

Predicción de Amenazas de Integridad en Ductos del Midstream con Machine Learning

CENIT Logística y Transporte de Hidrocarburos
Calle 113 No. 7 – 80

E.mail: mauro.aldana@cenit-transporte.com – cesar.arias@cenit-transporte.com –
andres.vasquez.externo@cenit-transporte.com
Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

En Colombia, las compañías del sector midstream gestionan una extensa red de oleoductos y poliductos para el transporte de crudo y productos refinados, con un enfoque en la gestión responsable y sostenible. La integridad mecánica de los ductos es esencial para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad operativa, siendo la base de su estrategia de mantenimiento. Esta estrategia se apoya en el análisis de criticidad, modos de falla y planes de mantenimiento específicos para cada activo. Con la implementación de tecnologías avanzadas como machine learning e inteligencia artificial, se busca mejorar la evaluación de la condición de los ductos. A través de la implementación de una herramienta de analítica avanzada que incluye modelos predictivos, se optimizan las tareas de mantenimiento y reparación, reduciendo fallas, costos operativos y mejorando la seguridad de la infraestructura. Esta innovación tecnológica permite una gestión más eficiente de los activos y una toma de decisiones más informada.

Introducción

En Colombia, las compañías del midstream ofrecen soluciones integrales de transporte y logística de hidrocarburos que aseguran una gestión responsable y sostenible hacia sus grupos de interés. Para ello, cuentan con una red de oleoductos cuya extensión es de 4.543 kilómetros para el transporte 1.215 kilo barriles por día (KBPD) de crudo; y una red de poliductos con

3.681 kilómetros de extensión, para el transporte de 519 kilo barriles por día (KBPD) de refinados tales como: Gasolina, JET, Diesel y GLP.

El segmento del midstream tiene un modelo de Gestión de Activos en el cual, la Integridad Mecánica de los ductos, su disponibilidad, confiabilidad, la seguridad de los procesos y la optimización de los activos, son los principales elementos con los cuales se edifica la Estrategia de Mantenimiento de sus activos. Esta estrategia es ajustada para cada activo a partir de su función, de las formas probables en que puede fallar y de los riesgos asociados con los mecanismos de falla.

Una adecuada Estrategia de Gestión de Activos requiere de una Gestión y Ejecución de Mantenimiento bien definidos, que respondan a los requerimientos y objetivos del negocio de transporte. Para esto, la Estrategia de Mantenimiento del midstream se enfoca en el registro adecuado de los activos, que incluye, entre otros, datos técnicos, criticidad y desempeño, los Análisis de Criticidad, Análisis de Modos y Efectos de Fallas, y un Plan de Mantenimiento que habilite la ejecución de la Estrategia.

El segmento del midstream ha detectado la necesidad de contar con herramientas tecnológicas que permitan hacer más eficiente la evaluación de condición del activo lineal. Los procesos referentes al estudio de integridad presentan oportunidades de mejora respecto al modelo ingenieril tradicional con el que se desarrollan las predicciones de daño en la industria de la

integridad de los ductos de transporte. Con la implementación de nuevas tecnologías como el desarrollo de modelos de machine learning, (ML), algoritmos de inteligencia artificial (IA) y capacidades analíticas, se abre toda una nueva era del estudio de integridad de tuberías apalancada por estas capacidades.

En las industrias especializadas se han dado avances tecnológicos importantes en materia de modelos analíticos que pueden ayudar a disminuir la incertidumbre en la evolución de la condición de los ductos, disminuyendo el riesgo y por ende mejorando su desempeño en la infraestructura de transporte de hidrocarburo en Colombia.

Como parte de la definición de una estrategia integral de la Aceleración Digital bajo estándares ágiles, Cenit (*Compañía líder del segmento de Midstream en Colombia*) implementó una **Plataforma Digital de Gestión de Integridad de Ductos**, para la gestión de las amenazas de **corrosión, agrietamiento y bending por geoamenazas** sobre los ductos, que permita la toma de decisiones a partir del procesamiento y análisis de generada desde los sistemas de información de las áreas de negocio, según corresponda: Geomática, mantenimiento, operación y riesgos. Dicha tecnología se enfoca en el mejoramiento continuo de la Gestión de Activos y los procesos que esta direcciona, así como para la Ejecución del Mantenimiento, que lleven a resultados medibles en términos de Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Cumplimiento y óptimo Costo de Ciclo de Vida.

