



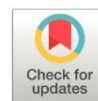


Propuesta de transformación hacia la Industria 4.0 del monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques reservorios de crudo en Ecuador

Proposal for the transformation towards Industry 4.0 of the monitoring, maintenance and inspection of oil reservoir tanks in Ecuador

- ¹ Lando Stephen Ocaña Pañora  <https://orcid.org/0000-0002-4748-5282>
Università della Calabria, Consenza, Italia.
landostephen@gmail.com
- ² Juan Carlos Chiza Llambo  <https://orcid.org/0009-0007-8495-116X>
Unidad Educativa Ecuatoriano Holandés, Ambato, Ecuador.
carloschiza78@gmail.com
- ³ Santiago Efrain Tibanquiza Chuncho  <https://orcid.org/0009-0006-3360-4777>
Università della Calabria, Consenza, Italia.
santiagotibanquiza@gmail.com
- ⁴ Geovanny Patricio Moreno Garzón  <https://orcid.org/0009-0002-7921-3609>
Investigador Independiente, Latacunga, Ecuador.
geo-jf-0033@live.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 14/12/2024

Revisado: 18/01/2025

Aceptado: 14/02/2025

Publicado: 28/02/2025

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.585>

Cítese:

Ocaña Pañora, L. S., Chiza Llambo, J. C., Tibanquiza Chuncho, S. E., & Moreno Garzón, G. P. (2025). Propuesta de transformación hacia la Industria 4.0 del monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques reservorios de crudo en Ecuador. AlfaPublicaciones, 7(1.1), 49–73. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i1.1.585>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Palabras claves:

Industria 4.0, IoT,
Robótica,
Mantenimiento,
Monitoreo

Resumen:

Introducción. La industria petrolera en Ecuador debe transicional la forma de monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques de crudo. Mediante la Industria 4.0, con IoT, IA y sensores inteligentes, se mejora eficiencia y reduce costos. No obstante, existen brechas tecnológicas y económicas de implementación. Se propone un modelo para modernizar y optimizar estos procesos. **Objetivo.** Plantear los requerimientos técnicos y tecnológicos necesarios para la evolución de los procesos de monitoreo, inspección y mantenimiento en los tanques de crudo en la industria petrolera en Ecuador en Ecuador hacia un modelo basado en los principios de la Industria 4.0, con el fin de optimizar la eficiencia operativa, reducir riesgos ambientales y mejorar la sostenibilidad. **Metodología.** El modernizar el monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques de crudo hacia Industria 4.0 con IoT, drones y sistemas ciberfísicos normados incluye análisis diagnóstico, definición de requisitos, diseño tecnológico, pruebas piloto y evaluación de impacto. **Resultados.** El sistema físico y ciberfísico de la Industria 4.0 integra sensores IoT, robots, drones y tecnologías avanzadas. Estimado una inversión de \$196,000, con la que se optimiza eficiencia, seguridad y costos operativos, dentro de estándares globales y garantizando sostenibilidad a largo plazo. **Conclusión.** La implementación de tecnologías de la Industria 4.0 para el monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques reservorios de crudo es factible en industrias petroleras de Ecuador, ya que, con una inversión inicial de \$196,000, se podría optimizan costos, aumentan la seguridad en operarios y ofrecer un alto retorno de inversión a largo plazo. **Área de estudio general:** Industria y tecnología. **Área de estudio específica:** Industria 4.0, Oil & Gas. **Tipo de estudio:** Artículo original.

Keywords:

Industry 4.0, IoT,
Robotics,
Maintenance,
Monitoring

Abstract

Introduction. The oil industry in Ecuador needs to change the way it monitors, inspects and maintains crude oil tanks. Industry 4.0, with IoT, AI and smart sensors, improves efficiency and reduces costs. However, there are technological and economic implementation gaps. A model is proposed to modernise and optimise these processes. **Objective.** To propose the technical and technological requirements necessary for the evolution of

monitoring, inspection and maintenance processes in crude oil tanks in the oil industry in Ecuador towards a model based on the principles of Industry 4.0, to optimise operational efficiency, reduce environmental risks and improve sustainability. **Methodology.** Modernising crude oil tank monitoring, inspection and maintenance towards Industry 4.0 with IoT, drones and standardised cyber-physical systems includes diagnostic analysis, requirements definition, technology design, pilot testing and impact assessment. **Results.** The physical and cyber-physical Industry 4.0 system integrates IoT sensors, robots, drones and advanced technologies. Estimated investment of \$196,000, optimizing efficiency, safety and operating costs, within global standards and ensuring long-term sustainability. **Conclusion.** The implementation of Industry 4.0 technologies for the monitoring, inspection and maintenance of crude oil reservoir tanks is feasible in Ecuador's oil industries, as, with an initial investment of \$196,000, it could optimize costs, increase operator safety and offer a high return on investment in the long term. **General Area of Study:** Industry and technology. **Specific area of study:** Industry 4.0, Oil & Gas. **Type of study:** Original article.

1. Introducción

La industria del petróleo y gas en Ecuador se enfrenta a desafíos importantes cuando se trata de optimizar sus procesos de producción. Uno de los puntos críticos es el monitoreo, inspección y mantenimiento de los tanques de almacenamiento de crudo, tareas que, si no se gestionan adecuadamente, pueden generar ineficiencias y costos elevados. Sin embargo, en medio de estos retos, surge una oportunidad clara: la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 para simplificar los procesos, mejorar la eficiencia operativa y reducir costos de manera significativa. Los tanques de almacenamiento de crudo juegan un papel fundamental en la cadena de producción petrolera. Son, en esencia, los grandes contenedores que guardan el petróleo de manera temporal antes de que este sea procesado o enviado a su destino final. Y como tal la corrosión y la acumulación de sedimentos pueden poner en riesgo su integridad, lo que, a su vez, podría retrasar las operaciones de producción. Por eso, resulta clave contar con programas de inspección y mantenimiento bien diseñados y ejecutables junto con la aplicación normativas afines, como el API 653 y

el API 581, además metodologías avanzadas como la Inspección Basada en Riesgos (IBR), ofrece una manera eficaz de evaluar la susceptibilidad a la corrosión (Rojas, 2020).

