

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

**Tema:** **“REVISIÓN SISTEMÁTICA DE METODOLOGÍAS DE  
MANTENIMIENTO DE OLEODUCTOS BASADAS EN  
INDUSTRIA 4.0”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de  
Magíster en Producción y Operaciones Industriales.

Modalidad de Titulación Artículo Profesional de Alto Nivel

**Autor:** Ing. Nancy Fabiola López Vargas

**Director:** Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD.

Ambato – Ecuador

2022

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magíster, Presidenta del Tribunal, e integrado por los señores: Ingeniero Edison Patricio Jordán Hidalgo Magister, Ingeniero Marlon Antonio Santamaría Villacís Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “REVISIÓN SISTEMÁTICA DE METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO DE OLEODUCTOS BASADAS EN INDUSTRIA 4.0”, elaborado y presentado por la Señora Ingeniera Nancy Fabiola López Vargas, para optar por el Grado Académico de Magíster en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Edison Patricio Jordán Hidalgo, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Marlon Antonio Santamaría Villacís, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación con el tema: “REVISIÓN SISTEMÁTICA DE METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO DE OLEODUCTOS BASADAS EN INDUSTRIA 4.0”, le corresponde exclusivamente a la: Ingeniera Nancy Fabiola López Vargas, Autora bajo la Dirección del Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez PhD, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Nancy Fabiola López Vargas

**AUTORA**

-----  
Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Nancy Fabiola López Vargas

C.C.: 1803757788

## INDICE GENERAL

### CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
INDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
DEDICATORIA .....	x
RESUMEN EJECUTIVO .....	xi
EXECUTIVE SUMMARY.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Justificación.....	2
1.3    Objetivos de la investigación .....	3
1.3.1  Objetivo general .....	3
1.3.2  Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II .....	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
CAPÍTULO III.....	6
MARCO METODOLÓGICO .....	6
3.1    Ubicación.....	6
3.2    Equipos y materiales .....	6
3.3    Tipo de investigación .....	6

3.4	Hipótesis .....	6
3.5	Población y muestra .....	7
3.6	Recolección de información .....	7
3.7	Procesamiento y análisis estadístico.....	8
3.7.7	Preguntas de investigación.....	8
3.7.2	Búsqueda de documentos.....	8
3.7.3	Selección de documentos.....	9
3.8	Variables respuesta o resultados esperados .....	10
CAPÍTULO IV .....		11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		11
4.	Resultados .....	11
4.1	Revisión de la literatura.....	11
4.2	Análisis de los datos.....	20
	Definición de Hipótesis:.....	23
4.2	Discusión.....	26
CAPÍTULO V .....		31
CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA .....		31
5.1	Conclusiones .....	31
5.2	BIBLIOGRAFÍA .....	32
CARTA DE ACEPTACIÓN ARTÍCULO .....		41
CERTIFICACIÓN DE COPYRIGHT .....		43
ARTÍCULO CIENTÍFICO .....		48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Operacionalización Variable Independiente.....	10
Tabla 3-2. Operacionalización Variable Dependiente .....	10
Tabla 4-1. Clasificación de artículos según el tipo de mantenimiento y tecnología..	21
Tabla 4-2. Tecnologías más usadas para el mantenimiento 4.0 de oleoductos.....	22
Tabla 4-3. Pruebas de normalidad.....	24
Tabla 4-4. Prueba t para muestras independientes. ....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3-1 – Diagrama de flujo PRISMA. ....	7
Fig. 4-1 – Tecnologías más empleadas para el mantenimiento 4.0 de oleoductos. ...	22
Fig. 4-2 – Tipos de mantenimiento. ....	23
Fig. 4-3 – Histogramas de mantenimiento preventivo y predictivo. ....	24
Fig. 4-4 – T student para aceptación de hipótesis. ....	25
Fig. 4-5 – Diagrama de cajas comparativo. ....	26

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a mi familia por ser el soporte para lograr mis objetivos profesionales.

