

**MODELO GERENCIAL PARA LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD MECÁNICA DE  
DUCTOS EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEOS**

**CARLOS BAHAMON GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS  
BUCARAMANGA**

**2020**

**MODELO GERENCIAL PARA LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD MECÁNICA DE  
DUCTOS EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEOS**

**CARLOS BAHAMON GONZÁLEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Magister en Ingeniería de Petróleos y Gas**

**Director**

**OSCAR REY CASTELLANOS**

**Magister en Ingeniería de Materiales**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS  
BUCARAMANGA**

**2020**

A DIOS, fuente suprema de todo el universo.

A la memoria de mi padre.

A mi querida esposa.

A mis hijos.

Este trabajo quiero también dedicarlo con el más grande sentimiento de aprecio y agradecimiento a todas las personas que de alguna manera han estado presentes en mi vida personal y laboral sin quienes, con su ayuda, guía y colaboración, no sería la persona que hoy soy.

A DIOS, por bendecirme, por su constante presencia, por ser el inspirador de mi vida y darme fortaleza en momentos difíciles.

De igual forma, agradezco a mi Director de Tesis, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores de la escuela de ingeniería de petróleos de la UIS quienes con sus conocimientos y sabiduría lograron orientar y moldear mis competencias técnicas y personales.

Agradezco a la ing. Maria Clara Dueñas V, MSc en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, por toda la colaboración, orientación y su ayuda incondicional.

Agradezco a mi familia por el tiempo que no les compartí, al estar tomando las clases de esta maestría.

A todos infinitas gracias.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. LA INTEGRIDAD DE DUCTOS DESDE EL ÁMBITO NORMATIVO .....	14
1.1 ESTÁNDARES Y BUENAS PRACTICAS INTERNACIONALES.....	16
1.2 COLOMBIA Y LA INTEGRIDAD DE DUCTOS.....	19
2. VARIABLES DETERMINANTES PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INTEGRIDAD.....	23
2.1 ORGANIZACIÓN .....	23
2.2 COMPROMISO GERENCIAL .....	24
2.3 LINEAMIENTOS .....	24
3. ANÁLISIS DEL IMPACTO GERENCIAL DE LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD EN LA OPERACIÓN DE DUCTOS .....	27
4. MODELO GERENCIAL PARA LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD MECÁNICA DE DUCTOS EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO .....	30
4.1 ORGANIZACIÓN Y ALCANCE .....	31
4.2 POLÍTICA .....	32
4.3 ESTRATEGIA Y OBJETIVOS .....	32
4.4 CONTROLES.....	33
4.5 IMPLEMENTACIÓN.....	35
4.6 MONITOREO Y MEJORA CONTINUA .....	36
5. CONCLUSIONES .....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Principal normativa aplicable a la gestión de integridad.

## **GLOSARIO**

**ANSI.** American National Standards Institute

**API.** American Petroleum Institute

**ASME.** American Society of Mechanical Engineers

**ASNT.** American Society for Nondestructive Testing

**ASTM.** American Society for Testing and Materials

**NTC.** Norma Técnica Colombiana

## RESUMEN

**TITULO: MODELO GERENCIAL PARA LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD MECÁNICA DE DUCTOS EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO\***

**AUTOR: CARLOS BAHAMON GONZÁLEZ\*\***

**PALABRAS CLAVE: DUCTOS, GESTIÓN DE INTEGRIDAD, PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, NORMATIVIDAD.**

### **DESCRIPCIÓN:**

La industria del petróleo generalmente orienta sus esfuerzos en la búsqueda, extracción y tratamiento para su comercialización, pero hoy en día y como un factor ajeno a la actividad rentable, la protección del ambiente se convierte en el norte de toda operación y es ahí cuando la Integridad de los activos muestra su máxima importancia. Los Sistemas de Gestión deben ser promovidos desde la gerencia, tal que se adopten como una guía para todas las operaciones en la industria, siendo indispensable el compromiso gerencial de adoptar la Integridad de Activos en cada área, campo, facilidad, tubería que contenga fluidos peligrosos.

Este modelo se basa en las mejores prácticas de la industria y en la normativa internacional que da soporte a la gestión gerencial y operacional de compañías operadoras de ductos, ajustado a compañías que transportan crudo por ductos sin ser éste, el objeto de su negocio productivo principal. El modelo gerencial propuesto se limita a la operación de ductos como un ciclo de mejora continua que no considera las etapas de concepción, diseño, construcción ni abandono de esta infraestructura, sin sugerir que no se aplique a otras etapas, incluso, al implementarse este modelo, tendría aplicación en todas las etapas de un proyecto de transporte de hidrocarburos por tuberías.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de ingeniería de petróleos. Maestría en ingeniería de petróleo y gas. Director Oscar Rey Castellanos, Magister en Ingeniería de Materiales.

## ABSTRACT

**TITLE: MANAGERIAL MODEL FOR MANAGING THE MECHANICAL INTEGRITY OF PIPELINES IN A PETROLEUM PRODUCTION COMPANY\***

**AUTHOR: CARLOS BAHAMON GONZÁLEZ\*\***

**KEYWORDS: PIPELINE, INTEGRITY MANAGEMENT, OIL TRANSPORT, NORMATIVITY.**

### **DESCRIPTION:**

The oil industry generally guides its efforts in the search, extraction and treatment for its commercialization, but nowadays and as a factor other than profitability, the protection of the environment becomes the north of all operations and that is when the Asset Integrity Management shows its utmost importance. The Management Systems must be promoted from the management, so that they are adopted as a guide for all operations in the industry, being essential the managerial commitment to adopt the Integrity of Assets in each area, field, facility, pipeline that contains dangerous fluids.

This model is based on the best practices in the industry and on international regulations support the management and operational management of pipeline operating companies, adjusted to companies that transport crude oil through pipelines without this being the object of their main productive business. The proposed management model is limited to the operation of pipelines as a continuous improvement cycle that does not consider the stages of conception, design, construction or abandonment of this infrastructure, without suggesting that it not be applied to other stages, even when this model is implemented, would be applicable in all stages of a pipeline hydrocarbon transport project.

---

\* Master's thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de ingeniería de petróleos. Maestría en ingeniería de petróleo y gas. Director Oscar Rey Castellanos, Magister en Ingeniería de Materiales.

## INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo generalmente orienta sus esfuerzos en la búsqueda, extracción y tratamiento para su comercialización, pero hoy en día y como un factor ajeno a la actividad rentable, la protección del ambiente se convierte en el norte de toda operación y es ahí cuando la Integridad de los activos muestra su máxima importancia.