Cuando se trata de monitorear la producción de crudo en los tanques, es fundamental contar con mediciones precisas de los niveles y volúmenes para gestionar de manera eficiente el proceso. En la guía para ingenieros sobre medición de tanques de Emerson, se subraya la relevancia de emplear sistemas de medición avanzados que ofrezcan datos en tiempo real (Hägg & Sandberg, 2021). La limpieza de los tanques de almacenamiento es un punto clave para asegurar la calidad del crudo y mantener la capacidad de almacenamiento en óptimas condiciones. Con el tiempo, la acumulación de sedimentos puede disminuir el espacio útil dentro del tanque y elevar el riesgo de corrosión, es por la importancia de aplicar correctamente las técnicas para la limpieza de tanques de crudo, siguiendo procedimientos que reduzcan al mínimo los riesgos tanto ambientales como operativos (Santacruz, 2024). La adopción de tecnologías propias de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), ha transformado por completo el monitoreo en el sector petrolero. El IoT para inspeccionar tanques mediante sensores inteligentes permiten monitorear la presión, la temperatura y el nivel de corrosión. Estas herramientas permiten recopilar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real, haciendo posible anticipar fallos y planear estrategias de mantenimiento preventivo, lo que se traduce en una mayor eficiencia y reducción de costos operativos (Chasipanta & Corrales, 2023).

Por otro lado, se han hecho estudios recientes sobre el uso de ultrasonidos para eliminar los sedimentos que se acumulan en los tanques. Esta técnica ha demostrado ser bastante eficiente y, además, es más amigable con el medio ambiente, lo que la convierte en una opción interesante (Castro & Castillo, 2024). En Ecuador, la adopción de estas tecnologías no ha sido fácil. Hay desafíos como la falta de infraestructura digital y la necesidad de ajustar las soluciones tecnológicas a las condiciones propias del país. Aun así, el interés por la transformación digital en la región está creciendo, lo que abre la puerta a nuevas oportunidades para avanzar hacia la Industria 4.0. En otros países, el cambio hacia este tipo de procesos en el monitoreo, inspección y mantenimiento del petróleo y gas ya ha dado resultados importantes. En Argentina, IoT y IA son usadas para hacer que las operaciones sean más eficientes, mejorar la toma de decisiones rápidas y precisas en tiempo real (Basco et al., 2018). En todo el mundo, la industria del petróleo y gas está cambiando gracias a la transformación digital. Se están usando sistemas ciberfísicos y análisis de grandes volúmenes de datos (big data) para monitorear y controlar mejor los procesos. Esto permite que las operaciones sean más flexibles y se adapten más rápido a los cambios. Además, estas tecnologías ayudan a detectar problemas antes de que se agraven y a planear mantenimientos de manera más inteligente, evitando paradas costosas (Belman et al., 2020). En Europa algunas de las empresas más importantes están usando inteligencia artificial para ser más productivas y eficientes. Un buen ejemplo son Indra,

Baker Hughes, Repsol, SBL mencionando las más importantes ha logrado mejorar su eficiencia energética gracias a la transición a la industria 4.0 (Velasco, 2024).

1.1. Análisis macro de la evolución hacia la industria 4.0 en la industria del petróleo y gas

En todo el mundo, la industria del petróleo y gas está cambiando gracias a las tecnologías de la Industria 4.0. Este cambio tiene como objetivo hacer que las operaciones sean más eficientes, reducir costos y minimizar el daño al medio ambiente. La digitalización y la automatización son ahora claves para lograr estos objetivos (Trávez et al., 2024b). Según un informe de *Mordor Intelligence*, se espera que el mercado de transformación digital en la industria del petróleo y gas siga creciendo a un ritmo del 9,5% anual hasta 2028. Esto muestra que cada vez se invierte más en tecnologías digitales para hacer que las operaciones sean más eficientes y para tomar decisiones más acertadas (Mordor Intelligence, 2023). La adopción de la Industria 4.0 no es igual en todas partes. En países con economías fuertes y políticas que fomentan la innovación, el avance ha sido más rápido. Sin embargo, en naciones en desarrollo, los desafíos son mayores, ya que a menudo faltan recursos para invertir y capacitar al personal en estas nuevas tecnologías (Cabanillas & Murillo, 2023). Un buen ejemplo de esto es cómo se está usando la IA en la Cuenca de Sichuan, en China. Allí, las empresas han logrado aumentar mucho la producción de petróleo y bajar los costos de operación gracias a tecnologías avanzadas. La IA les ayuda a saber dónde perforar para obtener más petróleo, controlar mejor los equipos de forma remota y reducir las emisiones de gases contaminantes usando sistemas automatizados (Rivera & Nauzan, 2022).

1.2. Análisis meso de la evolución hacia la industria 4.0 en la industria del petróleo y gas en américa latina

En américa latina el uso de tecnologías de la Industria 4.0 en el sector del petróleo y gas todavía está empezando. Algunos países ya están probando proyectos piloto y trabajando con universidades para ver cómo pueden usar cosas como sistemas ciberfísicos, IoT y el análisis de datos en sus operaciones. Sin embargo, la región todavía tiene varios retos por delante (Guerras, 2024). Uno de los mayores problemas es que no hay una infraestructura digital suficiente y que muchas personas se resisten a cambiar las formas tradicionales de hacer las cosas. Para avanzar más rápido, es clave que los países trabajen juntos y compartan lo que saben, así como las mejores prácticas que se ajusten a las necesidades específicas de la región. Un ejemplo de avance en la región es el proyecto de la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP) en Chile, que ha realizado proyectos basados en hidrógeno verde (Góngora & Bannura, 2021). Este proceso, que ya se emplea en Europa y Estados Unidos, busca reducir los seis principales gases de la huella de dióxido de carbono en comparación con los combustibles tradicionales (Cornejo, 2024). Este proyecto refleja un

esfuerzo por parte de la industria petrolera chilena para innovar y adoptar prácticas más sostenibles, alineándose con las tendencias de la Industria 4.0.

1.3. Análisis micro de la evolución hacia la industria 4.0 en la industria del petróleo y gas

En el mundo de los negocios del sector de petróleo y gas, se está adoptando cada vez más la tecnología de la Industria 4.0. Esto se ve en cosas como mejorar cómo se monitorean, inspeccionan y limpian los tanques de crudo. Las empresas están metiendo mano a herramientas como sensores inteligentes, análisis de datos al instante y robots que funcionan solos. Todo esto con el fin de bajar costos y hacer que todo sea más seguro (Encalada et al., 2018). Un buen ejemplo de esto es cómo se usan sensores IoT para vigilar la estructura de los tanques donde se guarda el crudo. Estos sensores recogen datos importantes, como la presión, la temperatura y si hay corrosión, lo que ayuda a actuar rápido si algo no anda bien. Empresas como Shell y Chevron ya están usando estas tecnologías en sus plantas, y gracias a eso han logrado reducir mucho el tiempo que pasan sin operar y también el riesgo de accidentes (Bello, 2021). Además, con el análisis de datos usando Inteligencia Artificial (IA), ahora se pueden predecir fallas y programar mantenimientos antes de que algo se descomponga. Esto ayuda a evitar problemas mayores y a mantener todo funcionando sin sorpresas (Trávez et al., 2024a). Por ejemplo, Petrobras ha implementado modelos predictivos que utilizan datos históricos y en tiempo real para determinar el momento óptimo para realizar mantenimientos, reduciendo costos operativos en un 15% y aumentando la vida útil de los equipos (Hung, 2009). En cuanto a la limpieza de tanques de crudo, se están utilizando robots autónomos que reemplazan métodos tradicionales manuales. Estos robots mejoran la eficiencia del proceso y la exposición de los trabajadores a ambientes peligrosos.

