinal, a menudo se maneja con una atención insuficiente. Los datos proporcionados por los clientes pueden estar duplicados o ser inconsistentes, y la falta de un sistema de verificación robusto agrava este problema. GIE se encarga de preparar un informe detallado post-recolección, que luego se somete a la aprobación del cliente. Este informe sirve como fundamento para todas las acciones subsiguientes, lo que significa que aunque el cliente lo apruebe, pueden haber imprecisiones que se propaga a través de todas las fases del plan. Todo esto se integra en el software GIE AM, que permite una gestión de datos georreferenciada eficiente y efectiva.

- Fase 2: Identificación de Áreas Sensibles

GIE se adentra en un análisis pormenorizado para identificar zonas sensibles donde una falla de ducto podría tener consecuencias devastadoras para las poblaciones cercanas o el medio ambiente. Este proceso asigna una priorización de riesgo elevada a esas áreas, garantizando que se les dé la atención necesaria durante las etapas de análisis y mitigación de riesgos.

- Fase 3: Análisis de Riesgo

La empresa segmenta los ductos en secciones manejables, asignando a cada segmento un puntaje de riesgo basado en múltiples factores. Estos factores incluyen cambios en el espesor del ducto, ubicación en áreas sensibles, año de construcción, tipo de revestimiento, entre otros.

- Fase 4: Evaluación de Probabilidad y Consecuencia de Fallos

GIE emplea un enfoque semicuantitativo, utilizando métodos cuantitativos para calcular la probabilidad de falla, basado en índices específicos y frecuencias base de la industria, mientras que las consecuencias se evalúan cualitativamente.

- Fase 5: Plan de Inspección

Con los resultados del análisis de riesgo, GIE formula un plan de inspección detallado, destinando recursos y esfuerzos a las áreas identificadas como de alto riesgo para asegurar la eficiencia operacional y la seguridad.

- Fase 6: Plan de Respuesta

El objetivo se concentra en optimizar la integridad mecánica de los ductos, adaptando las operaciones y el mantenimiento para alinearse con los estándares internacionales y las mejores prácticas industriales.

- Fase 7: Plan de Reparaciones

Aquí, la empresa implementa medidas correctivas basadas en los resultados de la inspección y el plan de respuesta. Se da prioridad a las áreas de alto riesgo identificadas anteriormente.

- Fase 8: Actualización de la Base de Datos

GIE se embarca en una misión continua de actualizar y mejorar la base de datos de integridad. Cada pieza de información relevante, desde la fecha de instalación hasta los registros de inspección más recientes, se integra y actualiza regularmente.

- Fase 9: Implementación de Acciones Preventivas y Mitigativas

La compañía establece operaciones y mantenimiento mínimos para garantizar la operación segura de los oleoductos, basados en los datos acumulados y las evaluaciones realizadas.

- Fase 10: Evaluación de la Performance

La empresa introduce un conjunto de indicadores de rendimiento, con revisiones semestrales internas y evaluaciones anuales para la presentación externa, asegurando un monitoreo constante y mejoras continuas.

### 3.6 Conclusiones

Aunque el protocolo de gestión de integridad de ductos de GIE está minuciosamente diseñado y ejecutado, no está exento de áreas que requieran mejoras significativas. Una de las principales fallas radica en la etapa inicial de recopilación de datos. La calidad y precisión de la información recolectada son esenciales para cualquier análisis subsiguiente, evaluación de riesgos y plan de acción. Sin embargo, parece existir una falta de atención meticulosa en esta fase, lo que puede dar lugar a incongruencias, información duplicada y datos no verificados.

La validez de los datos se vuelve aún más crítica dado que la información es transferida a un software de integridad. Cualquier inconsistencia o error en los datos iniciales se propaga a través del sistema, comprometiendo la confiabilidad de los análisis y recomendaciones subsiguientes. La empresa podría beneficiarse significativamente de una revisión más rigurosa y un proceso de validación más robusto para asegurarse de que los datos son precisos, completos y actualizados.

Además, la asignación de puntajes de riesgo durante la fase de análisis puede ser objeto de revisión. La metodología actual, aunque integral, puede no capturar todas las variables y contingencias, especialmente aquellas emergentes de cambios rápidos en factores ambientales y tecnológicos. La dinámica cambiante de estos factores requiere una adaptación y recalibración constante de los modelos de riesgo utilizados.

La actualización y mejora continua de la base de datos es otra área que requiere atención. Aunque la actualización de datos es parte del plan, la eficacia de este proceso debe ser evaluada regularmente para asegurar que los datos reflejan las condiciones actuales y emergentes del ducto y su entorno.

Finalmente, la comunicación y la transparencia con todas las partes interesadas, incluyendo la Autoridad de Aplicación, es esencial. La empresa debe esforzarse por mejorar la comunicación y la colaboración con todas las partes interesadas para asegurar que las estrategias de gestión de integridad sean inclusivas, integrales y efectivas en la mitigación de riesgos y en la promoción de la seguridad y la sostenibilidad.