El subsector intermedio “midstream” representa el enlace entre producción y procesamiento y desempeña un papel importante en el transporte, el almacenamiento y el procesamiento del petróleo siendo la razón de que existan empresas operadoras de tuberías e instalaciones de almacenamiento del producto. Estas empresas se especializan en la operación y mantenimiento de ductos que transportan petróleo y gas, a su vez reconocen la importancia de la contención segura del producto almacenado o transportado dedicando un generoso porcentaje de sus presupuestos a la Integridad de sus tuberías y tanques de almacenamiento. Pero, ¿Qué ocurre cuando la operación y mantenimiento, que llevan consigo la integridad de un ducto, está a cargo de una empresa de exploración y producción?

La gestión de integridad de ductos implica la garantía de implementación de acciones necesarias para una operación eficiente de todo un ducto incluyendo sus componentes anexos, es decir, asegurar una operación segura para las personas, el ambiente y la operación, durante su ciclo de vida. En la práctica, los conceptos y prácticas de integridad deberían incorporarse desde la fase de concepción de un proyecto de transporte de petróleo crudo, lo que implica considerar la susceptibilidad de este tipo de estructuras a los diferentes peligros y/o mecanismos de daño/falla a través de su vida útil.

Este trabajo busca, en primer lugar, generar conciencia de la importancia de invertir en integridad incluso en empresas no especializadas en el transporte de

hidrocarburos. Además, se provee una guía gerencial para la implementación y manejo corporativo de un sistema de transporte de petróleo por tubería.

La misión de toda empresa que tenga como parte de sus activos operables, un ducto de transporte de hidrocarburos, es llevar los productos de una forma segura, confiable, sostenible y sin que se presente efectos adversos en las personas ni en el ambiente. Sin embargo, las empresas que operan ductos, pero que su misión es la exploración y producción, tienen sus metas enfocadas en las expectativas de producción y los volúmenes efectivamente producidos, así que planean sus actividades, presupuestos e inversiones en dicho entorno, casi subestimando el transporte de esta producción a los diferentes destinos. La gestión de integridad debe considerarse como una necesidad transversal de las empresas productoras y operadoras, no solo en ductos sino en todos los activos que contenga líquidos peligrosos.

## **1. LA INTEGRIDAD DE DUCTOS DESDE EL ÁMBITO NORMATIVO**

En la industria petrolera, específicamente en cuanto a transporte de petróleo se refiere, hay muchas normas y estándares internacionales bien establecidos, que abarcan el diseño, construcción, operación y mantenimiento, tanto en tierra como costa afuera, donde también se incluye el manejo de la integridad de los activos y diferentes metodologías para la valoración del riesgo.

En los Estados Unidos, el Departamento de Transporte – DOT (Department of Transportation) regula el Transporte de Líquidos Peligrosos por tuberías, a través de códigos de regulación federal que obliga a las empresas transportadoras a, entre otras, operar de manera segura adoptando las medidas necesarias para minimizar los impactos propios de la actividad. PHMSA que es el Departamento de Seguridad y Administración del Transporte por Oleoductos y de Materiales Peligrosos (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) del DOT, también proporciona directrices para que la operación de oleoductos garantice la seguridad de la comunidad y el medio ambiente.

En Canadá, la asociación Canadiense de Estandarización – CSA (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION) desarrolla y publica estándares en más de 57 áreas incluyendo “Oil and Gas” que, para el caso particular, publica el documento Z662-07 “Oil and Gas pipeline systems”. Esta norma, a diferencia de la normativa estadounidense, recopila los requerimientos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tubería de la industria de petróleo y gas para el transporte de hidrocarburos líquidos, gas, condensado, fluido multifase, agua de reinyección, vapor de yacimientos, dióxido de carbono.

En el Reino Unido, el Ejecutivo de Salud y Seguridad – HSE (Health and Safety Executive) es la entidad del gobierno responsable del fomento, la regulación y el cumplimiento de la salud, la seguridad y el bienestar en el lugar de trabajo y de la

investigación sobre riesgos laborales en Gran Bretaña. Esta entidad ha publicado un estudio denominado “Revisión de la gestión de la integridad de los ductos” (Piping systems integrity Management review). Este estudio ha utilizado un modelo de integridad de "ciclo de vida" para evaluar los hallazgos y presentar recomendaciones. Para las tuberías, el ciclo de vida comienza con la definición del alcance, continúa con el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento, incluye modificaciones y reparaciones, y finaliza con el cierre y abandono.

API 1160 establece un proceso que puede ser usado por el operador de un ducto para evaluar riesgos y tomar decisiones acerca de los riesgos al operar una tubería de líquidos peligrosos con el fin de reducir el número de incidentes, daños o errores y los efectos adversos de errores e incidentes. Esta norma está prevista para ser usada por personal o equipos competentes responsables de planear, implementar y mejorar un programa de gestión de integridad de tuberías. Normalmente un equipo podría incluir ingenieros, personal de operaciones, y técnicos o especialistas con competencia en las áreas que impactan la integridad del sistema (en corrosión, tecnologías de inspección, patrullaje del derecho de vía, geotecnia, materiales, análisis de fallas, gestión ambiental, entre otras). Los usuarios de esta norma deben tener un programa de gestión de integridad de los ductos escrito y llevar una valoración de línea base y reevaluaciones periódicas de la gestión de integridad de tuberías<sup>1</sup>. En API 1160 se define “HCA” como aquellos lugares donde un escape del fluido contenido en el sistema de transporte podría tener un efecto adverso significativo sobre un área sensible ambientalmente, un área altamente poblada u otro tipo de área poblada, remitiéndose al DOT 49 Parte 195.452 donde, para el caso de los Estados Unidos, aplican criterios como densidad poblacional. Sin embargo, en Colombia no resulta preciso aplicar esta metodología de determinación de áreas de alta consecuencia, pero si, cada compañía operadora como conocedora

---

<sup>1</sup> API RP 1160, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines. 2016.

del derecho de vía de su ducto se encuentra en la capacidad de determinar esas áreas específicas donde una fuga podrá tener diferentes niveles de consecuencias. La elaboración de mapas de riesgo resulta ser una adecuada estrategia de atención y priorización de eventos.

## **1.1 ESTÁNDARES Y BUENAS PRACTICAS INTERNACIONALES**

Los principales retos que afectan la gestión de integridad se pueden enmarcar en tres aspectos. El primero es el importante cambio de personal que se está produciendo dentro de muchas compañías operativas y de ingeniería y construcción con la correspondiente pérdida de experiencia. En segundo lugar, la mayoría de las tuberías en Colombia se construyeron antes de 1990, aumentando con los años la susceptibilidad a problemas de corrosión y degradación. Y, por último, los sistemas de documentación para muchas compañías aún están fragmentados o no existen, por lo que la información relevante de la canalización está en formato digital y en papel. Esta fragmentación impide la capacidad de administrar rápidamente las tuberías con sistemas de documentación totalmente integrados y de recuperar la información correcta necesaria para el mejor análisis y toma de decisiones.