Método

Los mayores retos de amenaza de integridad de ductos que enfrenta la industria del transporte de hidrocarburos son la corrosión, el agrietamiento y el bending strain por las geoamenazas.

El proceso de gestión de integridad de ductos comprende principalmente tres etapas: evaluación,

planeación y ejecución. Este proceso toma como base la información de las inspecciones, diagnósticos, mediciones de campo y estudios específicos, y entrega las acciones por condición para corregir desviaciones a la integridad mecánica de los activos y la valoración general de estas afectaciones, lo cual es entrada para el análisis de las amenazas de integridad y posteriormente la generación de intervención.

Dentro de su práctica de gestión de integridad de ductos, Cenit se apoya en una plataforma digital para ejecutar las planificaciones de evaluación, el monitoreo de amenazas, la gestión de excavaciones, la gestión de riesgos y la gestión de anomalías. Usando el Machine Learning y la ciencia de datos como base, la plataforma aprende de los datos para optimizar los esfuerzos de gestión integridad de los activos lineales.

Dentro de las actividades clave de la gestión de integridad de ductos que se ejecutan dentro de la plataforma digital, se muestra en el siguiente esquema:

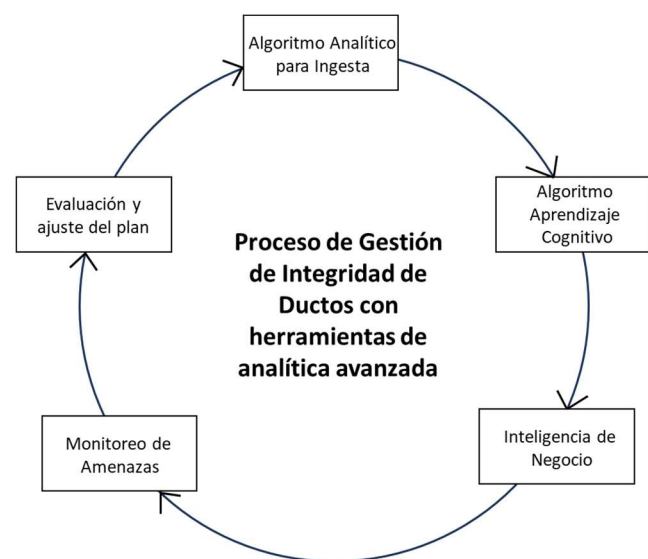


Fig. 1. Proceso de Gestión de Integridad de Ductos con Herramienta de Analítica Avanzada

Algoritmo Analítico para Ingesta de Datos: alineación de conjuntos de datos de integridad, incluyendo los resultados de ILI, CIS y NDE, entre otros, dentro de una base de datos centralizada con la ayuda de Machine Learning.

Volumetría de datos de ductos en CENIT:

- 6500 km de ductos
- 93 tramos
- Línea mas antigua año 1956
- 313 Inspecciones ILI
 - 13 Agrietamiento
 - 45 Geométrico Inerciales
 - 255 Pérdida de metal
- Anomalías detectadas por ILI
 - 3 millones de anomalías pérdida de metal
 - 10 mil anomalías de distorsión de diámetro
 - 15000 grietas
 - 2000 anomalías de Bending Strain
- 3,5 millones de tubos (secciones de 12 metros)
- 600-800 reparaciones mecánicas por año
- 90 cortes y empalmes por año
- 45 corridas ILI por año
- 1600 camisas soldadas tipo B por año
- Entre 10000 a 25000 anomalías mitigadas o reparadas por año

En la figura 2, se muestra un pantallazo del módulo de emparejamiento de datos de integridad de ductos de la herramienta de analítica avanzada, en donde cada banda horizontal representa los datos recolectados en las corridas ILI, para esta línea se tienen 5 corridas ILI, con la información alineada, las juntas alineadas, las anomalías de pérdida de metal, deformaciones de diámetro, grietas, las mitigaciones con la atención por camisas tipo B soldadas, disponible de manera gráfica, se implementaron algoritmos de inteligencia artificial para entender los formatos de los datos, el tipo de coordenadas GPS, las descripciones de las anomalías en diferentes idiomas y de diferentes proveedores de corridas, la IA alinea, estandariza y asegura el dato y aprende con cada nuevo dato que se ingrese a la plataforma, este procesamiento

asegura la ingesta de la información de manera rápida y en una fracción del costo del procesamiento manual.