En resumen, para mejorar la gestión de la integridad de los ductos, GIE debe abordar la calidad de la recopilación de datos, mejorar la rigurosidad del análisis de riesgos, optimizar los planes de respuesta y reparación, y fortalecer la comunicación y colaboración con las partes interesadas. Estas mejoras no solo aumentarán la efectividad de la gestión de la integridad de los ductos, sino que también promoverán la seguridad, la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental y social.

## CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE DUCTOS

Como corolario de los capítulos precedentes, se abordará un plan integral destinado a mejorar el relevamiento de datos en el contexto del plan de gestión de integridad de ductos de la empresa GIE. Identificando las limitaciones y áreas de mejora en la recopilación y manejo de datos existentes, este plan se centra en optimizar la confiabilidad de la información, acelerar el proceso y fortalecer la comunicación con los clientes. Al abordar estas áreas críticas, se busca impulsar una gestión de integridad de ductos más efectiva, que asegure la seguridad, el cumplimiento normativo y el éxito continuo de la empresa. A través de estrategias y herramientas tecnológicas, se propondrán soluciones concretas para abordar las deficiencias previamente identificadas y garantizar que GIE esté a la vanguardia en la gestión de integridad de sus ductos

A continuación, veremos la estandarización de datos como una propuesta de mejora, cómo implementarla de manera efectiva para optimizar la gestión de la integridad de ductos. La estandarización de datos no solo es un elemento clave en la mejora de la eficiencia operativa, sino que también garantiza un cumplimiento normativo más sólido y contribuye a la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura de ductos.

1. **Establecer Expectativas Claras:** Desde el principio, ambas partes deben acordar y documentar claramente las expectativas, los objetivos y los plazos del proyecto. Esto debe incluir detalles sobre el alcance del trabajo, los entregables, los requisitos técnicos y cualquier otro aspecto relevante.
2. **Contacto y Responsabilidades Claras:** Definir quiénes serán los puntos de contacto principales tanto en el lado del cliente como en el lado del proveedor. Cada parte debe saber a quién dirigirse para preguntas, discrepancias en los datos, problemas o actualizaciones.
3. **Procesos de Validación Rigurosos:** Establecer procesos rigurosos de validación de datos antes de que se ingresen en la base de datos de integridad. Esto puede incluir verificación cruzada de datos con múltiples fuentes, verificación de la precisión y coherencia de los datos y la identificación y corrección de datos duplicados o contradictorios.
4. **Estandarización de Datos:** Implementar estándares de recopilación de datos claros y coherentes para garantizar que todos los datos se registren de manera uniforme y consistente. Esto facilitará la comparación y la combinación de datos de diferentes fuentes.
5. **Automatización de Procesos:** Utilizar sistemas de automatización para recopilar datos directamente de sensores y dispositivos, lo que minimiza el riesgo de errores humanos y asegura la precisión de los datos desde su origen.

6. **Auditorías Periódicas:** Realizar auditorías regulares de la base de datos para identificar y corregir datos incorrectos o desactualizados. Esto garantiza que los datos sigan siendo precisos con el tiempo.
7. **Georreferenciación y Etiquetado:** Georreferenciar todos los datos, lo que permite una mejor visualización de la ubicación de los ductos y facilita la identificación de áreas sensibles. Además, etiquetar los datos con información de origen, fecha y cualquier documentación de respaldo. Utilice sistemas de gestión de datos y herramientas de software que faciliten la aplicación y el seguimiento de los estándares de datos. Existen diversas herramientas de software que son útiles para este tipo de aplicaciones. Recomiendo utilizar herramientas como ArcGIS, QGIS y Google Earth Pro. Estos softwares son esenciales para la gestión de datos geospaciales, permiten visualizar y analizar datos relacionados con la ubicación de los ductos, lo que es crucial para identificar áreas críticas y planificar inspecciones y mantenimiento. Además, podemos analizar nuevas amenazas, ya que estas herramientas trabajan en tiempo real.
8. **Capacitación del Personal:** Capacitar al personal involucrado en la recopilación y validación de datos para garantizar que comprendan la importancia de la precisión y la consistencia de los datos.
9. **Tecnología de Blockchain:** Utilizar la tecnología de blockchain para garantizar la inmutabilidad de los datos una vez registrados, lo que reduce el riesgo de alteración o manipulación de la información.
10. **Colaboración con Entidades Reguladoras:** Colaborar estrechamente con las entidades reguladoras para garantizar que los datos requeridos cumplan con los estándares y regulaciones establecidos, lo que puede incluir la presentación de datos para su validación y aprobación.
11. **Seguimiento Continuo:** Debe ser un esfuerzo continuo que se adapte a medida que cambian los requisitos y las tecnologías. Mantener un proceso de seguimiento constante y que esté dispuesto a realizar ajustes según sea necesario.
12. **Validación y Auditoría:** Establecer procesos regulares de validación y auditoría para verificar la conformidad con los estándares y la precisión de los datos. Esto puede incluir la verificación de la precisión de los datos recién ingresados y la revisión de los registros existentes.

A nivel de compañía, el noveno punto se destaca como el más innovador desde el punto de vista del resguardo del trabajo y la expertiz, dado que las labores cotidianas se realizan en diversas ubicaciones geográficas y los análisis se llevan a cabo en distintos momentos y por diferentes personas. Por tal motivo se desarrolla a continuación.