Existen muchas normas, guías, prácticas recomendadas y demás documentación técnica que dan lineamientos para trabajar en integridad, pero la mayoría se enfocan en casos puntuales de análisis y evaluación con enfoque más técnico que gerencial.

El catálogo API contiene muchos documentos que son códigos, especificaciones y guías, principalmente relacionados con las prácticas de la industria petrolera en Estados Unidos, que en la mayoría de los casos podemos adoptar en Colombia.

A continuación, una revisión global de los principales documentos usados a nivel mundial para realizar gestión de integridad en la industria petrolera.

Tabla 1. Principal normativa aplicable a la gestión de integridad.

Referencia	Descripción	Grado de Aplicación	Observaciones
<b>Políticas y Normas para la Gestión de la Integridad</b>			
API 1160	Managing System Integrity for hazardous Liquids pipelines	Guía	Documento de Referencia
ASME B31.8S	Managing System Integrity of Gas Pipelines	Guía	Documento de Referencia
NTC 5901	Gestión de Integridad de Sistemas de Tubería Para Transporte de Líquidos Peligrosos	Norma Colombiana	Documento de Referencia
NTC 5747	Gestión de Integridad de Gasoductos	Norma Colombiana	Documento de Referencia
DOT 49 CFR part 192.	Transportation of natural and other Gas by Pipeline	Regulación USA	<u>Opcional.</u> Complemento al ASME B31.8S
DOT 49 CFR part 195	Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline	Regulación USA	<u>Opcional.</u> Complemento al API 1160
API 353	Managing Systems Integrity of Terminal and Tank Facilities, Managing the Risk of Liquid Petroleum Releases	Guía	Proporciona maneras costo-efectivas de protección del público, empleados y ambiente.
<b>Estándares y Prácticas Recomendadas para Diseño y Construcción</b>			
ASME B31.4	Pipeline Transportation Systems For Liquid Hydrocarbons And Other Liquids	Estándar	Estándar de diseño, construcción, inspección y operación
ASME B31.8	Gas Transmission and Distribution Piping Systems	Estándar	Estándar de diseño, construcción, inspección y operación
API Std 620	Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks	Estándar	Estándar para diseño, construcción e inspección
API Std 650	Welded Tanks for Oil Storage	Estándar	Estándar para diseño y construcción e inspección
API RP-651	Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks	Práctica Recomendada	Guía para Diseño y Construcción
API RP-652	Linings of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms	Práctica Recomendada	Guía para Diseño y Construcción
NACE RP 0575	Internal Cathodic Protection Systems in Oil-Treating Vessels	Práctica Recomendada	Guía para Diseño y Construcción
NACE SP-0169	Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System	Estándar	Estándar para Diseño y Construcción
NACE SP-0286	Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines	Estándar	Estándar para Diseño y Construcción
<b>Estándares y Prácticas Recomendadas para Inspección y Reparación</b>			
API RP 580	Risk-Based Inspection	Práctica Recomendada	Guía para Implementar un programa de Inspección

API RP 581	Risk-Based Inspection Methodology	Práctica Recomendada (opcional)	Complementa API 580 Establece el programa de inspección, con método cuantitativo
API 570	Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems	Código	Guía para establecer un programa de inspección en servicio, monitoreo de condición y para reparaciones.
API 653	Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction. Opcional: EEMUA Pub 159. (Engineering Equipment and Materials User Association). Users' Guide to the Inspection, Maintenance and Repair of Aboveground Vertical Cylindrical Steel Storage Tanks	Estándar.	Estándar para inspección y reparación de tanques construidos bajo API 650
API 510	Pressure Vessel Inspection Code El API RP572 suplementa el API 510. Proporciona mejores prácticas en la forma de realizar las inspecciones.	Código	Guía para inspección de vasijas a presión en operación. Aplica a vasijas y boilers construidas bajo ASME
ASME B31G	Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines.	Código	Aplica a gasoductos y ductos con líquidos. Evaluar aptitud para el servicio.
API Std 579	Fitness For Service.	Estándar	Eventualmente puede ser reemplazado por ASME B31G
API Std 1163	In-Line Inspection System Qualification	Estándar	Define requerimientos para un ILI (personal, procedimiento, equipos, software)
NACE SP 0102	In-line Inspection of Pipelines. Opcional al API Std 1163	Estándar	Define requerimientos para un ILI (personal, procedimiento, equipos, software)
NACE SP 0208	Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Liquid Petroleum Pipelines	Estándar	Guía en la Metodología para (1) mejorar la evaluación por C.Int. en ductos (líquidos) (2) mejorar la Integridad de un ducto
NACE RP 502.	Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology	Estándar	Guía en la Metodología para evaluación de Corrosión externa en ductos enterrados
NACE SP 0204	Stress Corrosion Cracking (SCC) Direct Assessment Methodology.	Estándar	Guía en la Metodología para evaluación de tramos con SCC
<b>Estándares para Monitoreo de Corrosión / Condición de Recubrimientos</b>			
NACE SP0775	Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations	Estándar	Describe procedimientos, para adaptar a practicas
NACE SP TM 0194	Field Monitoring of Bacterial Growth in Oil and Gas Systems API RP38: similar en algunos aspectos.	Estándar	Describe métodos para estimar colonias de bacterias
NACE SP0207	Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines	Estándar	Describe el método de medición de diferencia de potenciales a intervalos cerrados

NACE Standard TM0497	Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems	Método Estándar de Medición	Determina métodos de medición estándar, para medir potenciales
NACE TM 0109	Aboveground Survey Techniques For The Evaluation Of Underground Pipeline Coating Condition. Techniques: DCVG, Alternating Current Attenuation Survey (ACCA-Electromagnetic Method), Alternating Current Voltage Gradient Survey, PCM (ACCA&ACVG surveys simultaneously), Pearson Survey	Método Estándar	Referencia. Describe varias técnicas de evaluación de recubrimientos por inspección indirecta.

