



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



PipeNesis™.AI (Integridad de Tuberías 4.0): Marco Unificado para la Gestión Predictiva de la Integridad de Tuberías Mediante Inteligencia Artificial

Diego Andrés Sarmiento Carvajalino
Royal Integrity S.A.S. – Canadá / Colombia
Joseph Fabricio Vergel Becerra
Royal Integrity S.A.S. – Colombia
Manuel Arévalo
Royal Integrity S.A.S. – Colombia

Resumen

Este artículo presenta una novedosa integración de grandes modelos de lenguaje para la estructuración automatizada de datos, aprendizaje automático basado en la física para el modelado predictivo del crecimiento de anomalías y evaluaciones de FFS multinivel dentro de un flujo de trabajo único y unificado. A diferencia de las herramientas aisladas existentes, esta metodología de "cumplimiento por diseño" codifica programáticamente las normas de ingeniería (API, ASME) directamente en el proceso analítico, creando un sistema totalmente trazable, auditable y predictivo que representa un avance significativo con respecto a las prácticas actuales del sector.

La estructura comienza con un motor unificado de ingesta de datos que utiliza modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) y reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para analizar, estandarizar y alinear espacialmente fuentes de datos heterogéneas (ILI, GIS, PDF, etc.) en un único modelo de activos digitales. Los algoritmos de aprendizaje automático supervisados detectan y clasifican las anomalías. El sistema ejecuta programáticamente evaluaciones de aptitud para el servicio (FFS) de nivel 1 y 2 según las normas API 579-1/ASMEFFS-1 y ASME

B31G. Para defectos complejos, genera sin problemas entradas para simulaciones FEA/CFD de nivel 3 dentro de la plataforma.

Oportunidad

La gestión de la integridad de tuberías constituye un elemento crítico para garantizar la seguridad operativa, la continuidad del servicio y la protección del valor de los activos en los sectores de transporte de hidrocarburos y energía. No obstante, los enfoques tradicionales de integridad se caracterizan por una alta dependencia de procesos manuales, herramientas aisladas y análisis secuenciales que dificultan la integración efectiva de grandes volúmenes de información técnica.

La creciente disponibilidad de datos provenientes de inspecciones en línea (ILI), sistemas de información geográfica (GIS), reportes históricos, hojas de cálculo y documentación técnica en formato no estructurado ha generado un entorno donde la capacidad de análisis no crece al mismo ritmo que la cantidad de información disponible. Esta situación produce cuellos de botella analíticos, retrasos en la evaluación de condiciones críticas y una utilización ineficiente de los recursos técnicos disponibles.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Adicionalmente, la interpretación manual de los datos introduce variabilidad entre analistas, lo cual impacta la consistencia de las evaluaciones de integridad y dificulta la trazabilidad técnica requerida para auditorías regulatorias y procesos de toma de decisiones basados en riesgo. En este contexto, se identifica una oportunidad clara para evolucionar hacia marcos de gestión de integridad más integrados, predictivos y alineados con los principios de la gestión moderna de activos.

Objetivos

Objetivo general:

Demostrar una metodología de automatización de proceso integral mediante el uso de la herramienta PipeNesis™.AI, diseñada para abordar y superar los desafíos críticos de la gestión moderna de la integridad de las tuberías eliminando los cuellos de botella analíticos, para transformar la gestión de activos, logrando una transición efectiva hacia una gestión de activos predictiva basada en el riesgo, mediante la integración sinérgica de IA, simulación avanzada y cumplimiento de estándares regulatorios en una plataforma única y cohesiva.

Objetivos específicos:

1. Integrar múltiples fuentes de datos de integridad y operación.
2. Detectar anomalías con alta precisión en tiempo real.
3. Ejecutar análisis predictivos de falla y pronóstico de riesgo.
4. Automatizar flujos de análisis y generación de reportes de cumplimiento.
5. Mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad técnica.

Metodología

La metodología propuesta se implementa a través de la plataforma PipeNesis™.AI y se fundamenta en un flujo de trabajo digital unificado que integra automatización, inteligencia artificial y estándares de ingeniería dentro de un entorno único y trazable.

Ingesta y estructuración de datos:

El proceso inicia con la ingesta de información proveniente de inspecciones en línea (ILI), sistemas GIS, reportes técnicos en formato PDF y bases de datos históricas. Mediante el uso de modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) y tecnologías de reconocimiento óptico de caracteres (OCR), la información es interpretada, estructurada y normalizada, permitiendo su integración dentro de un modelo digital coherente del activo.

Detección y clasificación de anomalías:

Una vez estructurados los datos, se aplican algoritmos de aprendizaje automático supervisado para la detección y clasificación de anomalías relevantes para la integridad del sistema.

Evaluaciones de Aptitud para el Servicio (FFS):

El marco propuesto ejecuta de forma programática evaluaciones de Aptitud para el Servicio (FFS) de Nivel 1 y Nivel 2 conforme a las normas API 579-1/ASME FFS-1 y ASME B31G.