## 4.1 Tecnología de blockchain

La tecnología blockchain es un registro digital descentralizado que registra todas las transacciones de una red en una cadena de bloques. Cada bloque contiene una serie de transacciones y, una vez que se completa, se sella y enlaza de manera segura al bloque anterior, creando una cadena de bloques. Algunos conceptos claves sobre la tecnología blockchain son:

- **Descentralización:** A diferencia de las bases de datos tradicionales que suelen estar centralizadas, el blockchain opera en una red de computadoras distribuidas. Esto significa que no hay una sola entidad o autoridad que controle todo el sistema, lo que lo hace más resistente a la censura y la manipulación.
- **Seguridad:** Los datos almacenados en un blockchain son altamente seguros debido a su estructura inmutable. Una vez que se añaden datos a un bloque, es prácticamente imposible modificarlos. Cada bloque está conectado al anterior mediante una función criptográfica, lo que hace que cualquier intento de modificar un bloque anterior sea evidente.
- **Transparencia:** Cualquier usuario de la red blockchain puede ver todas las transacciones y datos almacenados en ella. Esto promueve la transparencia y la confianza, especialmente seguimiento de datos.
- **Contratos Inteligentes:** Los contratos inteligentes son programas informáticos autónomos que se ejecutan en la blockchain cuando se cumplen ciertas condiciones predefinidas. Esto permite la automatización de procesos y transacciones sin necesidad de intermediarios.
- **Consenso:** Para garantizar que los datos en la blockchain sean precisos y confiables, se utiliza un mecanismo de consenso. Los nodos en la red deben estar de acuerdo antes de que una transacción se añada a la cadena.

## 4.2 Sistema de Gestión de Integridad de Ductos basado en Blockchain. Aplicación.

- **Selección de Plataforma Blockchain:** En primer lugar, se seleccionaría una plataforma blockchain adecuada. Ejemplos de plataformas populares incluyen Ethereum, Hyperledger<sup>4</sup>, o una cadena de bloques personalizada diseñada para satisfacer las necesidades específicas de la gestión de integridad de ductos. La elección depende de factores como la escalabilidad, la privacidad, inversión disponible, etc. Para este proyecto se utilizó una prueba de la plataforma Hyperledger.

---

<sup>4</sup> Hyperledger: Proyecto de código abierto centrado en el desarrollo de tecnologías de blockchain y registros distribuidos para uso empresarial.

- Contratos Inteligentes: En la plataforma blockchain seleccionada, se diseñan contratos inteligentes que contengan lógica programable. Los contratos inteligentes son fragmentos de código que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones predefinidas. Estos contratos inteligentes pueden ser utilizados para automatizar y asegurar procesos como inspecciones, validaciones de datos y registro de resultados. Se utilizan para automatizar procesos, como la programación de inspecciones de seguimiento o la aprobación de actividades de mantenimiento. Cuando se cumplen ciertas condiciones predeterminadas (por ejemplo, un cierto nivel de corrosión detectado), el contrato inteligente podría activar automáticamente una inspección adicional o una orden de mantenimiento.
- Registro de Inspecciones y Datos de Integridad: Cada vez que se realiza una inspección de un tramo de ducto, los datos se ingresan en un bloque dentro del blockchain. Esto incluiría información sobre el estado del ducto, posibles problemas, resultados de pruebas de integridad, imágenes, coordenadas geoespaciales y otros datos relevantes. Cada nuevo conjunto de datos se registra como una transacción y se almacena de forma segura y permanente en bloques conectados.
- Registro Inmutable: Una vez que los datos se almacenan en el blockchain, son inmutables. Esto significa que no se pueden alterar ni eliminar, lo que garantiza la integridad de la información a lo largo del tiempo.
- Acceso Seguro y Permiso: El acceso a los datos puede ser controlado mediante mecanismos de criptografía y permisos definidos en los contratos inteligentes. Los participantes en la red blockchain, que podrían incluir operadores de ductos, reguladores, empresas de inspección, clientes y contratistas de mantenimiento, tendrían roles y permisos específicos para acceder a ciertos datos. Esto garantizaría la confidencialidad y la privacidad de los datos sensibles.
- Rastreabilidad y Auditoría: Cada actividad relacionada con la gestión de integridad de ductos quedaría registrada en el blockchain, lo que permite un seguimiento completo de todas las acciones y decisiones tomadas. Cualquier cambio o modificación de datos se registra en la cadena de bloques, lo que garantiza la transparencia y la capacidad de auditar todas las acciones realizadas.
- Notificaciones en Tiempo Real: Si se utilizan sensores y dispositivos IoT para la monitorización de ductos, los datos generados por estos dispositivos pueden alimentar directamente la cadena de bloques, lo que garantiza la integridad y la inmediatez de los datos. Cuando se detecta una anomalía o un problema, el sistema podría emitir notificaciones en tiempo real a las partes relevantes, permitiendo respuestas más rápidas y eficaces.
- Documentación de Cumplimiento: Se podrían registrar automáticamente los datos relacionados con el cumplimiento normativo, lo que facilitaría la generación de informes y presentaciones a las autoridades reguladoras.