1.4. Monitoreo e implementación de IoT en la industria del petróleo y gas

El uso del IoT para monitorear procesos industriales ha cambiado por completo la forma en que se manejan las operaciones en la industria del petróleo y gas. Un área donde esto se nota especialmente es en la supervisión de los tanques de almacenamiento de crudo. Gracias a esta tecnología, ya no nos limitamos a reaccionar ante los problemas, sino que ahora podemos anticiparlos y actuar antes de que ocurran, lo que ha marcado un gran paso hacia métodos más predictivos y proactivos.

1.5. Beneficios del monitoreo con IoT

Recolección de datos en tiempo real, detección temprana de anomalías y optimización de recursos. Los sensores IoT instalados en los tanques de almacenamiento recogen información crucial, como los niveles de llenado, la temperatura, la presión y el estado de la corrosión, todo en tiempo real. Estos datos se envían a sistemas centrales que permiten

analizarlos al instante y tomar decisiones más informadas y rápidas (Valdéz et al., 2024). Gracias al análisis de datos en tiempo real, los sistemas IoT son capaces de detectar irregularidades que podrían señalar fallos, fugas o problemas estructurales antes de que se conviertan en algo grave. Esta capacidad reduce el riesgo de accidentes serios y garantiza que las operaciones sigan funcionando sin interrupciones (Roa, 2024). La integración del IoT permite monitorear de manera remota y constante, lo que reduce la necesidad de hacer inspecciones físicas tan frecuentes. Esto no solo ayuda a ahorrar costos, sino que también hace que los trabajadores estén más seguros, ya que se minimiza su exposición a entornos de alto riesgo (Lara, 2024).

1.6. Ejemplos de implementación de IoT

Royal Dutch Shell y Saudi Aramco. Han instalado una red de sensores IoT en sus terminales de almacenamiento, los cuales están conectados a plataformas en la nube. Estos sensores monitorean parámetros críticos y envían alertas automáticas al equipo técnico si detectan alguna irregularidad. Esto ha permitido reducir el tiempo de respuesta ante emergencias, mejorando la eficiencia y la seguridad (Das, 2022). La empresa usa dispositivos IoT avanzados para monitorear la corrosión en tiempo real dentro de sus tanques de almacenamiento. Gracias a este enfoque, han logrado reducir un 20% los costos de reparaciones imprevistas y, al mismo tiempo, han extendido la vida útil de los tanques, lo que representa un gran avance en eficiencia y ahorro (Patwardhan et al., 2019).

Desafíos de la implementación: infraestructura, seguridad cibernética y monitoreo de tanques de crudo con drones.

En regiones con conectividad limitada, como ciertas áreas de América Latina, la implementación de redes IoT requiere una inversión significativa en infraestructura. La conectividad de los sistemas IoT, aunque muy útil, también abre la puerta a posibles vulnerabilidades cibernéticas. Si no se gestionan de manera adecuada, estas debilidades podrían poner en riesgo datos sensibles o incluso interrumpir operaciones críticas, lo que representa un desafío importante que debe abordarse con cuidado (Vera, 2024). Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores térmicos se están usando cada vez más para inspeccionar visualmente los tanques de almacenamiento de crudo. Estos dispositivos permiten detectar de manera temprana posibles fugas, corrosión y otros daños estructurales, sin necesidad de que los inspectores tengan que subir físicamente a los tanques.

Inspección visual y térmica. Los drones con cámaras térmicas y fotográficas pueden revisar la superficie de los tanques para identificar puntos calientes, que podrían ser señales de problemas como fugas de vapor o combustible. Esta tecnología permite detectar anomalías de manera rápida y segura, sin necesidad de que el personal tenga que acceder físicamente a áreas de riesgo (Navarro, 2024).

Mapeo y análisis estructural limpieza de tanques de crudo con drones. Los drones pueden generar modelos 3D de los tanques y sus alrededores, lo que permite a los ingenieros evaluar la integridad estructural sin tener que cerrar las instalaciones o realizar inspecciones físicas que podrían afectar la producción. Esto no solo ahorra tiempo, sino que también evita interrupciones innecesarias (Filipe-Pozas, 2023). En la limpieza de tanques, los drones autónomos están revolucionando el proceso al hacerlo más eficiente y seguro. Equipados con sistemas de agua a presión o herramientas mecánicas, estos drones pueden eliminar sedimentos y residuos sin que los trabajadores tengan que exponerse directamente a contaminantes o riesgos tóxicos. Entre las principales ventajas de este enfoque se encuentran:

Reducción de riesgos para los trabajadores, eficiencia, ahorro de costos, desafíos y futuro de la implementación de drones. Los drones hacen posible que el proceso de limpieza se lleve a cabo de forma remota, lo que reduce al mínimo la exposición de los trabajadores a entornos peligrosos y aumenta la seguridad general de las operaciones (Borda & Anco, 2024). Los drones llevan a cabo las tareas de limpieza de forma más rápida y eficiente, lo que reduce el tiempo que los tanques están fuera de servicio. Esto es especialmente crucial en instalaciones que deben seguir cronogramas de mantenimiento muy ajustados (Lema, 2024). A pesar de los avances, para la limpieza y el monitoreo de tanques de crudo todavía tiene algunos desafíos. Por ejemplo, hace falta contar con normativas claras que regulen su operación en instalaciones industriales, y también es necesario integrar estas tecnologías con los sistemas de gestión que ya están en uso. Sin embargo, con el constante progreso en la tecnología de drones y sensores, se espera que su uso siga creciendo y se convierta en una parte esencial de las operaciones del sector.

1.7. Planteamiento del problema

El Planteamiento del problema, en este estudio es que, la industria del petróleo y gas en Ecuador enfrenta grandes desafíos en el monitoreo, inspección y mantenimiento de los tanques de almacenamiento de crudo, procesos clave para asegurar la eficiencia operativa, la seguridad industrial y la sostenibilidad ambiental. Las actividades que se llevan a cabo con métodos tradicionales que dependen de inspecciones manuales, equipos convencionales y enfoques reactivos, lo que genera limitaciones importantes en cuanto a precisión, tiempo de respuesta y capacidad para prevenir fallos. Uno de los problemas más críticos es la acumulación de sedimentos en los tanques con el riesgo de corrosión y contaminación del crudo. La limpieza y el mantenimiento manuales son costosos, peligrosos y tienen un impacto ambiental significativo. Además, las inspecciones suelen ser periódicas y no se basan en análisis en tiempo real, lo que dificulta detectar fallos estructurales o problemas operativos a tiempo.