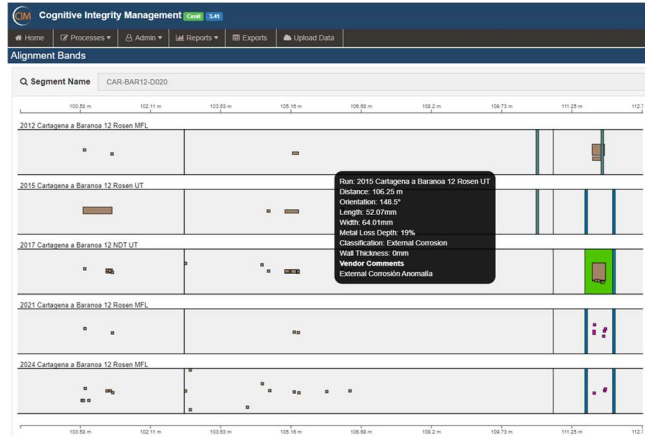


Fig. 2. Pantallazo de Emparejamiento de Datos en la Herramienta de Analítica Avanzada

Algoritmo de Aprendizaje Cognitivos: se usan las capacidades analíticas del aprendizaje automático y la superposición de conjuntos de datos de integridad para evaluar las anomalías y potenciales amenazas. En la figura 3 se muestra la descripción de amenazas, anomalías y su interrelación, analizando datos de:

- Inspección ILI grietas
- Inspección ILI pérdida de metal
- Inspección ILI geométrica inercial
- Inspección ILI materiales
- Inspección ILI axial strain

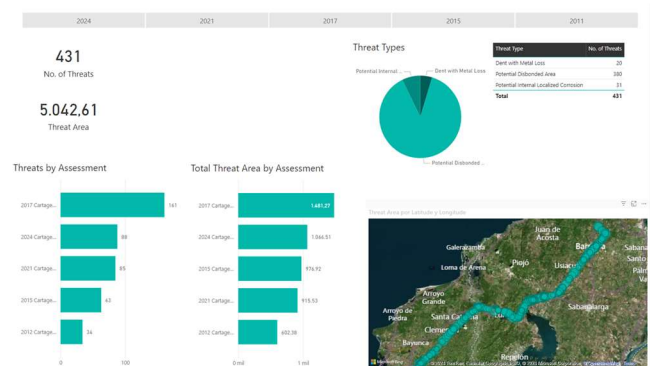


Fig. 3. Pantallazo del módulo de descripción de amenazas, anomalías y su interrelación de la Herramienta Analítica Avanzada de Ductos.

Mediante algoritmos de machine learning, se identifican las amenazas a la integridad preponderantes de una línea, esto se determina por la ubicación, dimensiones, patrones de daño y morfología, de esta manera se identifican sectores susceptibles a fenómenos de corrosión interna externa, agrietamiento como Stress Corrosion Cracking (SCC) y se determinan planes de mitigación específicos por amenaza.

Inteligencia de Negocio (BI): se centralizan en una plataforma única las actividades de planificación, programación y seguimiento de integridad de ductos, que incluye las excavaciones, los intervalos de reevaluación, el trabajo de licitación, entre otros. Para el análisis de la evolución de los mecanismos de daño de la tubería se consideran criterios como:

- Emparejamiento de anomalías
- Determinación de tasas de deterioro
- Interrelación con barreras de protección
- Evaluación de efectividad de barreras

Mediante el uso de Business Intelligence (BI), ver figura 4, se identifica el avance del deterioro en las diferentes anomalías y su relación con las mitigaciones, por ejemplo en la corrosión externa se determinan las tasas de corrosión, su evolución en el tiempo, su cambio a lo largo de la línea, la distribución de la posición horaria de las anomalías, y la influencia de las barreras de la corrosión como la protección catódica, las limpiezas con PIG, para determinar estrategias que mejoren el desempeño de las barreras.

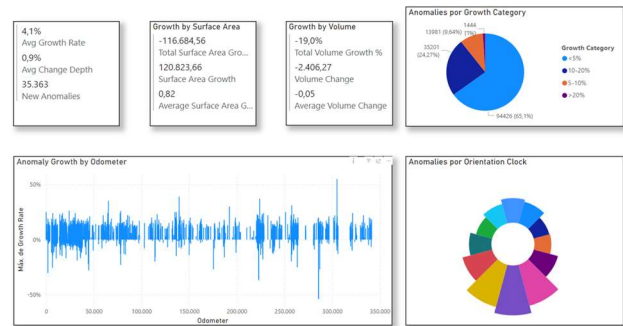


Fig 4. Pantallazo de métricas para el análisis de evolución de los mecanismos de daño de la tubería.