La implementación de esta solución basada en blockchain podría mejorar significativamente la gestión de la integridad de ductos, reducir riesgos, optimizar el mantenimiento y garantizar una mayor transparencia y confiabilidad en el sector. La tecnología blockchain proporcionaría un registro seguro y confiable de datos críticos para mantener la integridad de los ductos y prevenir fallas.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

El proceso de mejora en la gestión de integridad de ductos, aplicado inicialmente a un número limitado de ductos en un esfuerzo artesanal, ha arrojado resultados significativos y alentadores. Esta implementación, aunque limitada en alcance, ha proporcionado una visión valiosa de los beneficios potenciales que pueden derivarse de un enfoque más eficiente y tecnológicamente avanzado. Los resultados obtenidos se dividen en varios aspectos clave:

### 5.1 Detalle de resultados pos implementación de sistema de gestión

Una de las áreas más impactantes de mejora ha sido la calidad y profundidad de los datos recopilados. La implementación de un proceso de relevamiento más estructurado y minucioso ha permitido una recopilación de datos más precisa y completa. Esto ha significado una base de datos de integridad más sólida, donde los detalles técnicos y la información planialtimétrica se presentan de manera más fidedigna y completa. Esta mejora sustancial es fundamental para la toma de decisiones informadas y la planificación de acciones.

#### 5.1.1 Carga de datos

Una de las áreas más impactantes de mejora ha sido la calidad y profundidad de los datos recopilados. La implementación de un proceso de relevamiento más estructurado y minucioso ha permitido una recopilación de datos más precisa y completa. Esto ha significado una base de datos de integridad más sólida, donde los detalles técnicos y la información planimétrica se presentan de manera más fidedigna y completa. Esta mejora sustancial es fundamental para la toma de decisiones informadas y la planificación de acciones.

#### PROCEDIMIENTO DE CARGA DE DATOS:

1. **Creación de usuario: en la Plataforma Hyperledger<sup>5</sup>:** Cada participante del proyecto deberá registrarse como usuario en la plataforma Hyperledger. Al hacerlo, se generará una identificación de usuario y una clave. Este proceso permite crear una interfaz de usuario personalizada, lo que asegura que cualquier carga de datos, modificación, comentario, validación (aceptación) o rechazo quede vinculada a un usuario identificado.

---

<sup>5</sup> Hyperledger: Plataforma descrita en capítulo 4

2. **Creación del canal “Integridad de ductos GIE GROUP – Empresa XXX – DUCTO XXX:** La creación del canal se alinea con el punto 5 de la norma ISO 9001, que se centra en la responsabilidad de la dirección. Los principales participantes de la red, que incluyen gerentes, clientes y todas las partes relevantes, colaborarán en la creación de un canal en la plataforma. Este canal se define mediante un conjunto de condiciones, reglas y permisos acordados por contratos inteligentes. Los contratos inteligentes definen los requisitos clave del proyecto, como qué datos se almacenarán en la cadena de bloques, quiénes serán los participantes autorizados, los requisitos de seguridad y privacidad, y las condiciones para activar alarmas de sensores; como así también a qué participantes de la red, el sistema de alarma enviará las notificaciones en caso de que se active.
3. **Creación de una cadena de bloques:** Una vez establecido el canal, los participantes de la red pueden configurar una cadena de bloques con contratos inteligentes para el almacenamiento de datos. Los datos que se cargarán incluirán resultados de ensayos, ubicación, estado de los ductos, información previamente recopilada, antigüedad, longitud y otros detalles relevantes del proyecto. La cadena de bloques opera con un sistema de consenso distribuido, donde los contratos inteligentes definen quiénes son los participantes encargados de validar los datos antes de que se almacenen en la cadena de bloques.
4. **Carga de datos en la cadena de bloques:** Los operadores de la red cargarán los datos en la cadena de bloques mediante la interfaz de usuario. Una vez ingresados, los datos se someterán a la validación por parte de los usuarios correspondientes, según lo establecido en los contratos inteligentes. Los participantes autorizados también pueden incluir datos faltantes en la cadena de bloques, si es necesario.
5. **Consulta de datos de la cadena de bloques:** Los participantes de la red pueden consultar los datos almacenados en la cadena de bloques de manera segura y transparente. Los contratos inteligentes garantizan que los mecanismos de seguridad protejan los datos. En casos de información altamente confidencial, se pueden aplicar restricciones de visualización, limitando el acceso a los participantes del canal autorizados.
6. **Actualización de datos de la cadena de bloques:** Los participantes de la red pueden actualizar los datos en la cadena de bloques si se requiere una nueva inspección del mismo ducto en el futuro o bien registrar cambios recientes. El permiso para comenzar la actualización también debe pasar por la validación de los contratos inteligentes.
7. **Registro final:** La fase de almacenamiento de datos, una vez aprobados y validados por los contratos inteligentes, se alinea con el punto 4 de la norma ISO 9001, que aborda la gestión de la información documentada. En conformidad con esta norma, una vez que los datos han sido aprobados por todas las partes pertinentes, se almacenan en la cadena de bloques. Esto garantiza que los datos sean

precisos, coherentes y seguros. La totalidad de los datos se pueden extraer en forma de tabla (Excel) u otro formato si así se desea, como también verlos en línea desde la red Hyperledger