En este contexto, la transformación hacia la Industria 4.0 representa una gran oportunidad para superar estas limitaciones mediante tecnologías avanzadas como sensores inteligentes, sistemas ciberfísicos, análisis de big data, inteligencia artificial y robótica. Sin embargo, en Ecuador, la adopción de estas tecnologías enfrenta obstáculos como la falta de infraestructura digital, la inversión inicial necesaria y la adaptación de estas herramientas a las condiciones locales de la industria. Por eso, es urgente desarrollar un modelo que identifique y proponga los requisitos específicos para modernizar los procesos de monitoreo, inspección y mantenimiento de tanques de crudo, adoptando un enfoque basado en la Industria 4.0. El proceso se divide en cuatro etapas principales: primero, identificar tecnologías emergentes, reconociendo aquellas que son relevantes para la industria; segundo, analizar desafíos y oportunidades, evaluando los obstáculos y el potencial para la implementación; tercero, diseñar un modelo de referencia, creando un marco para la integración tecnológica; y cuarto, desarrollar un plan de implementación, esquematizando los pasos necesarios para la adopción tecnológica.

1.5. *Objetivo General*

Plantear los requerimientos técnicos y tecnológicos necesarios para la evolución de los procesos de monitoreo, inspección y mantenimiento en los tanques de crudo en la industria del petróleo y gas en Ecuador hacia un modelo basado en los principios de la Industria 4.0, con el fin de optimizar la eficiencia operativa, reducir riesgos ambientales y mejorar la sostenibilidad.

1.6. *Objetivos Específicos*

Identificar las tecnologías emergentes aplicables al monitoreo, inspección y limpieza de tanques de crudo, con énfasis en IoT y robótica.

Analizar los principales casos de implementación de tecnologías de Industria 4.0 en la industria petrolera, considerando ejemplos reales.

Examinar los tipos de sensores inteligentes, robots industriales, para mejorar el mantenimiento y monitoreo en tanques de almacenamiento de crudo.

Proponer las tecnologías ciberfísicas de industria 4.0 más adecuadas para procesos de monitoreo y limpieza de tanques de crudo de la industria petrolera de Ecuador.

2. Metodología

La metodología para la propuesta de evolución del sistema de monitoreo, inspección y mantenimiento en la Industria 4.0 para tanques reservorios de crudo se estructura en varias fases. Cada fase está orientada a proporcionar una base sólida de análisis, desarrollo e implementación, enfocándose en la integración de tecnologías avanzadas como IoT,

drones, sistemas ciberfísicos, y análisis de datos en tiempo real. A continuación, se detalla el enfoque metodológico, dividido en varias etapas clave.

2.1. Análisis diagnóstico de la situación actual (fase inicial)

En esta fase, se realizará un análisis exhaustivo de los procesos actuales de monitoreo y limpieza de los tanques de crudo, para identificar las áreas que requieren mejora. Se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Revisión de documentación existente sobre los procesos actuales de monitoreo y limpieza en las instalaciones.
- Entrevistas y observación directa del personal técnico para identificar los desafíos operativos y las limitaciones de los sistemas actuales.
- Identificación de brechas tecnológicas en el monitoreo y limpieza, que pueden ser optimizadas con la implementación de tecnologías de la Industria 4.0.

2.2. Establecimiento de requisitos y objetivos de la evolución tecnológica

Con base en el diagnóstico anterior, se definirán los requisitos y objetivos específicos que debe cumplir el sistema de monitoreo y limpieza para alinearse con los principios de Industria 4.0. Esto incluirá:

- Monitoreo remoto en tiempo real de parámetros clave como temperatura, presión, niveles de crudo y estado estructural de los tanques mediante sensores IoT.
- Implementación de drones autónomos para la limpieza de tanques y monitoreo de condiciones de estos, con integración de cámaras de alta resolución y sensores térmicos para inspecciones visuales y térmicas.
- Desarrollo de modelos predictivos usando análisis de datos y algoritmos de inteligencia artificial para la detección de fallos y planificación de mantenimientos preventivos.

2.3. Diseño del esquema de evolución a industria 4.0

En esta fase, se diseñará un esquema detallado para la evolución de los procesos hacia Industria 4.0. Este esquema incluirá los componentes tecnológicos a implementar, los procesos de integración y las interacciones entre ellos:

- Integración de IoT en los tanques de crudo: Se detallará la instalación de sensores inteligentes para monitorear parámetros críticos y su conexión a una plataforma de análisis de datos centralizada.

- Implementación de drones para limpieza y monitoreo: Se especificarán los tipos de drones a utilizar, sus funciones (limpieza o inspección), y los beneficios esperados de su uso en las operaciones.
- Plataforma de análisis en la nube: Se diseñará la arquitectura de la plataforma que centraliza los datos, realiza análisis predictivos y proporciona recomendaciones operativas.
- Automatización del flujo de trabajo: Se establecerá cómo las tecnologías seleccionadas interactúan con los sistemas existentes, automatizando procesos de toma de decisiones y alertas ante eventos críticos.

2.4. Planificación de implementación y prueba de concepto (pilotaje)

Para validar la viabilidad de la propuesta, se llevará a cabo una fase de piloto, que incluirá:

- Selección de un área de prueba dentro de las instalaciones de producción donde se implementarán inicialmente las tecnologías propuestas.
- Instalación de sensores IoT en una selección de tanques para monitoreo en tiempo real.
- Despliegue de drones autónomos para la limpieza de tanques y la inspección visual.
- Pruebas de integración con los sistemas existentes de control y supervisión.
- Monitoreo y evaluación de resultados a través de la comparación de indicadores antes y después de la implementación de las tecnologías.

2.5. Evaluación de impacto y retroalimentación

Una vez completada la fase de piloto, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva para medir el impacto de la implementación de la tecnología de Industria 4.0 en los procesos de monitoreo y limpieza. Los parámetros de evaluación incluirán:

- Mejora en la eficiencia operativa y reducción de tiempos de inactividad.
- Reducción de costos asociados con mantenimientos no planificados y paradas de emergencia.
- Mejora en la seguridad laboral, a través de la disminución de la exposición de los trabajadores a riesgos en los procesos de limpieza.
- Calidad en las predicciones de fallos mediante los modelos de inteligencia artificial.