Nancy Fabiola López Vargas

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mi familia

Nancy Fabiola López Vargas

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

**TEMA:**

“Revisión sistemática de metodologías de mantenimiento de oleoductos basadas en industria 4.0”

**AUTORA:** Ing. Nancy Fabiola López Vargas

**DIRECTOR:** Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Energía, Desarrollo Sostenible y Gestión de Recursos Naturales

**FECHA:** 7 de septiembre de 2022

**RESUMEN EJECUTIVO**

La cuarta revolución industrial fue un hito a nivel industrial, obligó a la mayoría de industrias a que evolucionen técnicamente y a que sus colaboradores se preparen y avancen conjuntamente con la tecnología. La industria petrolera no fue la excepción, debido a que trabajan en ambientes peligrosos y dinámicos, tuvieron la necesidad de proteger a su recurso humano, equipos e infraestructura. Este artículo presenta una scoping review, basado en las guías PRISMA, de metodologías de mantenimiento de oleoductos basadas en industria 4.0. De una primera recolección de 123 artículos de prestigiosas bases de datos como SpringerLink, MDPI, Scopus, IEEEExplore y ACM, se obtuvo una muestra final de 31 artículos, en los cuales se habla de tecnologías que potencializan sistemas de mantenimiento preventivo y predictivo. Los resultados muestran que en los últimos cinco años el mantenimiento predictivo posee una diferencia porcentual de optimización de tiempos de mantenimiento del 38% con respecto al mantenimiento preventivo. Esto se lo corrobora con un T-Student para muestras independientes, en el cual se obtuvo una significancia de 0.023. Asimismo, se analizaron las tecnologías más empleadas, sobresaliendo la inteligencia artificial con un 45.16%.

**Descriptor:** revisión de literatura de alcance; industria del petróleo; mantenimiento 4.0; mantenimiento predictivo; inteligencia artificial

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

**THEME:**

“A scoping Review of Pipeline Maintenance Methodologies Based on Industry 4.0”

**AUTHOR:** Ing. Nancy Fabiola López Vargas

**DIRECTED BY:** Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD

**LINE OF RESEARCH:** Energy, Sustainable Development and Natural Resources Management

**DATE:** September 7th, 2022

**EXECUTIVE SUMMARY**

The fourth industrial revolution was a milestone at the industrial level. It forced most industries to evolve technically and for their collaborators to prepare and advance together with technology; the oil industry was no exception. It develops its activities in dangerous and dynamic environments and needs to protect its human resources, equipment and infrastructure. This article presents a scoping review, based on the PRISMA guidelines, of pipeline maintenance methodologies based on industry 4.0. From the first collection of 123 articles from prestigious databases such as SpringerLink, MDPI, Scopus, IEEEExplore and ACM, a final sample of 31 articles was obtained. Here, technologies that enhance preventive and predictive maintenance systems are discussed. The results show that predictive maintenance compared to preventive maintenance has a percentage difference in upkeep time optimization of 38% in the last five years. This difference was corroborated with a T-Student for independent samples, with a significance of 0.023. Likewise, the most used technologies were analyzed, with artificial intelligence standing out with 45.16%.

**Keywords:** scoping review; oil industry; 4.0 maintenance; predictive maintenance; artificial intelligence

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Introducción

La industria petrolera es un sector complejo y que demanda muchos recursos. El capital humano que se desenvuelve en este ámbito, debe ser altamente capacitado y acompañado de herramientas tecnológicas para facilitar su trabajo Garcia et al. (2019). De hecho, frecuentemente se ve en la obligación de trabajar a distancia, ya que existen entornos hostiles que ponen en peligro su integridad física. Por estos motivos, la extracción de energía y mantenimiento de equipos, así como de instalaciones se vuelven cada vez más arduos y costosos Lozada-Martinez et al. (2019).

Los altos mandos de este sector industrial, al darse cuenta de que sus instalaciones, específicamente los ductos de transporte de crudo, son la piedra angular para que su giro de negocio sea altamente productivo, se vieron en la necesidad de buscar nuevas formas de optimizar sus inversiones, reducir los costos y minimizar los riesgos; apoyándose así, en las soluciones tecnológicas que el mundo de hoy propone Fataliyev and Mehdiyev (2018).

La industria 4.0 dentro del campo del gas y petróleo ha buscado formas innovadoras y eficientes que permitan a las empresas facilitar la gestión del mantenimiento, es así que varias herramientas y metodologías han surgido en los últimos años. Gracias a la continua monitorización del estado de los ductos, así como a los análisis predictivos, se puede programar los mantenimientos adecuados, sin la necesidad de incurrir en grandes pérdidas de tiempo ni de dinero. Además, el análisis costo beneficio es favorable, ya que, se ha evidenciado la reducción de tiempos de parada no planificados, así como un aumento significativo de productividad Basco et al. (2018).