GDNDP-PR01269	Progresiva Inicio (m)	Progresiva Fin (m)	Probabilidad de falla x km x año	Amenaza principal	Consecuencias				Nivel de riesgo
					Entorno humano	Entorno ambiental	Final	Año de fabricación	
Tramo 1A S1	0	1023,38	3,325E-05	Equipamiento	Moderada	Insignificante	Moderada	2000	Bajo
Tramo 1A S2	1023,38	1372,283	1,581E-05	Construcción y Fabricación	Menor	Moderada	Moderada	2000	Bajo
Tramo 1A S3	1372,283	6962,325	3,325E-05	Equipamiento	Moderada	Insignificante	Moderada	2000	Bajo

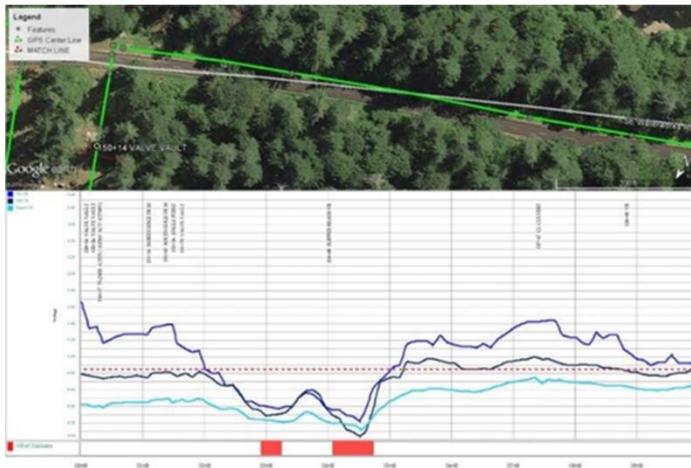
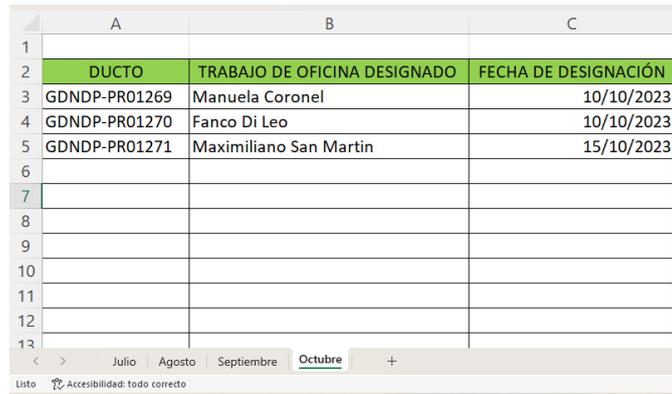


Figura N° 8 – Ej.: Planilla general de resultado de relevamiento de datos.

### 5.1.2 Control de documentación y control de registros

El control de documentos es un aspecto fundamental en el contexto de la norma ISO 9001; específicamente en el apartado 4, que aborda temas pertinentes a la documentación y registro. Este sistema de gestión incluye la identificación, aprobación, revisión, distribución, y la actualización de los documentos pertinentes. Se asignan responsabilidades específicas para la gestión de documentos, garantizando que la información esté disponible para las partes pertinentes y actualizada de manera oportuna.

Una vez que se completa la carga de datos, se genera una carpeta automáticamente con el nombre del ducto donde se almacena toda la información correspondiente; la cual solo es visible para el supervisor y el ayudante del proyecto y un QR asociado al ducto, el cual al escanearlo llevará directamente al check list. El supervisor realiza el check list verificando la información relevante y luego se designa quien hará el trabajo de oficina, habilitándole la carpeta del ducto dejando registro en un Excel en línea interno.



	A	B	C
1			
2	DUCTO	TRABAJO DE OFICINA DESIGNADO	FECHA DE DESIGNACIÓN
3	GDNDP-PR01269	Manuela Coronel	10/10/2023
4	GDNDP-PR01270	Fanco Di Leo	10/10/2023
5	GDNDP-PR01271	Maximiliano San Martin	15/10/2023
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Figura N° 9 – Ej.: Excel en línea, designación de ductos.

De esta manera cada registro, como los resultados de inspecciones, datos de mantenimiento, y otros documentos críticos, se almacena de forma segura, protegida contra daños, pérdidas o accesos no autorizados. Todos estos registros son de suma importancia para auditorías internas y externas.

Denominación del ducto	Relevación de datos		Carpeta generada	Trabajo de oficina designado	Informe			No Conformidad	Observaciones
	Estado	Fecha			Estado	Fecha estimada de entrega	Fecha de entrega		
GDNDP-PR01269		10/10/2023	GDNDP-PR01269	Manuela Coronel		20/10/2023			

Figura N° 10 – Ej.: Planilla de control de documentación y registro de ducto.

### 5.1.3 Acciones preventivas

En el marco de la mejora continua, se implementan acciones preventivas conforme a los requisitos de la ISO 9001, capítulo 10. Esto implica la identificación proactiva de posibles problemas en la integridad de los ductos y la aplicación de medidas para evitar su aparición.