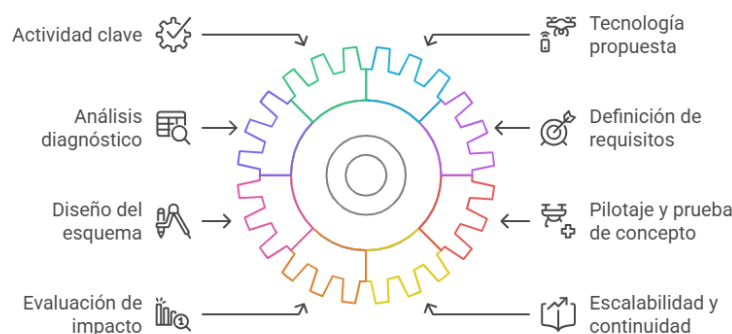
2.6. Escalabilidad y continuidad

Con base en los resultados del piloto y la retroalimentación, se planificará la expansión de la solución hacia otras áreas de la planta y la integración con otros sistemas dentro de la infraestructura industrial. Esta fase también incluirá la capacitación del personal para el manejo de las nuevas tecnologías y la adaptación continua a los avances en la tecnología de la Industria 4.0.

En **Figura 1**, se muestra de forma resumida y en orden las fases para la evolución a industria 4.0 desde las actividades claves que en este caso es el mantenimiento de tanques de crudo hasta las tecnologías clave.

Figura 1

Descripción gráfica de la propuesta de implementación



Especificaciones de normas y estándares para procesos industriales petroleros recuperados de las páginas oficiales: ISO/IEC 30141:2018 estándar internacional para IoT. IEC 61784-5-3:2016 norma para redes de comunicación industrial. ISO 55000:2014 norma para la gestión de activos. ATEX Directiva 2014/34/EU normativa para equipos en atmósferas explosivas. NEMA Standards estándares para sensores industriales. ISO 10218-1:2011 y ISO 10218-2:2011 normas de seguridad para robots industriales. ISO/TS 15066:2016 especificaciones para robots colaborativos. ANSI/RIA R15.06-2012 estándar estadounidense para robots industriales. Directiva 2006/42/CE: normativa europea para maquinaria. OSHA Standards normas de seguridad laboral en EE.UU. Reglamento (UE) 2019/947 normativa europea para drones. FAA Part 107 regulación para drones comerciales en EE.UU. ISO 21384-1:2019 estándar internacional para drones no tripulados. GDPR reglamento de protección de datos de la UE. ANSI/UL 3030:2018 estándar para seguridad de drones. IEC 62443 normativa para ciberseguridad industrial. RoHS (Directiva 2011/65/EU) restricción de sustancias peligrosas. REACH (Reglamento (EC) No 1907/2006) regulación de sustancias químicas, a continuación, en **Tabla 1**, se

presentan normativas y estándares aplicables a cada una de las tecnologías en el contexto de Industria 4.0

Tabla 1

Tabla de normativas y estándares para procesos en la industria petrolera

Sección	Normativa	Descripción
Sensores en la Industria 4.0	ISO/IEC 30141:2018	Estándar internacional para IoT, incluye directrices para interoperabilidad, seguridad y confiabilidad de sensores conectados.
	IEC 61784-5-3:2016	Norma para redes de comunicación industrial, incluye protocolos de comunicación para sensores en entornos industriales.
	ISO 55000:2014	Norma para la gestión de activos, incluye recomendaciones para la implementación de sensores en la monitorización de equipos y mantenimiento predictivo.
	ATEX Directiva 2014/34/EU	Normativa europea para equipos utilizados en atmósferas explosivas, aplicable a sensores en entornos industriales peligrosos.
	NEMA Standards	Estándares para la fabricación y uso de sensores en aplicaciones industriales, incluyendo especificaciones de seguridad y rendimiento.
Robots de limpieza en la Industria 4.0	ISO 10218-1:2011 y ISO 10218-2:2011	Normas internacionales para robots industriales, cubren requisitos de seguridad para robots, incluidos los de limpieza.
	ISO/TS 15066:2016	Especificaciones técnicas para robots colaborativos (cobots), aplicable a robots de limpieza que interactúan con humanos.
	ANSI/RIA R15.06-2012	Estándar estadounidense para la seguridad de robots industriales, incluyendo robots de limpieza.
	Directiva 2006/42/CE (Maquinaria)	Normativa europea que establece requisitos esenciales de seguridad y salud para robots de limpieza.
	OSHA Standards	Normas de seguridad laboral en EE.UU. que regulan el uso de robots en entornos industriales.

Tabla 1

*Tabla de normativas y estándares para procesos en la industria petrolera
(continuación)*

Sección	Normativa	Descripción
Drones de monitoreo en la Industria 4.0	Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947	Normativa europea para el uso de drones, incluyendo requisitos de operación, categorización y permisos.
	FAA Part 107	Regulación para el uso comercial de drones en EE.UU., aplicable a operaciones de monitoreo industrial.
	ISO 21384-1:2019	Estándar internacional para sistemas de drones no tripulados, cubre aspectos de seguridad y calidad.
	GDPR	Normativa de privacidad que aplica a drones que capturan datos personales o sensibles durante el monitoreo.
	ANSI/UL 3030:2018	Estándar para la seguridad de sistemas de drones, incluyendo baterías y componentes eléctricos.
Consideraciones adicionales	IEC 62443	Normativa para la ciberseguridad de sistemas industriales conectados, incluyendo sensores, robots y drones.
	RoHS (Directiva 2011/65/EU)	Directiva europea que restringe el uso de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos.
	REACH (Reglamento (EC) No 1907/2006)	Reglamento europeo para el registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas.

3. Resultados

En los resultados se presenta la división el sistema físico y ciberfísico en tablas detalladas con modelos, características, precios aproximados y las protecciones de cada tecnología relevante para el proceso de monitoreo y limpieza en la industria del petróleo y gas.

3.1. Sistema físico

El sistema físico comprende todo el hardware que se puede usar para procesos de la industria petrolera en este caso monitoreo y limpieza en los tanques de crudo, a continuación, se tiene la **Tabla 2**, detallada con modelos, características, precios aproximados y las protecciones de cada sensor IoT.

Tabla 2
Sensores IoT para monitoreo en tanques de crudo

Modelo	Características	Protección	Precio Aproximado	Aplicación
Honeywell MLH5000	Sensor de presión para monitoreo de tanques, medición precisa, alto rango.	IP67 (resistente al agua y polvo)	\$300 - \$500	Monitoreo de presión en tanques de crudo.
Siemens SITRANS P	Sensor de presión diferencial, monitoreo continuo de niveles, alta precisión.	IP67 (resistente al agua y polvo)	\$250 - \$400	Control de nivel en tanques.
Emerson Rosemount 3051	Transmisor de presión diferencial para monitoreo de tanque, compensación de temperatura.	IP68 (sumergible)	\$800 - \$1,200	Medición de presión y niveles.
Bosch BME680	Sensor ambiental de gases, temperatura, humedad, presión para monitoreo integral.	No certificado IP (no resistente al agua)	\$50 - \$100	Monitoreo de condiciones ambientales.
Wika S-20	Sensor de nivel ultrasónico para monitoreo continuo, alta fiabilidad.	IP66	\$400 - \$600	Monitoreo de nivel de crudo en tanques.