Fuente. El autor

Según DOT-EU, debido a las similitudes físicas y operativas entre las tuberías de líquidos peligrosos y las tuberías de transmisión de gas, las reglamentaciones de IM aplicables a cada uno de estos tipos de tuberías tienen muchas similitudes y comparten los mismos cuatro objetivos básicos<sup>2</sup>:

- Realizar evaluaciones de integridad de las tuberías en lugares donde una fuga o falla de la tubería podría tener consecuencias adversas significativas (denominadas Áreas de alta consecuencia o HCA).
- Mejorar la gestión del operador, los procesos analíticos y operativos de gestión de integridad de ductos.
- Aumentar el papel del gobierno en la supervisión de los programas y actividades de gestión de integridad del operador.
- Generar confianza del público en sectores de influencia de los ductos en función de una operación segura.

## 1.2 COLOMBIA Y LA INTEGRIDAD DE DUCTOS

En Colombia, los programas de gestión de integridad se basan en modelos internacionales de análisis de riesgo, en normativa y estándares internacionales e incluso en regulaciones de países como Estados Unidos. El estándar API 1160

<sup>2</sup> Administración de seguridad de tuberías y materiales peligrosos. Departamento de transporte de EE. UU.

desde hace más de 10 años ha provisto de los lineamientos para el desarrollo e implementación de Programas de Integridad en tuberías de transporte de líquidos peligrosos ofreciendo a las compañías operadoras una herramienta de gestión a fin de definir programas de prevención, monitoreo, inspección y mitigación.

A falta de normativa y legislación propia en Colombia, en el año 2012 se finaliza la redacción y publicación de la norma ICONTEC NTC 5901 “Gestión de Integridad para Sistemas de Tubería para transporte de Líquidos peligrosos” que provee una guía para la implementación y manejo de sistemas y programas de gestión de integridad en ductos, la cual, resulta la guía más recomendable para su aplicación incipiente en una compañía cuyo negocio principal no es el transporte de hidrocarburos.

Actualmente se requiere, a la luz de las necesidades de los grandes países en vía de desarrollo, ajustar las normas y estándares internacionales según los requerimientos propios, bajo las mejores prácticas de uno o varios países desarrollados. Específicamente en el tema de Integridad de Activos, organismos como API, NACE, DOT, CSA, ASME emiten normas, estándares, regulaciones, etc., que en Colombia se han aplicado a través de los años. Sin embargo, solo hasta hace un par de años los operadores de Ductos se han interesado en mecanismos para la implementación y manejo de Programas de Integridad en Tuberías, que, en un contexto más amplio, proporcionen a la industria petrolera sistemas y programas de gestión que permitan involucrar a las partes como compromiso para lograr mantener la integridad de las estructuras y minimizar los niveles de riesgo.

Colombia cuenta más de 10.000 kilómetros de tuberías de transporte de petróleo crudo y otros derivados (Oleoductos 4465 km, poliductos y propanoductos 3980 km,

gasductos 4500 km, aproximadamente)<sup>3</sup> a lo largo de nuestros valles, mesetas, costas y cordilleras, atravesando ríos, quebradas, bocatomas y demás cuerpos de agua y que adicionalmente, cruzan bajo veredas, caseríos y hasta pequeños municipios. Todo lo anterior hace que, a juicio de expertos, todo el derecho de vía sea una zona de consecuencia que requiere una operación responsable de cada ducto que se diseñe, construya, opera e incluso se abandone. NTC 5901 muestra todas las consideraciones a tener en cuenta, desde la aplicación gerencial hasta el programa operativo de gestión, las amenazas a la integridad de tuberías, guía para determinar las áreas de consecuencia, gestión del riesgo, incluso tiempos estimados de atención de anomalías, todo articulado en ciclos de gestión tanto del programa como del sistema y sus indicadores.

Figura 1. Ciclo de gestión de Integridad



Fuente. NTC 5901

<sup>3</sup> <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/transporte>  
<https://www.portafolio.co/economia/matriz-de-gasoductos-del-pais-sera-a-doble-via-513694>

Para cualquier tipo de compañía petrolera, sea upstream, midstream o downstream, un programa de gestión de integridad provee un medio para mejorar la seguridad de los ductos, asignar y priorizar recursos para:

- Identificar y analizar peligros que puedan resultar en incidentes en la tubería.
- Establecer las variables para determinar la probabilidad y susceptibilidad de amenazas que representen un potencial de eventos de daño en tuberías.
- Proporcionar mecanismos integrados para analizar y evaluar riesgos, conllevando así a la toma de decisiones oportunas a través de actividades que faciliten la reducción de riesgos asociados.
- Establecer una estructura de fácil implementación para determinar y ejecutar las actividades de reducción de riesgos.
- Facilitar el seguimiento del desempeño del sistema con la meta de mejorar dicho desempeño.

## **2. VARIABLES DETERMINANTES PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INTEGRIDAD**

Los Sistemas de Gestión deben ser promovidos desde la gerencia, tal que se adopten como una guía para todas las operaciones en la industria, siendo indispensable el compromiso gerencial de adoptar la Integridad de Activos en cada área, campo, facilidad, tubería que contenga fluidos peligrosos.

Las siguientes variables se deben considerar claves para el establecimiento de un Sistema de Gestión de Integridad que incluya específica pero no únicamente los sistemas de tubería.

### **2.1 ORGANIZACIÓN**

- 2.1.1 **Estructura Organizacional.** La compañía operadora debe definir dentro del organigrama general, la línea de roles y responsabilidades de la gestión de Integridad de los Ductos que tenga en operación.
- 2.1.2 **Política de Gestión de Integridad.** Permite establecer y mantener la gestión de integridad como una prioridad en la operación, incluyéndola en la formulación de objetivos operacionales y el direccionamiento de los recursos.
- 2.1.3 **Política de Administración del Riesgo.** La Gestión del Riesgo, como componente en la Gestión de Integridad, requiere el establecimiento de políticas claras que orienten la toma de decisiones ante los resultados de los análisis de riesgo, especialmente la tolerancia a estos riesgos y sus estrategias generales de mitigación.

## **2.2 COMPROMISO GERENCIAL**

2.2.1 **Liderazgo.** El apoyo gerencial es la base para la gestión, así como la designación de personal competente no solo en operación de tuberías sino en Integridad de Activos, capaz de planear, organizar, direccionar, gestionar y enfocar la operación en la minimización del riesgo por Integridad.

2.2.2 **Presupuesto.** Una gestión efectiva requiere la disposición de recursos exclusivos para personal, software, equipos, documentación y normativa, que permitan el desarrollo efectivo de dicho sistema de gestión.

## **2.3 LINEAMIENTOS**

Un proceso de gestión de integridad debe estar dirigido a personas, procesos e instalaciones o facilidades.