El apartado observaciones se utiliza como una herramienta valiosa para identificar áreas de mejora. Si hay algún inconveniente durante la elaboración del informe, se dejará expresada en el apartado observaciones. Una vez que se completa este apartado, le llegará una notificación al ayudante de proyecto, el cual deberá resolverlo a la brevedad para no extenderse en el tiempo de entrega; y si no está a su alcance informarle al supervisor de proyecto.

Denominación del ducto	Relevación de datos		Carpeta generada	Trabajo de oficina designado	Informe			No Conformidad	Observaciones
	Estado	Fecha			Estado	Fecha estimada de entrega	Fecha de entrega		
GDNDP-PR01269		10/10/2023	GDNDP-PR01269	Manuela Coronel		20/10/2023			La carpeta del ducto no está visible

Figura N° 11 – Ej.: Planilla de control de documentación y registro de ducto con observaciones

### 5.1.4 Producto No Conforme

Cualquier evento o proceso no conforme con los requisitos establecidos se maneja de acuerdo con la ISO 9001, inciso 5. Se identifican, registran y controlan las situaciones de no conformidad, y se toman medidas para corregir y prevenir su repetición.

Denominación del ducto	Relevación de datos		Carpeta generada	Trabajo de oficina designado	Informe			No Conformidad	Observaciones
	Estado	Fecha			Estado	Fecha estimada de entrega	Fecha de entrega		
GDNDP-PR01269		10/10/2023	GDNDP-PR01269	Manuela Coronel		20/10/2023	31/10/2023	1	Informe entregado fuera de término

Figura N° 12 – Ej.: Registro de no conformidad: Informe entregado fuera de término.

### 5.1.5 Auditorías Internas

El sistema de gestión incluye auditorías internas periódicas, alineadas con la ISO 9001, apartado 6; para evaluar la efectividad del sistema y garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos.

Todos los registros de los QR generados correspondientes a los ductos inspeccionados, arrojan un Excel donde se pueden observar la eficiencia del sistema de gestión y sus puntos de mejora.

	A	B	C	D	E	F
1						
2	DUCTO	TIEMPO DE RELEVAMIENTO DE DATOS	INFORME A TIEMPO	NO CONFORMIDAD	SE NECESITO INFORMACIÓN EXTRA	CLIENTE CONFORME
3	GDNDP-PR01269	Aceptable	NO	1	NO	SI
4	GDNDP-PR01270	Aceptable	SI	0	NO	SI
5	GDNDP-PR01271	Regular	SI	0	NO	SI
6	GDNDP-PR01272	Aceptable	NO	2	SI	NO
7	GDNDP-PR01273	Aceptable	SI	0	NO	SI
8	GDNDP-PR01274	Aceptable	NO	1	NO	SI
9	GDNDP-PR01275	Inaceptable	NO	1	NO	SI
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

Figura N° 13 – Ej.: Resumen gestión de integridad de ductos, octubre.

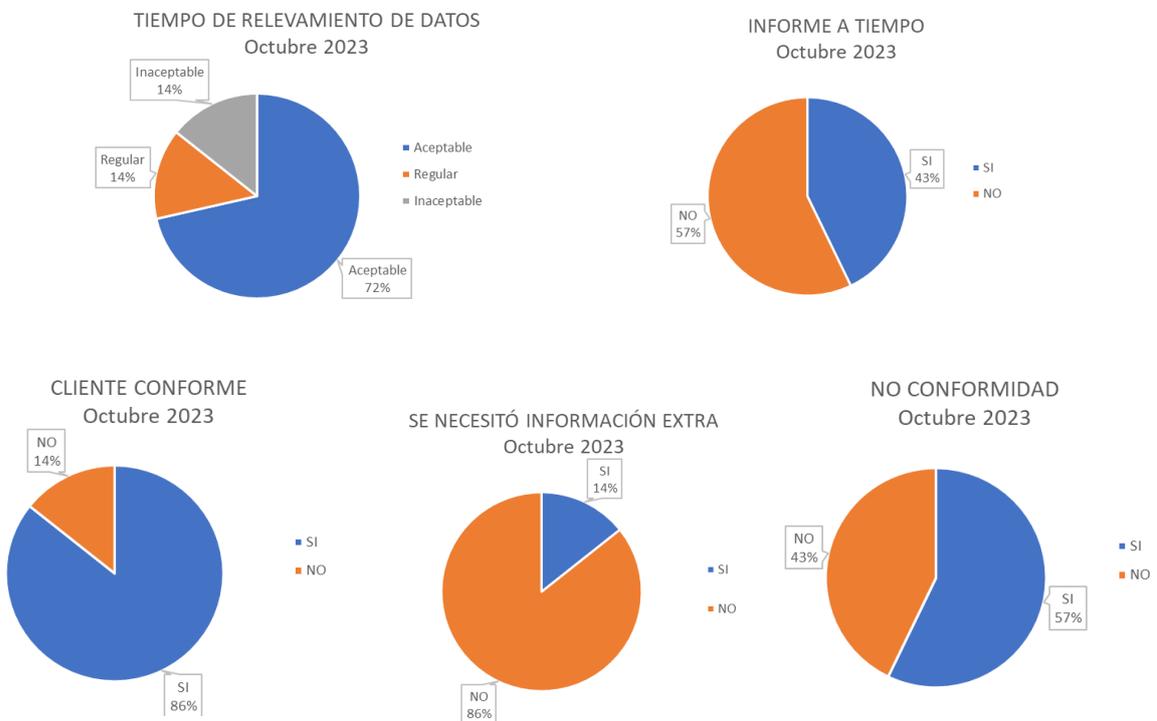


Figura N° 14 – Ej.: Diagramas de resumen gestión de integridad de ductos, octubre.