Nota. Especificaciones técnicas de sensores y transmisores industriales. Recuperado de fuentes oficiales de fabricantes: Honeywell, Siemens, Emerson, Bosch Sensortec y Wika.

La mayoría de sensores IoT cuentan con protecciones IP66 o superior, lo que asegura su durabilidad en ambientes industriales exigentes. Por ejemplo, el Emerson Rosemount 3051 (IP68) es ideal para mediciones de presión y niveles en tanques, mientras que el Bosch BME680 ofrece monitoreo ambiental integral, aunque no cuenta con certificación IP. Shell utiliza sensores avanzados para monitorear la integridad de sus oleoductos y prevenir fugas, lo que ha reducido significativamente los costos de mantenimiento y los riesgos ambientales. Por su parte Chevron ha integrado sensores IoT en sus plataformas offshore para monitorear condiciones ambientales y operativas en tiempo real, mejorando la eficiencia y seguridad de sus operaciones.

En la siguiente sección, se muestra la

Tabla 3, que incluye información detallada sobre los modelos, especificaciones técnicas, costos estimados y sistemas de protección de diversos robots industriales diseñados para la limpieza de crudo.

Tabla 3
Robots industriales para limpieza de tanques de crudo

Modelo	Características	Protección	Precio Aproximado	Aplicación
Gecko Robotics Tanker	Robot de inspección autónomo para tanques, equipado con sensores de ultrasonido y cámaras.	IP67 (resistente al agua y polvo)	\$50,000–\$100,000	Inspección de tanques de almacenamiento y tuberías en la industria petrolera.
Saab Seaeeye Falcon	Robot submarino operado remotamente (ROV), con cámara HD y capacidad de manipulación.	IP68 (sumergible)	\$70,000–\$120,000	Inspección y limpieza submarina de tanques y estructuras offshore.
ROBOT KOKS ADEX	Robot tipo oruga con bomba de succión para limpieza de tanques.	Zona ATEX, protección internacional IP68.	\$40,000–\$70,000	Limpieza de tanques de petróleo, fosas de lodos de petróleo y sustancias peligrosas.
ECA Group H300	Robot de inspección y limpieza, equipado con bombas y sistemas de mapeo 3D.	IP67 (resistente al agua y polvo)	\$50,000–\$75,000	Inspección y limpieza de tanques de crudo y estructuras industriales.
Husqvarna DXR 300	Robot con brazo articulado para limpieza a alta presión, control remoto y autónomo.	IP68 (sumergible)	\$45,000–\$85,000	Limpieza interna de tanques y tuberías en entornos industriales.

Nota. Especificaciones técnicas de robots industriales para inspección y limpieza. Recuperado de fuentes oficiales de fabricantes: Gecko Robotics, Saab Seaeeye, Koks Robotics y Husqvarna.

Los modelos de robots industriales más avanzados, como el Gecko Robotics Tanker (IP67) y el ROBOT KOKS ADEX, están diseñados con protecciones que permiten su funcionamiento en condiciones de alta humedad o entornos desafiantes. Estos robots son fundamentales para tareas de inspección, transporte autónomo y manipulación en entornos industriales complejos, como almacenes, fábricas y áreas logísticas. Su capacidad para operar de manera autónoma y adaptarse a diferentes condiciones los convierte en herramientas esenciales para mejorar la eficiencia y seguridad en operaciones críticas.

En la siguiente sección, se presenta la **Tabla 4**, la cual ofrece un desglose detallado de los modelos, características técnicas, precios aproximados y sistemas de seguridad de diversos drones especializados en el monitoreo aéreo de tanques de crudo.

Tabla 4
Drones para monitoreo aéreo en tanques de crudo

Modelo	Características	Protección	Precio Aproximado	Aplicación
DJI Matrice 300 RTK	Dron industrial con sensores térmicos, cámaras de alta resolución, hasta 55 min de vuelo.	IP45 (resistente al agua y polvo)	\$13,000–\$16,000	Inspección visual y térmica de tanques de crudo.
SenseFly eBee X	Dron para mapeo aéreo con GPS de alta precisión, cámaras de alta resolución.	No certificado IP (no resistente al agua)	\$15,000–\$20,000	Monitoreo y mapeo de grandes instalaciones industriales.
Parrot Anafi USA	Dron con cámaras térmicas, 4K HDR, control remoto, vuelo de hasta 32 min.	IP53 (resistente a agua y polvo)	\$7,000–\$9,000	Inspección visual y térmica de tanques y estructuras.
Autel Robotics EVO II	Dron con cámara 8K, sensores de obstáculos, control remoto, hasta 40 min de vuelo.	No certificado IP (no resistente al agua)	\$1,500–\$2,500	Inspección aérea de instalaciones y tanques de crudo.
Quantum Systems Trinity F90+	Dron de largo alcance para mapeo aéreo, sensores de alta resolución.	No certificado IP (no resistente al agua)	\$50,000–\$70,000	Monitoreo a largo alcance de instalaciones de tanques.

Nota. Especificaciones técnicas de drones industriales para inspección y mapeo. Recuperado de fuentes oficiales de fabricantes: DJI, SenseFly, Parrot, Autel Robotics y Quantum Systems.

Estos drones están equipados con cámaras térmicas y de alta resolución, lo que les permite inspeccionar tanques y otras instalaciones sin necesidad de acceso físico. Su capacidad para volar a grandes altitudes o distancias y la protección IP45 o superior (como en el DJI Matrice 300 RTK) garantiza su efectividad en condiciones adversas. Sin embargo, algunos modelos, como el SenseFly eBee X y el Autel Robotics EVO II, no están certificados para resistencia al agua, lo que limita su uso en ambientes húmedos.

3.2. Sistema Ciberfísico

Un sistema ciberfísico integra componentes físicos como; máquinas, sensores, actuadores con sistemas digitales (software, redes, algoritmos) para crear entornos inteligentes y autónomos. Estos sistemas son fundamentales en la Industria 4.0, ya que permiten la automatización avanzada, y nos enfocaremos en tecnologías para procesos de monitoreo

y limpieza en los tanques de crudo. A continuación, se presenta **Tabla 5** con las tecnologías clave, sus funciones y precios estimados:

Tabla 5

Tecnologías para el sistema ciberfísico

Tecnología	Función Principal	Precio Estimado (USD)
Inteligencia Artificial (IA)	Analizar datos, predecir fallos y tomar decisiones autónomas.	Frameworks: Gratuitos (TensorFlow). Plataformas cloud: \$100–\$1,000/mes. Hardware (GPUs): \$5,000–\$15,000/unidad.
Big Data y Analytics	Procesar y analizar grandes volúmenes de datos para obtener insights.	Herramientas (Hadoop, Spark): Gratuitas. Servicios cloud: \$500–\$10,000/mes.
Cloud Computing	Almacenar y procesar datos en servidores remotos para escalabilidad.	AWS, Google Cloud: \$500–\$5,000/mes (dependiendo del uso).
Edge Computing	Procesar datos cerca de la fuente para reducir latencia.	Dispositivos (Raspberry Pi, NVIDIA Jetson): \$100–\$500/unidad.
Ciberseguridad	Proteger sistemas y redes contra ciberataques.	Firewalls: \$1,000–\$10,000/año. Plataformas SIEM: \$10,000–\$50,000/año.
Redes de Comunicación	Garantizar conectividad en tiempo real (5G, Ethernet industrial).	Equipos de red: \$1,000–\$10,000/unidad. Servicios 5G: Varían por proveedor.
Blockchain	Garantizar la integridad y seguridad de los datos en transacciones.	Plataformas (Ethereum, Hyperledger): Gratuitas (costos de implementación variables).