Considerando las publicaciones científicas relacionadas a este tema dentro de los últimos cinco años, se ha evidenciado que varios autores (Garcia, Naranjo, Gallardo-Cardenas, et al., 2019; Shukla & Karki, 2016b, 2016a; Villalba et al., 2019), proponen diferentes metodologías inmiscuidas en el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Este artículo se encuentra dividido en 5 secciones incluyendo la introducción. La sección 2, presenta la metodología que se siguió para poder seleccionar la muestra

final de artículos científicos, la sección 3, por otra parte, muestra el Marco metodológico de esta investigación. En la sección 4, presenta los resultados de la revisión de literatura, las estadísticas de los artículos y tipos de mantenimiento más empleados durante los últimos cinco años y discute las preguntas de investigación planteadas en la metodología; y finalmente, la sección 5 expone las conclusiones.

## **1.2 Justificación**

En la industria del petróleo, las facilidades, sistemas, equipos, y oleoductos son activos cuya inversión de construcción, puesta en marcha y operación es altamente costoso, por lo tanto el personal que labora en este tipo de industria debe ser continuamente capacitado y asistido con nuevas herramientas tecnológicas, lo que le permitirá mantener una operación segura de los procesos productivos de la producción, el transporte y el almacenamiento, de esta forma se precautelara el recurso humano, el medio ambiente y los equipos.

Los oleoductos son la arteria principal de la industria petrolera, pues transportan las 24 horas miles de barriles de petróleo, lo que le permite mantener el proceso de producción operativo, de ahí la importancia que los altos mandos de las empresas se soporten en herramientas tecnológicas actuales, con el objetivo que el personal calificado tanto operativo como técnico desarrollen su trabajo en forma eficiente, ya que la ejecución del monitoreo de la condición, que es realizado a oleoductos de cientos de kilómetros de distancia, se traduce en grandes riesgos potenciales, debido ambientes hostiles, pues atraviesan ríos, lugares de difícil acceso, con presencia de animales peligrosos y la constante maleza.

La industria 4.0, con el desarrollado de nuevas, eficientes e innovadoras tecnologías que facilitan la gestión del mantenimiento, el análisis de mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo, el monitoreo de la condición de los oleoductos, ha permitido reducir las paradas no programadas, y en consecuencia se evitara la pérdida de producción, daños al medio ambiente, asegurando la integridad del personal y las instalaciones, lo que resulta en un beneficio económico, al reducir los costos, optimizar las inversiones, y minimizar los riesgos

Por lo descrito en párrafos anteriores, se justifica entonces, realizar una revisión sistemática de literatura de las metodologías de mantenimiento de ductos de crudo

basadas en industria 4.0, con la finalidad de aportar con una nueva y validada fuente de información en temas relacionados a la industria del petróleo.

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Escribir una revisión sistemática de literatura de metodologías de mantenimiento de oleoductos basadas en industria 4.0.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar un estudio comparativo de las diferentes metodologías de mantenimiento de oleoductos en los que se ha aplicado de manera eficiente herramientas tecnológicas de la industria 4.0.
- Aplicar la metodología PRISMA para la realización de la revisión sistemática de literatura usando preguntas de investigación para la conducción crítica del estudio.
- Analizar las metodologías de mantenimiento 4.0 consultadas, a través de herramientas estadísticas, para determinar su influencia en los tiempos de inactividad en la industria petrolera.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

La industria petrolera es una de las más grandes a nivel mundial, y su impacto es significativo en la economía global (Garcia, Naranjo, Gallardo-Cardenas, et al., 2019). A corto y mediano plazo, se prevé que tanto el petróleo como el gas sigan siendo una de las principales fuentes de energía naturales. Sin embargo, actualmente, han surgido varias dudas con respecto al desarrollo de esta industria, entre las más importantes, se puede mencionar el cambio imprevisible de los ciclos de oferta y demanda, los márgenes reducidos en cuanto a las ganancias y, la pérdida de productividad debido a oleoductos y maquinaria en condiciones deplorables (Naranjo, Ayala, et al., 2018; Naranjo, Lozada, et al., 2018).