Monitoreo de Amenazas: Mediante la herramienta Analítica Avanzada para Ductos se mantiene la supervisión de la condición de integridad mostrando en un módulo los siguientes parámetros:

- Trayectoria
- Áreas de alta consecuencia
- Material y espesores
- Jutas, válvulas y accesorios
- Perfil topográfico
- Pruebas hidrostáticas
- Límites operacionales
- Ubicación de protecciones
- Señalización
- Postes de kilometraje
- Postes de protección catódica
- Interfases aéreo enterradas

En la figura 5, se muestra la representación digital de la tubería y sus anomalías

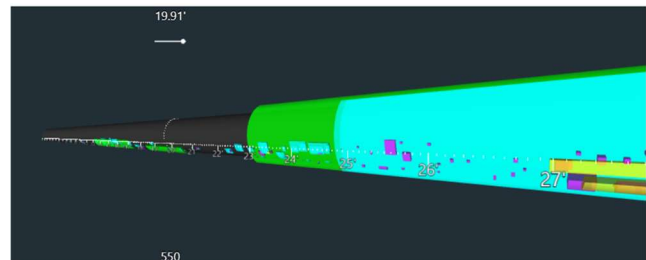


Fig. 5. Representación digital de la tubería y sus anomalías dentro de la Herramienta Analítica Avanza de Ductos.

En la figura 6, se muestra la representación de la tubería en el entorno geográfico, integración con las capas del sistema de información geográfica.



Fig. 6. Representación de la tubería en el entorno geográfico

Monitoreo y ajuste del plan de intervención: La herramienta analítica avanzada de integridad de ductos presentada anteriormente permite conocer la susceptibilidad y agentes detonantes de la condición de amenazas en la tubería, derivada de la interacción con los análisis de información de inspecciones en la infraestructura.

Dicho análisis de deterioro unido al [1] modelo de riesgo, implementado bajo la matriz de riesgo de integridad de CENIT, tiene en cuenta los efectos negativos en términos económicos, sociales, ambientales y de imagen asociados a pérdidas de contención potenciales de los ductos por la materialización de la amenaza.

Los resultados del modelo de valoración junto con la clasificación y descripción de los hallazgos, permiten establecer la priorización de atención más acertada del activo frente a los mecanismos de

daños de corrosión, agrietamiento y bending strain en las tuberías, mediante planes de gestión de mantenimiento optimizados, con los cuales realizan las intervenciones en los sitios indicados que tienen el potencial de generar amenaza a la integridad de los ductos.

Resultados

Resultados clave y visualización en la plataforma digital:

Con el uso de la plataforma digital como parte de su estrategia de mantenimiento, Cenit ha habilitado una gestión más eficiente, precisa y proactiva de sus activos lineales, garantizando una operación segura y manteniéndose a la vanguardia tecnológica de la industria de midstream. A continuación, se listan algunos resultados relevantes:

- Planeación y programación: la plataforma digital permite visualizar escenarios de mantenimiento multianuales para programar y optimizar las inspecciones e intervenciones, según la metodología de mantenimiento actual. También, gestionar los planes de inspección y re-inspección, priorizando con mayor precisión debido al análisis avanzado de datos y evaluaciones de anomalías, asegurando inspecciones oportunas y efectivas. Con la implementación de esta herramienta se proyectan reducciones del 5% en el plan anual de intervenciones.
- Ejecución y supervisión: el monitoreo continuo de la información más reciente recolectada en las mediciones de campo permite la supervisión constante de las condiciones del activo lineal, lo que mejora la seguridad operativa y reduce el riesgo de falla. También, los tableros de visualización del estado de integridad y exposición al riesgo ofrecen una visión

clara y precisa, facilitando la supervisión efectiva en cada etapa del mantenimiento de los activos.

- Análisis de resultados y toma de decisiones: la integración de múltiples fuentes de datos y modelos analíticos habilitan la evaluación y mitigación de amenazas, lo que proporciona información detallada del estado del activo y acompaña la gestión de integridad con recomendaciones para intervenciones críticas. Adicionalmente, la valoración histórica del activo mediante visualización en paralelo de las varias mediciones genera una mayor comprensión de la evolución de las anomalías y permite tomar decisiones informadas para la mitigación de riesgos.