Nota. Especificaciones técnicas y precios estimados de tecnologías para sistemas ciberfísicos en la Industria 4.0. Recuperado de fuentes oficiales y plataformas de proveedores líderes: AWS, Google Cloud, NVIDIA, TensorFlow, Microsoft Azure, Hadoop, Apache Spark, Raspberry Pi, Hyperledge, y Ethereum. Los precios son estimados y pueden variar según la región, el proveedor y las especificaciones técnicas.

Este conjunto de tecnologías permite la implementación de un sistema completo en procesos de monitoreo y limpieza en los tanques de crudo para monitoreo y limpieza en el sector petrolero, alineado con las tendencias de Industria 4.0, para mejorar la seguridad, eficiencia y rentabilidad.

3.3. Análisis económico de la implementación estimada

A continuación, se presenta en

Tabla 6 el análisis económico de la implementación de los equipos seleccionados, considerando los costos iniciales, las posibles opciones de mantenimiento y las ventajas a largo plazo.

Tabla 6
Costo aproximado de implementación del Hardware

Equipo	Precio Aproximado	Costo Total de Implementación
Descripción	USD	USD
Sensor IoT Emerson Rosemount 3051	\$1,200 (por unidad)	1,200 x 5 unidades = \$6,000
Robot KOKS ADEX	\$75,000	\$75,000
Dron DJI Matrice 300 RTK	\$15,000	\$15,000
SISTEMA CIBERFÍSICO:	\$100,000	\$100,000
Costo de Implementación Total		\$196,000

Nota: El sistema ciberfísico consta de inteligencia artificial (IA), big data y analytics, cloud computing, edge computing, ciberseguridad, redes de comunicación, blockchain.

El costo total estimado para la implementación de tecnologías físicas y ciberfísicas de industria 4.0, enfocado en procesos de monitoreo y limpieza en los tanques de crudo donde comprende el monitoreo y la limpieza de los tanques de crudo asciende a \$196,000. Esto incluye la compra de los sensores IoT, el robot de limpieza y el dron para monitoreo aéreo **Figura 2**, los cuales son fundamentales para la optimización de estos procesos industriales.

Figura 2
Modelos y costos de adquisición del hardware seleccionado


3.4. Consideraciones Adicionales

Los equipos mencionados generalmente tienen un costo de mantenimiento y soporte anual que podría variar entre el 10-15% del costo inicial de adquisición. Por ejemplo, el mantenimiento del robot y los sensores podría costar alrededor de 7,500–15,000 al año. Beneficios a Largo Plazo de La implementación de estos sistemas puede generar una mejora significativa en la eficiencia operativa, la seguridad y la reducción de costos

relacionados con tiempos de inactividad o fallos imprevistos. La reducción de la exposición del personal a ambientes peligrosos también puede disminuir los riesgos laborales y los costos asociados con accidentes o lesiones. El Retorno de la Inversión (ROI) se refleja en la reducción de costos operativos, la mejora en la precisión del monitoreo, y la optimización de la limpieza de los tanques, justifican la implementación de estas tecnologías en el sector. La combinación de sensores IoT, robots industriales y drones de monitoreo ofrece una solución integral alineada con los estándares de Industria 4.0.

4. Conclusiones

- Las tecnologías clave de Industria 4.0 aplicables al proceso de almacenamiento de crudo donde se realiza: monitoreo, inspección y limpieza de tanques de crudo son: los sensores IoT, robots industriales y drones de monitoreo. Estas tecnologías destacan por su durabilidad en ambientes exigentes, gracias a certificaciones como IP66, IP67 e IP68, y su capacidad para operar en condiciones adversas. Empresas líderes como Shell y Chevron han demostrado el éxito de la implementación de sensores IoT y robots en sus operaciones. Shell utiliza sensores avanzados para monitorear oleoductos, reduciendo costos de mantenimiento y riesgos ambientales, mientras que Chevron ha integrado sensores IoT en plataformas offshore para mejorar la eficiencia y seguridad. Estos casos respaldan la viabilidad y los beneficios de adoptar tecnologías de Industria 4.0 en la industria petrolera de Ecuador.
- Los sensores IoT, como el Emerson Rosemount 3051 para mediciones de presión y niveles en tanques, los robots como el Robot KOKS ADEX ofrecen soluciones robustas en zonas ATEX 0 para el mantenimiento/limpieza de tanques de crudo y los drones como el DJI Matrice 300 RTK, combinados con el sistema ciberfísico: (IA), Big Data y Analytics, Cloud Computing, Edge Computing, Ciberseguridad, Redes de Comunicación, Blockchain complementan las tecnologías para la evolución a industria 4.0 del proceso petrolero en Ecuador. En la industria petrolera de Ecuador, es factible la implementación de tecnologías como sensores IoT, robots industriales y tecnología computacional, que ofrecen una solución integral alineada con los estándares de Industria 4.0. Aunque la inversión inicial es considerable (aproximadamente \$196,000 para un conjunto básico de equipos), los beneficios y ROI a largo plazo, como la reducción de costos operativos, la mejora en la precisión del monitoreo y la optimización de la limpieza de tanques, justifican esta inversión. Además, la reducción de riesgos laborales y la mejora en la seguridad operativa son factores clave que respaldan esta propuesta.
- Para implementar estas tecnologías de manera efectiva, es crucial desarrollar un plan escalonado. Este plan debería incluir varias fases: en la primera, adquirir las tecnologías clave y capacitar al personal técnico; en la segunda, instalar los

sistemas IoT y la infraestructura digital necesaria; y en la tercera, integrar soluciones avanzadas como la IA, la robótica y el mantenimiento predictivo.