## 5.2 CICLO DE MEJORA CONTINUA DE DEMING

Figura N° 15 ilustra el ciclo continuo de un programa de gestión de la integridad de ductos, reflejando la forma en que este ciclo continuo se alinea con el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) de un sistema de gestión de seguridad de ductos que proporciona un mecanismo para una recopilación de datos más precisa y completa; y una mejora continua del rendimiento de la seguridad de la tubería. Estos principios básicos de aprendizaje, la mejora continua, la conciencia y gestión de muchas actividades vinculadas mejorarán la efectividad del sistema de integridad de ductos.



Figura N° 15 - Ciclo de PHVA Aplicado al Programa de Gestión de Integridad.

## 5.3 Confiabilidad de los Datos

La comparación entre el programa de gestión de datos vigente y el nuevo programa con las mejoras ha resaltado una notable mejora en la confiabilidad de los datos. La estructuración del proceso, la validación mediante blockchain y la implementación de procedimientos más rigurosos de revisión de datos han reducido significativamente los errores y las discrepancias. Esto se traduce en una mayor confianza en la integridad de los datos utilizados para la toma de decisiones críticas.

ASPECTO DE COMPARACIÓN	ESTRUCTURA ACTUAL	ESTRUCTURA PROPUESTA MEJORADA
Confianza de Datos	Limitada debido a datos duplicados y falta de validación.	Mayor confianza debido a la validación y trazabilidad de datos mediante tecnología de blockchain.
Control de Cambios	Difícil seguimiento de quién modifica los datos.	Registro transparente de todos los cambios y aprobaciones en blockchain.

Tabla N° 1 - Comparación de confiabilidad de los datos

## 5.4 Eficiencia y Rapidez

La optimización del proceso ha llevado a una drástica reducción de los tiempos de trabajo. Los procedimientos mejorados y la tecnología de blockchain han permitido una gestión más ágil y rápida de los datos. Se ha logrado acelerar la generación de informes, proporcionando a los tomadores de decisiones información oportuna para abordar problemas de integridad de ductos de manera más efectiva.

ASPECTO DE COMPARACIÓN	ESTRUCTURA ACTUAL	ESTRUCTURA PROPUESTA MEJORADA
Tiempo de Relevamiento de Datos	Lento debido a la recopilación manual y falta de estandarización. Tiene un promedio de 30 puntos 3,5 horas.	Rápido gracias a la recopilación automatizada y estandarizada. En la prueba piloto tuvo un promedio de 30 puntos en 2 horas.
Análisis de Datos	Difícil realizar análisis profundos debido a falta de integridad.	Posibilidad de análisis avanzados y predicción con datos confiables.
Informes y Reportes	Los informes y reportes llevan un tiempo	Durante la prueba piloto se logró alcanzar un tiempo

	promedio de 10 días para ductos de 1 km.	promedio de 3 días para ductos de 1 km.
Interacción Cliente-Proveedor	Limitada debido a posibles malos entendidos.	Comunicación mejorada gracias a datos confiables y compartidos.

Tabla N° 2 - Comparación de eficiencia y rapidez

## 5.5 Contribución de la Tecnología de Blockchain

Un elemento esencial en la obtención de estos resultados ha sido la tecnología de blockchain. Su capacidad para proporcionar registros inmutables y garantizar la seguridad de los datos ha sido un aporte fundamental en la mejora general de la gestión de integridad de ductos. La transparencia, trazabilidad y seguridad inherente de la tecnología blockchain han llevado la gestión de datos a un nuevo nivel de confiabilidad y eficiencia.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El primer logro destacado de este estudio es la efectiva implementación de un sistema integral de gestión. La gestión de integridad de ductos se ha convertido en un proceso más estructurado y organizado. Anteriormente, la recopilación de datos se realizaba de manera fragmentada y carecía de un marco sólido que proporcionara una visión completa de la situación de los ductos. Con la implementación de este nuevo sistema, los datos se recopilan de manera más eficiente y se almacenan en una base de datos centralizada. Esto ha permitido la creación de una "fuente única de la verdad" en lo que respecta a la integridad de los ductos.

Otro factor crucial para el cumplimiento de los objetivos ha sido la adopción de la tecnología de blockchain. Esta innovación ha añadido una capa adicional de seguridad y confiabilidad a los datos recopilados y almacenados. La tecnología de blockchain ha permitido crear registros inmutables de toda la información relacionada con la integridad de los ductos. Cada vez que se agrega, modifica o aprueba un dato, queda registrado de forma permanente en un bloque. Esto no solo garantiza la trazabilidad de los datos, sino que también previene cualquier intento de manipulación o alteración de la información.