Los tableros de visualización de la plataforma, facilitan la verificación de información procesada y mejoran la comprensión del estado de integridad, facilitando la toma de decisiones de mantenimiento.

- Planeación y objetivos de gestión de activos: la plataforma entrega información para optimizar la planificación mediante análisis predictivos que identifican fallos potenciales previo a su ocurrencia.

Aplicación de gestión de activos: La propuesta de soporte bajo la modalidad SaaS ha habilitado la transferencia de conocimiento y capacitación continua del personal, para mantenerlos actualizado con los últimos modelos analíticos y mejores prácticas de uso con base las condiciones más actualizadas del software.

- Generación de valor de los activos: La automatización de la captura y consolidación de datos incrementan la confiabilidad y seguridad del sistema de

activos, generando un valor sostenible para la empresa.

Otros beneficios identificados son:

- Focalizar los recursos en los sitios que tienen las condiciones más severas
- Aumentar la confiabilidad del activo por un mejor conocimiento de la condición
- Llevar los activos a extraer el máximo de su capacidad de manera segura
- Equilibrar la capacidad de ejecución de los contratos de mantenimiento
- Visualizar estrategias de ejecución a largo plazo

REFERENCIAS

[1] Jefatura Desempeño de Líneas, “PLAN DE CONSERVACIÓN DE LOS ACTIVOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS DE CENIT”. 2024



8º CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23
MAYO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento

27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

Esp. Mauro Enrique Aldana Lombo, ingeniero químico, especialista en Gestión de Integridad y Corrosión con 15 años de experiencia en la industria del petróleo y gas. Tiene una sólida experiencia en la gestión de la integridad de ductos, la evaluación de riesgos y la gestión de la corrosión. Tiene experiencia en el uso de varios programas de software para la gestión de la integridad de ductos, incluidos ArcGIS, Google Earth y PODS. También tiene experiencia en la realización de inspecciones de ductos y la evaluación de defectos. Actualmente trabaja como ingeniero de confiabilidad e integridad en CENIT Transporte y Logística de Hidrocarburos. Certificaciones: Inspector de Recubrimientos de NACE, Inspector de Construcción de Ductos API 1169.

Móvil: (+57) 315 3355034

Dirección: Calle 113 # 7-80 Piso 13 Torre AR, Bogotá, Colombia

e-mail: mauro.aldana@cenit-transporte.com

MSc. Cesar Augusto Arias Cijanes, Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación, Maestría en Inteligencia Artificial, Maestría en Controles Industriales. Especialista en Gestión de Proyectos Tecnológicos con 15 años de experiencia en la planificación, ejecución y supervisión de iniciativas digitales analíticas avanzadas y de automatización en el sector Oil&Gas. Experiencia en diseño de Roadmap Tecnológico de Transformación Digital e Inteligencia Artificial aplicado a soluciones empresariales a nivel estratégico, táctico y operativo. Experiencia en implementación de soluciones innovadoras, optimización de procesos y la gestión de equipos multidisciplinarios para garantizar el éxito de los proyectos tecnológicos. Conocimiento técnico en

procesos de Oli&Gas, en metodologías ágiles y tradicionales, así como en la alineación de proyectos tecnológicos con objetivos estratégicos empresariales.

Móvil: (+57) 312 3698636

Dirección: Calle 113 # 7-80 Piso 13 Torre AR, Bogotá, Colombia

e-mail: cesar.arias@cenit-transporte.com

Esp. Andres Vasquez Lizarazo, MBA y Especialista en Liderazgo y Gestión de Proyectos, con amplia experiencia en inteligencia artificial, analítica avanzada y gestión de datos aplicados a la transformación digital. Experto en la industria de Oil & Gas, con más de 10 años liderando equipos interdisciplinarios en proyectos estratégicos de alto impacto. Dominio en la gestión de proyectos tecnológicos, implementación de soluciones digitales en múltiples tecnologías (Microsoft power platform, azure, SAP entre otros), soluciones en la nube, IOT, Big Data y estadísticas avanzadas para la optimización operativa y la toma de decisiones basadas en datos. Habilidad para dirigir, planear y desarrollar proyectos de diversos tipos especialmente analítica e inteligencia artificial, alineando iniciativas digitales con los objetivos corporativos.

Móvil: (+57) 310 3422521

Dirección: Calle 113 # 7-80 Piso 13 Torre AR, Bogotá, Colombia

e-mail: andres.vazquez.externo@cenit-transporte.com