Enfoque predictivo y basado en riesgo:

La integración de modelos predictivos basados en la física permite proyectar el crecimiento de anomalías y evaluar escenarios futuros de integridad. Este enfoque habilita la transición desde una gestión reactiva hacia una gestión predictiva basada en riesgo, apoyando la



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



planificación de mantenimiento y la toma de decisiones informadas.

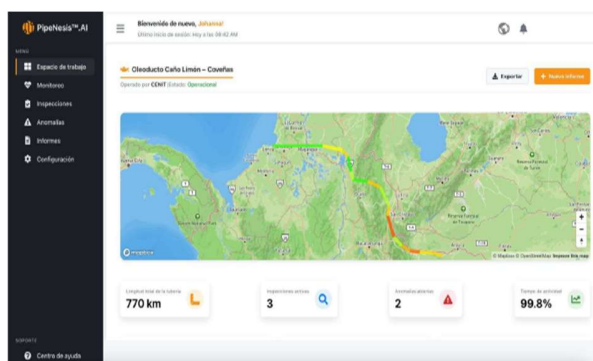


Fig. 1. Visualización geoespacial del activo y detección de anomalías.

La aplicación del marco propuesto permite incrementos medibles en el valor del activo, reducción del riesgo operativo y mejoras significativas en eficiencia. La automatización del análisis reduce la carga operativa de los equipos de ingeniería, mejora la capacidad de respuesta ante eventos y habilita ahorros potenciales significativos asociados a la prevención de fallas catastróficas, especialmente en sistemas de gran extensión.

La combinación de detección de anomalías de alta precisión, analítica predictiva y visualización geoespacial posiciona a PipeNesis™.AI como un habilitador de la integridad de tuberías 4.0. El enfoque de cumplimiento integrado y la trazabilidad de los análisis permiten superar las limitaciones de los modelos reactivos, fortaleciendo la gestión de riesgos y la gobernanza del activo en entornos complejos y regulados.



Fig. 2. Mapa de sensibilidad del riesgo en función de la longitud del ducto y la probabilidad de evento.

PipeNesis™.AI consolida un enfoque integral para la gestión predictiva de la integridad de tuberías, alineando tecnología, ingeniería y cumplimiento regulatorio. La plataforma contribuye a la reducción de riesgos, optimización de recursos y protección del valor del activo, constituyéndose en una herramienta estratégica para la transformación digital de la gestión de activos.

Hoja de Vida

Diego Andrés Sarmiento Carvajalino: Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad el Bosque, Maestría en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos de la Universidad de Viña del Mar y Maestría en Energías Renovables de la Universitat de Barcelona con más de 15 años de experiencia en áreas de integridad, gestión de activos en Oil&Gas.

Joseph Fabricio Vergel Becerra: Físico Puro de la Universidad Industrial de Santander (UIS) con Maestría en Física de la Universidad de Antioquia (UDEA) con más de 10 años de



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



experiencia diseñando y construyendo arquitecturas de datos escalables, pipelines distribuidos y sistemas de análisis para IA y automatización empresarial. Especializado en Ingeniería de Datos, Infraestructura de Aprendizaje Automático y Cloud Data Pipelines (GCP), liderando equipos de ciencia de datos y desarrollo backend enfocado en la resolución de problemas en diversos sectores industriales.

Manuel Arévalo: Ingeniero Electrónico con Especialización en Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS), con enfoque profesional en el desarrollo de software FullStack y la construcción de plataformas digitales orientadas a ingeniería, analítica avanzada e inteligencia artificial. Cuenta con experiencia en el diseño, desarrollo e integración de aplicaciones web, participando en la definición de arquitecturas de software, desarrollo de interfaces FrontEnd y articulación con servicios BackEnd y modelos analíticos. Ha trabajado con tecnologías web modernas, contribuyendo a soluciones escalables, seguras y centradas en el usuario. Actualmente se desempeña como Desarrollador Middle, participando en la implementación de sistemas digitales que soportan automatización de procesos, visualización de datos, trazabilidad técnica y flujos predictivos, alineados con estándares de ingeniería, cumplimiento normativo y transformación digital de la gestión de activos.

REFERENCIAS

[1] API 579-1 / ASME FFS-1, Fitness-For-Service.

[2] ASME B31G, Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines

[3] ISO 55000, Asset Management.

[4] Guías de analítica predictiva y gemelos digitales aplicados a integridad de activos.

NOTA

Para facilitar el contacto con los autores de trabajo se hace necesario suministrar al final del trabajo los siguientes datos:

1. Nombre del autor(es)
Diego Andrés Sarmiento Carvajalino
Joseph Fabricio Vergel Becerra
Manuel Fernando Arévalo Navarro
2. Teléfono
 - a. Residencia N/A
 - b. Oficina N/A
 - c. Celular: +18259945989 / 3188880835 (Diego), 3187042914 (Joseph), 3002413760 (Manuel)
3. Dirección del autor(es)
 - a. Residencia: N/A
 - b. Oficina: Cra 13A#104-32 of. 201
 - c.E.mail: info@royalintegrity.com.co
 - d. Ciudad: Bogotá D.C.
 - e. País: Colombia