La compañía operadora debe crear y mantener actualizado una guía/documento mandatorio interno y aterrizado a la operación donde establezca los lineamientos y normativa a seguir para la gestión de integridad la cual deberá ser de estricto cumplimiento. Es importante resaltar que en Colombia no se cuenta con reglamentación que obligue a la implementación de sistemas de gestión de Integridad, sin embargo, las autoridades ambientales establecen ciertos requerimientos asociados a Integridad de activos tales como análisis de riesgos, planes de gestión de riesgo de desastres, entre otras.

A continuación, se menciona un esquema de lineamientos mínimos que las compañías podrán analizar y ajustar a sus operaciones.

2.3.1 Establecimiento de política de integridad de activos y gestión del riesgo

- 2.3.2 Determinación de objetivos, requisitos, documentación, verificaciones, asignación roles y responsabilidades
- 2.3.3 Recursos humanos y económicos
- 2.3.4 Manejo del cambio
- 2.3.5 Controles e indicadores de desempeño
- 2.3.6 Revisiones gerenciales
- 2.3.7 Mecanismos aceptables por la compañía para creación de línea base de cada ducto
- 2.3.8 Metodología para análisis y evaluación del riesgo y sus niveles de aceptación.
- 2.3.9 Auditorias y planes de mejora continua

Operativamente, la gestión de la integridad comienza con la identificación de peligros que se puede realizar utilizando métodos cualitativos y cuantitativos. Un HAZOP u otros análisis de riesgo, bajo métodos cualitativos que examina sección por sección y línea por línea para cualquier posible amenaza. Los métodos cuantitativos se utilizan para identificar con mayor precisión la probabilidad de falla con su nivel de riesgo asociado. Esto es seguido por un análisis de causa - consecuencia para definir todas las causas o susceptibilidad del ducto ante las amenazas identificadas como probables y consecuencias en caso de una materialización del daño identificado. La evaluación de riesgos proporcionará una estimación de las frecuencias de ocurrencia y magnitud de consecuencias para cada una de las amenazas a la integridad de ductos.

$$R = PoF \times CoF$$

R= Nivel de riesgo

PoF= Probabilidad de falla

CoF= Consecuencia de falla

Es común que la falta de información impacte negativamente el nivel del riesgo por el desconocimiento de cierta información específica. Cada compañía operadora deberá establecer la criticidad de la información para los análisis de riesgo y determinar como primera medida la recolección o generación de dicha información mínima.

### **3. ANÁLISIS DEL IMPACTO GERENCIAL DE LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD EN LA OPERACIÓN DE DUCTOS**

Las compañías operadoras, dentro de su etapa de planeación anual, deberán integrar en sus presupuestos la gestión de integridad en sus diferentes etapas de implementación y mantenimiento lo cual genera un impacto económico inicialmente, a través de la designación de recurso económico para la vinculación de recurso humano especializado en gestión de integridad cuyo objetivo será la creación e implementación del Sistema de gestión de Integridad, como una estrategia gerencial y transversal que deberá adaptarse a cada tipo de operación, posteriormente lograr la aceptación de la importancia de un Sistema de Gestión de Integridad Mecánica para los Sistemas de Tubería, centrándose en la minimización de Riesgos e impactos potenciales en personas, ambiente y reputación de la compañía, mostrando la gestión de integridad como una inversión a largo plazo y no como un gasto.

Cada operación industrial requiere el desarrollo de ejercicios de valoración del riesgo asociado a la vulnerabilidad de la infraestructura y el impacto generado en el entorno, en las personas, en el ambiente, en la reputación y economía de quien la opera. Estos modelos de valoración de riesgo podrán ser ajustados para evaluar los riesgos de integridad, lo cual reduce el impacto económico de la implementación de un sistema de gestión, de igual forma, el apalancamiento en los planes de gestión de riesgo de desastres y planes de manejo ambiental, constituyen una base para la determinación de áreas de consecuencia. De esta manera, a través de la interacción de algunas áreas de apoyo, se puede reducir el impacto económico y el tiempo necesario para la implementación y puesta en marcha del sistema de gestión.

La implementación de un sistema tal como se propone en este estudio, tendrá un impacto principalmente gerencial, pero en un menor grado, la operación en campo también debe asumir el cambio como un mecanismo de mejora que permitirá una

operación más segura y con énfasis preventivo para los activos estáticos que compongan un ducto.

Un análisis económico no sería preciso establecer debido a que, según el origen de la compañía y la cantidad de sistemas de tubería que opere, podrá determinar la cantidad de recursos a disponer, condicionado proporcionalmente al tiempo de implementación y resultados mostrables y medibles.

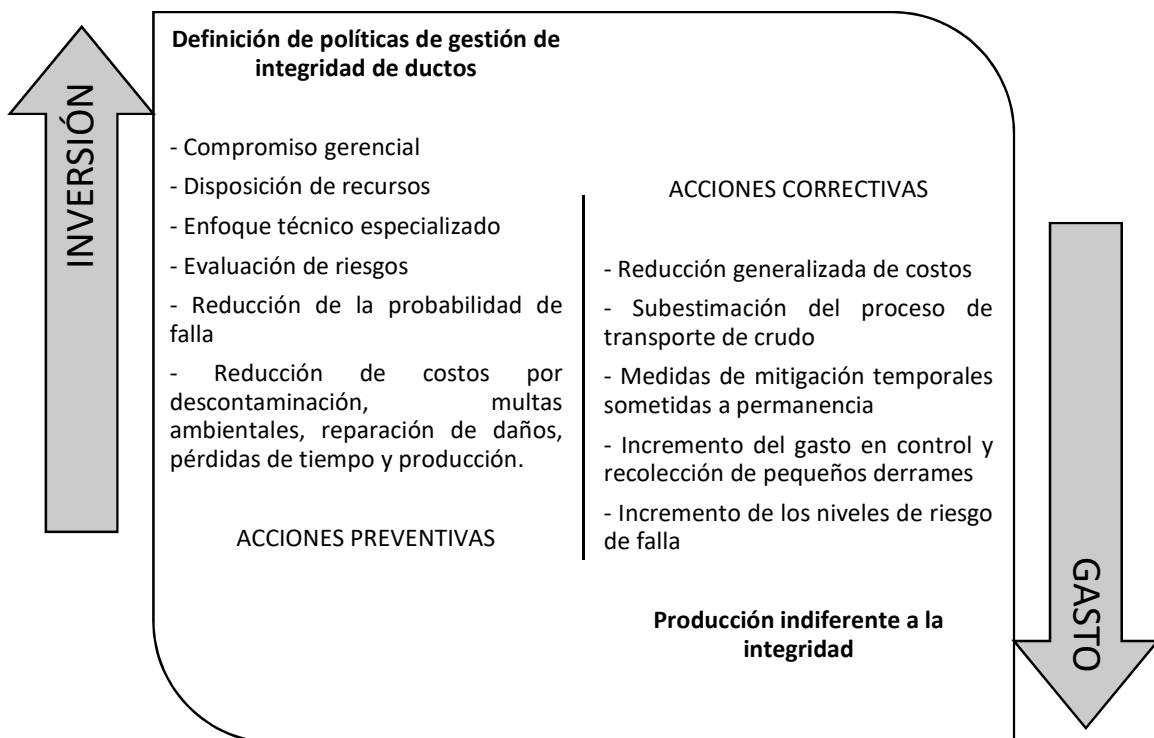
Para minimizar riesgos, se utilizarán estrategias para reducir las frecuencias de falla o la magnitud de la consecuencia. Esto genera un alto impacto en la implementación de cambios de diseño, cambios en el sistema de control, actividades de desempeño del personal, estrategia de mantenimiento, cambios en el sistema de seguridad. Estas actividades deberían considerarse como parte del diseño de ingeniería de tuberías. En las etapas de operación, monitoreo de procesos, actividades de mantenimiento, inspección, operación y control se utilizan para identificar cualquier posible desviación o anomalía que afecte la operatividad del ducto.