La optimización de los tiempos de trabajo es otro beneficio directo del nuevo sistema de gestión. Antes de la implementación, la recopilación de datos era una tarea que consumía mucho tiempo debido a la falta de estructura y centralización. Con la introducción de procesos más eficientes y la automatización de ciertas tareas a través de la tecnología de blockchain, el tiempo necesario para completar tareas de gestión de datos se ha reducido significativamente. Esto no solo aumenta la productividad, sino que también libera recursos para otras actividades críticas.

La implementación de un sistema integral de gestión y el uso de tecnología de blockchain han contribuido en gran medida a fortalecer la seguridad y confianza en los datos relacionados con la integridad de los ductos. La integridad de los datos es fundamental para la seguridad de las operaciones, ya que cualquier error o falsedad podría tener graves consecuencias. La ejecución exitosa de este sistema ha brindado resultados positivos que allanan el camino para una gestión más efectiva y segura de los ductos. Estos resultados alientan la consideración de una implementación más amplia y sistemática de estas mejoras en toda la empresa GIE, lo que podría llevar a beneficios aún mayores en el futuro.

Se investigaron y analizaron los tipos de corrosión que afectan a los ductos, así como los factores que influyen en el proceso corrosivo. La evaluación de los impactos ambientales y sociales de los accidentes relacionados con la falta de integridad de los ductos también se ha convertido en una parte integral del proceso de gestión.

Este análisis resultó en una comprensión más profunda de los procesos corrosivos que pueden afectar la integridad de los ductos. La identificación de estos mecanismos también ayudó a diseñar y seleccionar materiales de manera más precisa, en función de su susceptibilidad a cada tipo de corrosión.

Se evaluaron factores ambientales, como la humedad, la temperatura y la presión, que pueden acelerar procesos corrosivos. Se consideraron factores operativos, como el flujo de productos, la presión de operación y la velocidad del transporte, que también pueden influir en la integridad de los ductos.

El objetivo de evaluar el impacto ambiental y social de los incidentes relacionados con la integridad de los ductos se abordó de manera completa y satisfactoria. Se realizaron estudios de caso y análisis detallados de incidentes anteriores, como derrames de petróleo y explosiones de gasoductos. Estos análisis permitieron identificar el alcance y las consecuencias de tales incidentes.

Se observó que los incidentes podían tener un impacto devastador tanto en el medio ambiente como en las comunidades circundantes. Los derrames de petróleo, por ejemplo, podían causar daños a los ecosistemas acuáticos, la fauna y flora, y amenazar la salud humana. Las explosiones de gasoductos podían causar pérdidas de vidas humanas, daños a la propiedad y efectos negativos en las comunidades locales.

Estos hallazgos subrayaron la importancia de mantener la integridad de los ductos y prevenir incidentes. Se destacó la necesidad de un enfoque proactivo en la gestión de integridad para reducir el riesgo de incidentes y minimizar su impacto.

Este estudio ha contribuido al avance del conocimiento en el campo de la integridad de ductos y la prevención de la corrosión. Además de identificar áreas de investigación futura, ha propuesto recomendaciones y mejores prácticas para optimizar la gestión de integridad de ductos y reducir los riesgos asociados con la corrosión.

En resumen, este estudio ha logrado cumplir con sus objetivos generales y específicos, aportando mejoras significativas en la gestión de integridad de ductos en la empresa GIE. La planificación de inspecciones periódicas representan un paso significativo hacia la gestión eficiente y confiable de los ductos utilizados en el transporte de hidrocarburos. A través de un enfoque sistemático y basado en datos, se logra un mayor orden y trazabilidad en el mantenimiento, lo que, a su vez, aumenta la confiabilidad del servicio, garantizando que los ductos operen de manera segura y eficiente. La implementación de un sistema integral de gestión, junto con la tecnología de blockchain, ha allanado el camino para una gestión más efectiva y segura de los ductos, destacando la importancia de mantener la confiabilidad de los datos y prevenir problemas de corrosión en la infraestructura de transporte de hidrocarburos. Estos avances proporcionan una base sólida para la continuación y expansión de las mejoras en toda la organización.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute (API). (2019). *Recommended Practice for Pipeline Safety Management Systems*.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2019). *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids* (ASME B31.4). ASME.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2019). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems* (ASME B31.8). ASME.
- National Association of Corrosion Engineers (NACE). (2016). *Standard Recommended Practice: Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems* (NACE RP0169). NACE International.
- Mohitpour, M., Murray, A., & McManus, M. (2010). *Pipeline Integrity Assurance: A Practical Approach*. Prensa ASME.
- McAllister, E. W. (2013). *Pipeline Rules of Thumb Handbook: A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Pipeline Engineering Problems*. Gulf Professional Publishing.
- Mora, R. G., Hopkins, P., Cote, E. I., & Shie, T. (2016). *Pipeline Integrity Management Systems: A Practical Approach*. ASME.
- Acceso a documentos de la empresa GIE GROUP.