5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

8. Referencias bibliográficas

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). Industria 4.0: Fabricando el Futuro. *BID Publicaciones*. <https://publications.iadb.org/es/industria-40-fabricando-el-futuro>

Belman Lopez, C., Jiménez García, J., & Hernández González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 432–447. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12579>

Borda Yupanqui, C. L., & Anco Cerron, J. A. (2024). *Diseño de mecanismo de limpieza acoplado a un dron controlado de forma remota para optimizar el tiempo de lavado de cadena de aislantes en líneas de alta tensión mediante atomizadores con interiores oscilantes* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674726>

Cabanillas, A. K., & Murillo, C. S. (2023). *Intención de uso de tecnologías de la industria 4.0 entre las Pymes agroexportadoras peruanas, utilizando el modelo TAM* [Tesis de pregrado, Universidad de Lima, Lima, Perú]. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/19717>

Castro Lopez, C., & Castillo Rodriguez, L. (2024). Contaminantes orgánicos persistentes: Impactos y medidas de control. *Manglar*, 21(1), 135-148. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.014>

Chasipanta Baraja, A. J., & Corrales Bonilla, J. I. (2023). Perspectivas y desafíos en la industria 4.0 para el sector agroindustrial de La Maná. *Revista Científica*

Multidisciplinar G-Nerando, 4(2), 848–869.

<https://doi.org/10.60100/rcmg.v4i2.173>

Cornejo Villacis, M. D. (2024). *Cuantificación de la huella de carbono mediante ghg protocol para reducir los gei en el hogar Inés Chambers* [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador].

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CORNEJO%20VILLACIS%20MARIA%20DANIELA.pdf>

Das, S. (2022). An IoT business model for public sector retail oil outlets. *Information Technology and People*, 35(7), 2344–2367. <https://doi.org/10.1108/ITP-08-2020-0570>

Encalada Ruíz, P. G., Córdova Suárez, M. A., Ruíz Robalino, O. E., Vega Pérez, J. G., Liger Manzano, T. de los Á., & Sánchez Almeida, E. L. (2018). Sistema embebido basado en FPGA para el monitoreo de metadatos condiciones ambientales. *Ciencia Digital*, 2(4), 177–189.

<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.216>

Filipe-Pozas Puente, S. (2023). *Plan de prevención de riesgos laborales de una empresa operadora de drones* [Tesis de Maestría, Universidad de León, León, España].

<https://buleria.unileon.es/handle/10612/22771>

Góngora Orellana, C. A., & Bannura Jorquera, C. A. (2021). *Compañía de innovación Tecnológica H2 Chile SPA: desarrolladores de proyectos de hidrógeno verde* [Tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago, Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/182748>

Guerras Pastor, E. (2024). *La cadena de suministro. Influencia de la Industria 4.0* [Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid, Valladolid, España].

<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/70215>

Hägg, L., & Sandberg, J. (2021). *La guía del ingeniero para la medición de tanques.*

Emerson. <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-la-gu%EDa-de-inicio-r%E1pido-del-ingeniero-para-la-medici%F3n-de-tanques-rosemount-es-es-4261176.pdf>

Hung, A. J. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Ingeniería Energética*, XXX(2), 13–19.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127741002>

Lara Calle, A. R. (2024). *Desarrollo de un purificador de aire mediante carbón activado con sistema de medición IoT para ambientes laborales cerrados* [Tesis

de Maestría, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador].

<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/6774>

Lema Eros, R. W. (2024). *Acoplamiento para drones del tipo multirotor enfocado a la limpieza de fachadas de edificios* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Ecuador].

<https://repositorio.pucp.edu.pe/items/f7aa3b02-76d6-484e-bbda-de2ce99995bd>

Mordor Intelligence. (2023). *Transformación digital en la industria del petróleo y el gas - Análisis de tamaño y participación - Tendencias y pronósticos de crecimiento (2024 - 2029)*. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-digital-transformation-market>

Navarro, X. A. (2024). *Estudio del uso de drones en la detección de vertidos de hidrocarburos en el entorno marítimo: perspectivas y desafíos* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España].

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/416637>

Patwardhan, R. S., Hamadah, H. A., Patel, K. M., Hafiz, R. H., & Al-Gwaiz, M. M. (2019). Applications of Advanced Analytics at Saudi Aramco: A Practitioners' Perspective. *Investigación en Química Industrial y de Ingeniería*, 58(26), 11338–11351. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b06205>

Bello, P. (2021). *The role of digitalization in decarbonizing the oil and gas industry*. Paper presentado en el SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/207125-MS>

Rivera Torres, D. L., & Nauzan Ceballos, V. H. (2022). Los adelantos de la digitalización en el sector de hidrocarburos; un análisis bibliométrico. *Palermo Business Review*, 26, 25-45.

https://www.palermo.edu/negocios/cbrs/pdf/pbr26/PBR_26_02.pdf

Roa Ramírez, E. R. (2024). *Aplicación de modelos de deep learning no supervisado en el mantenimiento predictivo para la detección temprana de anomalías en equipos industriales con condiciones operacionales variables* [Tesis de Postgrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/202388>

Rojas Cortés, D. M. (2020). *Aplicación de metodología inspección basada en riesgo según API RP 580 y 581 para equipos estáticos, planta celulosa Arauco y Constitución SA* [Tesis de pregrado, Universidad de Talca, Curicó, Chile].

<http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12971>

Santacruz Jaramillo, C. A. (2024). *Almacenamiento y transporte de gas en Ecuador: almacenamiento y transporte de gas en el Ecuador enfocado al Campo Amistad* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25505>

Trávez Osorio, S. E., Chiluisa Cando, J. P., Robalino Cacuango, M. J., & Silva Echeverría, J. L. (2024a). Selección y Calibración de Manómetros en Taladros de Perforación: Análisis del Impacto Económico según Normativas ISO 10012 y NTE INEN 1825. *AlfaPublicaciones*, 6(2.2), 112–131. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.2.498>

Trávez Osorio, S. E., Yagos Arias, C. J., Endara Laguaquiza, J. S., & Tapia Molina, J. C. (2024b). Soluciones energéticas sostenibles: un estudio sobre estrategias para el uso de gas asociado a la extracción de petróleo en la industria ecuatoriana. *AlfaPublicaciones*, 6(2), 52–72. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.467>

Valdéz, G., Donantueno, A., Salibe, M., Contreras, M., & Fliger, E. S. (2024). *Diseño e implementación de nodos IoT de bajo costo para monitoreo de tanques de aceite en una Cooperativa Aceitera*. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos. <https://www.iar.unlp.edu.ar/biblio/htdocs/artic/contri/1861.pdf>

Velasco, L. E. (2024). *El Ibex abre sus puertas a la IA para agilizar procesos, pero sin calibrar aún su impacto en las plantillas*. Cinco Días. <https://cincodias.elpais.com/companias/2024-08-30/el-ibex-abre-sus-puertas-a-la-ia-para-agilizar-procesos-pero-sin-calibrar-aun-su-impacto-en-las-plantillas.html>

Vera Estrada, C. (2024). Aplicación de Ciberseguridad cuántica en la seguridad de puertos de comunicación de la IoT. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 36(2), 135–157. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1188>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