### **3.1. CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE UN SISTEMA GERENCIAL DE GESTIÓN DE INTEGRIDAD.**

A la falta de un sistema gerencial de gestión de integridad, se pueden presentar consecuencias de varias índoles, dentro de las cuales podemos decir que en la industria del petróleo, el mayor y más frecuente impacto que se presenta es en el medio ambiente que desencadena en impacto social y económico y en la reputación de las compañías operadoras; efectos que son consecuencia, en la mayoría de los casos, de daños en las tuberías que conducen el producto, daños por corrosión, operaciones incorrectas, daños por efectos climáticos y/o agentes externos a la operación, incluso daño por materiales defectuosos. En ausencia de directrices claras y eficaces de gestión de integridad de ductos, el principal interés son los barriles producidos.

Es necesario que las gerencias de las compañías asuman la gestión de Integridad como una inversión más que un gasto. Todo el presupuesto de integridad se refleja en la prevención de los efectos que genera un daño en un ducto, a través del control de la probabilidad de falla y priorización del riesgo.

Figura 2. Comparación del impacto de tener o no un sistema de gestión de integridad en ductos.



#### 4. MODELO GERENCIAL PARA LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD MECÁNICA DE DUCTOS EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

El modelo propuesto se basa en las mejores prácticas de la industria y en la normativa internacional de soporte la gestión gerencial y operacional de compañías operadoras de ductos, ajustado a compañías que transportan crudo por ductos sin ser éste, el objeto principal de su negocio productivo.

El modelo gerencial propuesto se limita a la operación de ductos como un ciclo de mejora continua que no contempla las etapas de concepción, diseño, construcción ni abandono de esta infraestructura. Sin embargo, cada compañía operadora podrá adoptar este modelo a cualquier fase del proyecto, considerando de gran importancia que incluso en la concepción del proyecto, se debe considerar la gestión de integridad como una constante hasta el abandono.

Figura 3. Ciclo corporativo de Gestión de Integridad de ductos



## 4.1 ORGANIZACIÓN Y ALCANCE

Toda compañía que tenga dentro de sus variables de negocios la operación de un ducto, debe contar con un esquema de roles y responsabilidades específicamente para la operación de cualquier ducto que transporte producto fiscalizado.

Inicialmente se debe contar con una gerencia de integridad de activos transversal a la compañía que implemente el sistema a todos los activos estáticos siempre diferenciando las operaciones de transporte. Además, todo un esquema de personal experto en Integridad que implemente y gestione el sistema desde la gerencia hasta la operación.

Figura 4. Esquema organizacional de gestión de integridad de ductos



El alcance del sistema de gestión de integridad mecánica de ductos aplica para los siguientes componentes:

- Tubería aérea y enterrada
- Trampas de recibo y despacho de raspadores
- Activos estáticos dentro de las estaciones de bombeo como tanques y tubería

## **4.2 POLÍTICA**

La compañía cuenta con un compromiso permanente con el mantenimiento de un Sistema de gestión de Integridad en ductos y activos asociados en todas sus operaciones durante las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono, en la permanente búsqueda de la minimización del riesgo asociado al transporte de hidrocarburos a su vez, la reducción de los efectos adversos que la operación pueda tener sobre las personas, ambiente, infraestructura y convivencia general de nuestros ductos.

## **4.3 ESTRATEGIA Y OBJETIVOS**

4.3.1 **Estrategia.** La compañía enmarca su estrategia de integridad en un esquema de desarrollo sostenible que enfoque todas las actividades en la prevención de daños e identificación y valoración de riesgos que permitan su gestión efectiva, en concordancia con los requerimientos legales ambientales, normativa nacional e internacional y mejores prácticas aplicables. La divulgación de este sistema de gestión en todas las áreas y niveles estratégicos de la compañía es el respaldo de una gestión eficiente; contar con el apoyo de todas las áreas involucradas hace parte fundamental de la estrategia de gestión de integridad.

Anualmente se revisará la gestión anual, basados en la implementación del sistema y en la determinación de la línea base de integridad para cada ducto y en función de esto, establecer las acciones de mejora.

4.3.2 **Objetivo general.** La compañía establece como objetivo principal minimizar los riesgos a la integridad de sus ductos a través de la implementación y mantenimiento de un sistema de gestión de integridad de ductos.

4.3.3 **Objetivos específicos.** Como apoyo al cumplimiento del objetivo principal y la estrategia corporativa, se establecen los siguientes objetivos específicos:

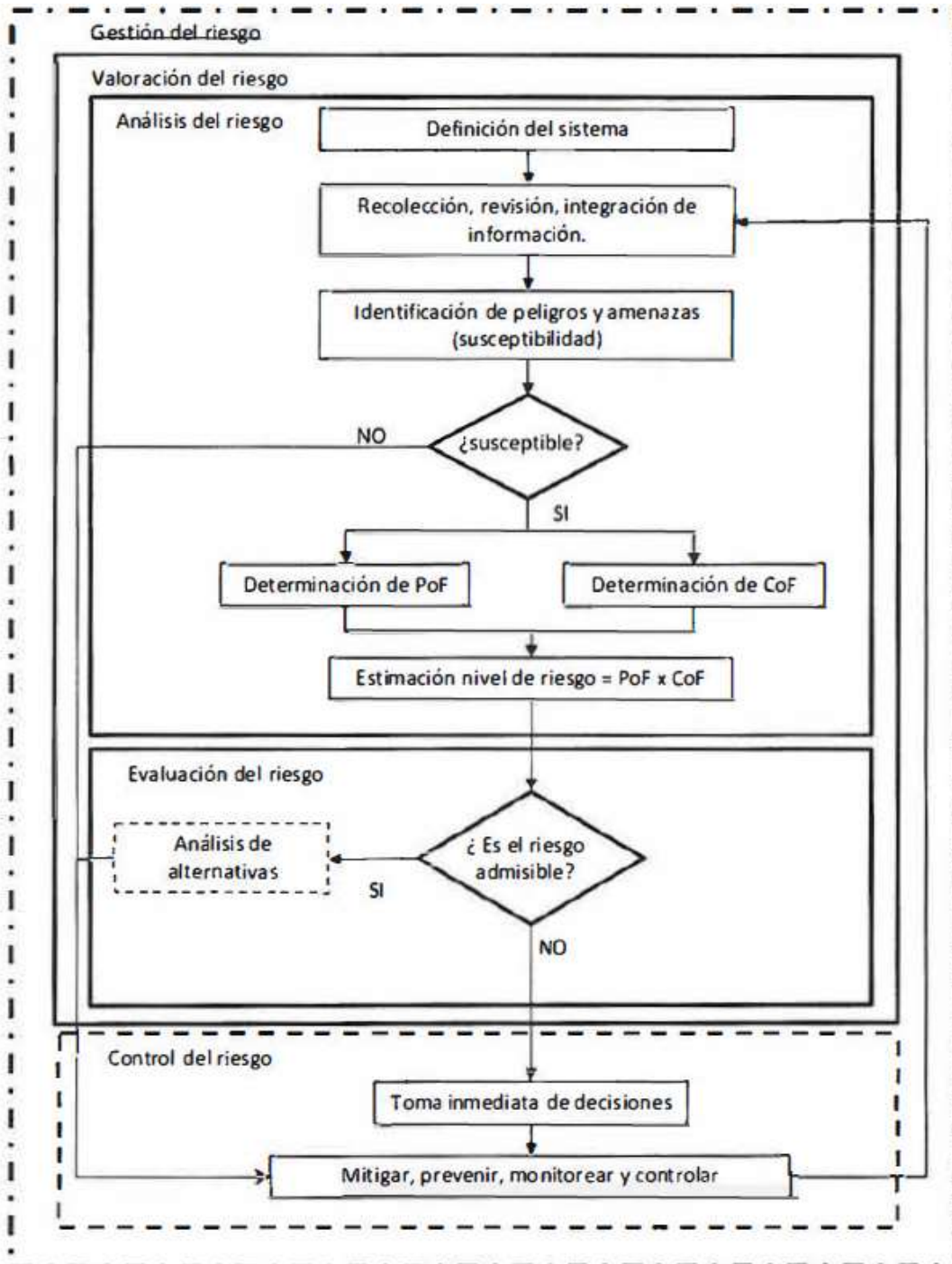
- Promover la participación de la alta gerencia en la definición de hitos y disposiciones de integridad de ductos y manejo del cambio.
- Elaborar documentos, norma, guías, procedimientos que soporten la aplicación del sistema de gestión.
- Implementar mecanismos efectivos de comunicación que permitan a todas las áreas involucrarse efectivamente en la detección de amenazas, áreas de consecuencia y potenciales riesgos a la integridad de ductos operados.
- Establecer indicadores de gestión e indicadores de desempeño que permitan su revisión anual y la valoración de su efectividad.
- Establecer lineamientos para la recolección, manejo y conservación de información de los sistemas de ductos que permita su utilización para seguimiento, análisis de riesgo y mejora continua, en sistemas de información y bases de datos que faciliten su organización y análisis para la toma de decisiones.
- Desarrollar planes de integridad para cada ducto de acuerdo con sus condiciones de operación, longitud, factores de diseño y demás consideraciones distinguibles de cada activo.

#### **4.4 CONTROLES**

Basado en NTC 5901, la compañía acoge una estrategia de control del riesgo, evaluado a través de la matriz de riesgo corporativa siguiendo el proceso descrito en la figura 5. La compañía no acepta la operación de ductos que resulten con un

nivel de riesgo Alto o Muy Alto en alguno de sus segmentos evaluados por Integridad.

Figura 5. Proceso de evaluación del riesgo en ductos.



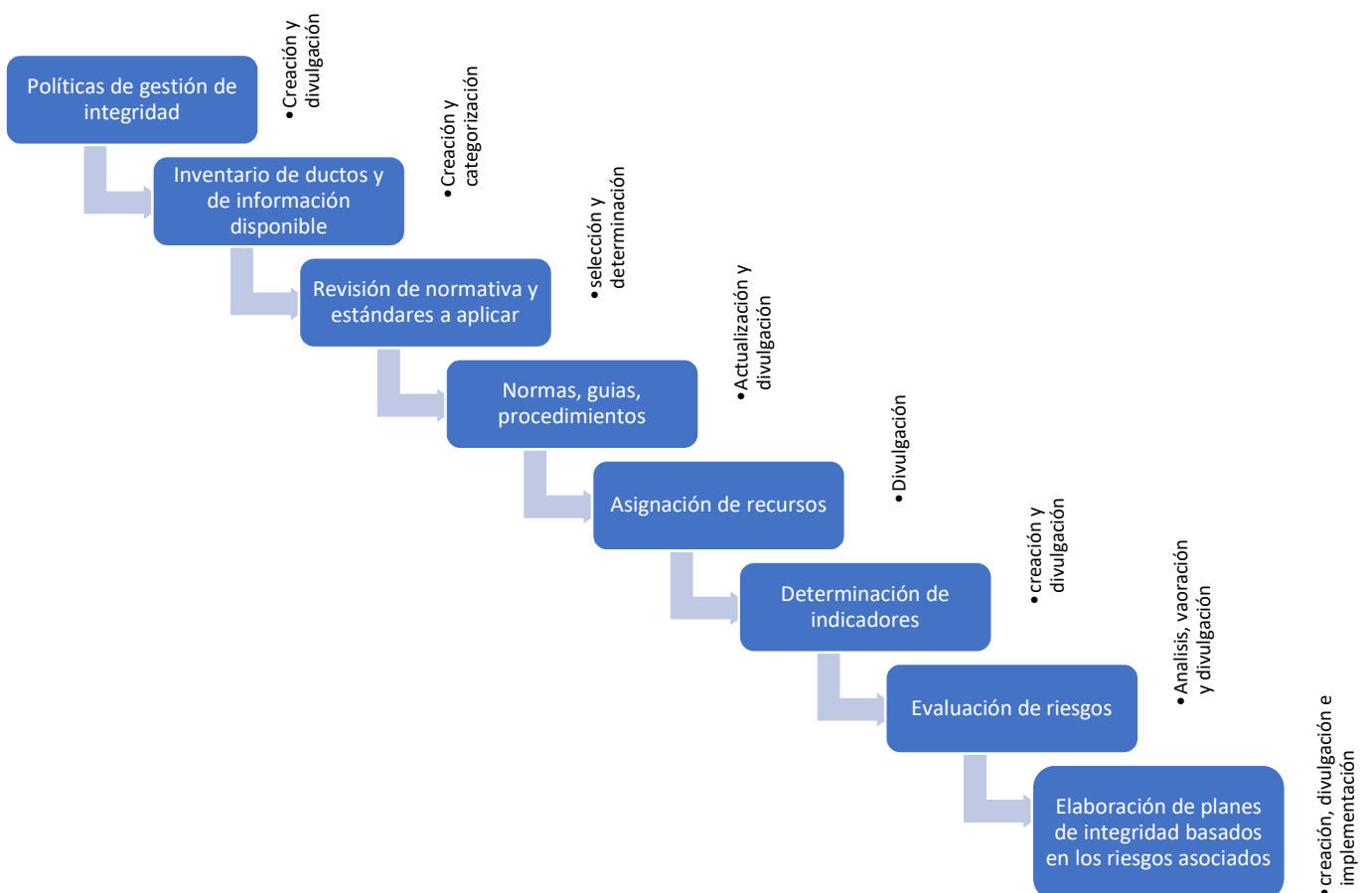
Fuente. NTC 5901

## 4.5 IMPLEMENTACIÓN

La compañía desarrolla un pronóstico de implementación por etapas, que requiere su validación y revisión anual. Esta implementación se inicia una vez se tengan un recurso humano experto y exclusivo para este sistema, tal que dirija, revise y estimule la aplicación del sistema.

La figura 6 resume las etapas de implementación del sistema de gestión de integridad de ductos.

Figura 6. Etapas de implementación del sistema de gestión de integridad de ductos



#### **4.6 MONITOREO Y MEJORA CONTINUA**

Es responsabilidad a nivel de la alta gerencia o alta dirección de revisar el desempeño del Sistema de Gestión de Integridad y decidir las acciones correctivas y preventivas para mejorar su efectividad.

La compañía pone en disposición el procedimiento corporativo de mejora continua para la aplicación dentro del seguimiento al Sistema de gestión de Integridad de ductos, cuyos resultados y oportunidades de mejora se deben analizar e implementar dentro de los siguientes 60 días a dicha revisión.

En este punto del sistema, la compañía evaluará la pertinencia de la organización y metodología implementada, antes de la determinación de cambios importantes en el mismo y/o en la compañía.

## **5. CONCLUSIONES**

En este documento se presenta un marco integrado para la gestión de integridad de ductos a nivel gerencial que posibilite a una compañía productora de petróleo crudo que dentro de sus operaciones tenga el transporte por ducto, la gestión oportuna y cuidadosa para la mitigación del riesgo inherente a la actividad de transporte de líquidos peligrosos por ductos, que a su vez le permita asegurar la aptitud de sus activos para operar en las condiciones necesarias para el negocio dentro de los parámetros de diseño y construcción.

Mediante este trabajo se busca incentivar a las compañías petroleras a comprender que sus ductos son activos que favorecen la continuidad del negocio de producción y la comercialización de su producto; siendo estos una infraestructura con mayor susceptibilidad a diferentes mecanismos de daño con consecuencias superiores a las que se presentan en la cotidianidad de producción.

El apoyo de la alta gerencia es fundamental para implementar y mantener efectivamente un sistema de gestión de integridad de ductos, con la adecuada comunicación y retroalimentación de los beneficios a mediano y largo plazo que conlleva esta gestión.

La gestión de integridad de ductos debe ser considerada dentro de las actividades normales de las operaciones de las compañías de exploración y producción de petróleo dado el impacto que puede tener un incidente relacionado con integridad en la salud de las personas, en el medio ambiente y en la reputación de las empresas.

## BIBLIOGRAFÍA

A.GABBAR, HOSSAM & KISHAWY, H. A. (2011). Framework of pipeline integrity management. International Journal of Process Systems Engineering. 1. 10.1504/IJPSE.2011.041560.

BARRIGA, M. Á. G., & Barrio, E. R. N. (2010). Estudio para la definición de criterios de integridad estructural de ductos sujetos a grandes deformaciones en su cruce con fallas superficiales del terreno.

HERRERA SALAZAR, A. D. (2017). Estudio de la integridad mecánica del ducto de transferencia de petróleo (Universidad Tecnológica Indoamérica).

JUMBO ENRÍQUEZ, L. (2005). Sistema de gestión de la integridad mecánica del Ducto Esmeraldas-Quito (Master's thesis, Quito, Ecuador).

MARTÍNEZ FRÍAS, J.E.; Sánchez Pineda, F.; Gutiérrez López, J. (2011). Sistema de gestión de administración en integridad mecánica y confiabilidad operativa para plataformas marinas fijas. Científica, vol. 16, núm. 1, enero-marzo, 2012, pp. 33-45. México.

OBREGÓN, S., & Eco, A. (2014). Metodología para implementar un sistema de gestión de integridad en ductos de transporte de gas natural.

ROCHA, D. Estudio comparativo en la gestión de integridad mecánica para los ductos a cargo del departamento O&M norte - VIT de Ecopetrol S.A. años 2015 - 2016. UIS. 2017

ZAMBRANO MARTÍNEZ, L. F. (2017). Gestión ambiental programa de integridad de oleoductos.

API 1160. MANAGING SYSTEM INTEGRITY FOR HAZARDOUS LIQUID PIPELINES (2013) API Standard 1160 (ANSI/API STD 1160–2013), November, 3st ed.

NTC 5901. GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE SISTEMAS DE TUBERÍA PARA TRANSPORTE DE LÍQUIDOS PELIGROSOS. 2012. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. [Sitio web]. Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration - <https://primis.phmsa.dot.gov/comm/IM.htm>

CODE OF FEDERAL REGULATIONS. [Sitio web]. [https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title49/49tab\\_02.tpl](https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title49/49tab_02.tpl)

ECOPETROL S.A. [Sitio web]. Transporte ECP. [Consulta: 7 de diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/transporte>

REVISTA PORTAFOLIO. [Sitio web]. Matriz de gasoductos del país. [Consulta: 7 de diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/matriz-de-gasoductos-del-pais-sera-a-doble-via-513694>