En este sentido y debido a que la industria se encuentra atravesando una nueva revolución tecnológica, se han desarrollado varias propuestas que han permitido mejorar, de manera significativa, la productividad de esta industria, sin dejar de lado la importancia del recurso humano. Seneviratne et al. (Seneviratne et al., 2018), proponen el uso de robots autónomos para la inspección y adquisición de información en cualquier tipo de oleoducto. Aquí, se hace uso de tecnologías Big Data para administrar la información, así como drones para que un operario, sin poner en riesgo su integridad física, pueda constatar el estado del ducto.

Por otra parte, la presión que existe para mejorar los indicadores de rendimiento y aumentar la eficiencia de los procesos con un giro de negocio inmerso en el mundo petrolero, obligó a la mayoría de empresas a dar un salto tecnológico, incluyendo planes de mantenimiento que proporcionen un tiempo corto de inactividad y que a su vez bajen los costos, así lo mencionan Al-Subaiei et al. (Al-Subaiei et al., 2021). En esta investigación, se establece un enfoque de mantenimiento predictivo inteligente, en donde se proveen diagnósticos continuos tanto de procesos como de herramientas y dispositivos. El personal de la refinería en donde se aplicó este estudio, empezó a recibir información en tiempo real sobre la probabilidad de falla del equipo, así como el tiempo de mantenimiento. Además, el sistema, empezó a generar sugerencias para piezas específicas dentro de cada tubería, con la finalidad de reducir el tiempo de inactividad entre operaciones.

Fataliyev y Mehdiyev (Fataliyev & Mehdiyev, 2018), realizaron un estudio para determinar el estado actual de la compañía petrolera azerbaiyana SOCAR. Analizaron los principales procesos que hacían uso de herramientas tecnológicas, así como la posibilidad de ampliar la aplicación de las mismas. Propusieron varias metodologías para resolver fallos en el transporte de crudo y en los ductos. Entre los enfoques de mayor importancia que se puede apreciar en este trabajo, se detalla un sistema cyberfísico basado en sensores inteligentes, el uso del internet industrial de las cosas y redes inalámbricas para la transmisión y visualización de información.

Finalmente, Sousa y Matos (Sousa et al., 2021), establecen que la deposición de ceras, asfaltenos e hidratos, representan la mayor parte de inconvenientes operativos durante la producción y transporte de crudo, además determinan que el uso de los métodos convencionales de mantenimiento, como la inspección directa, aumentan los tiempos de transporte y disminuyen la productividad. Es por esto que desarrollaron un método indirecto de mantenimiento predictivo, basado en las mediciones de campo continuas para predecir cuándo se debe realizar el raspado de los ductos y así evitar obstrucciones significativas.

Interpretando la literatura mencionada, y varios trabajos adicionales como (Buccieri et al., 2020) y los recopilados en las memorias de (Fikret & Tamer, 2020), se puede concluir que existen métodos revolucionarios de mantenimiento basado en industria 4.0, que al ser analizados y recopilados en una revisión sistemática de literatura, instituyen una fuente confiable de innovación para la industria de nuestro país.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Ubicación**

El acceso a las bases de datos y bibliotecas digitales para la lectura, análisis y resumen de artículos científicos, se lo realizará desde la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

### **3.2 Equipos y materiales**

- Laptop
- Impresora
- Insumos de escritorio (hojas, resaltador)

### **3.3 Tipo de investigación**

Este estudio consiste en una investigación documental bibliográfica con un enfoque cuantitativo, esto se debe a que una revisión sistemática de literatura secuencial y probatoria, es decir se tiene una jerarquía establecida a seguir. Es parte de una idea delimitada, de la cual surgen objetivos y preguntas de investigación, que al momento de ser respondidas, corroboran la hipótesis de investigación planteada. Además, la recolección de los datos se basa en el análisis crítico y de medición, así como en procedimientos estadísticos.

Por otra parte, esta investigación posee, además, un enfoque correlacional, debido a que se busca comprobar la relación existente entre dos variables: i) el uso de tecnologías 4.0 enfocada en el mantenimiento de oleoductos, y ii) reducción de los tiempos de inactividad. Dicho de otra manera, se busca determinar el grado de afectación que posee una variable al modificar la otra, con la finalidad de desechar desviaciones accidentales o efectos aleatorios.

### **3.4 Hipótesis**

i) H<sub>0</sub> No existe una diferencia significativa entre las medias de optimización de tiempos del mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

ii) H1 Existe una diferencia significativa entre las medias de optimización de tiempos del mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

### 3.5 Población y muestra

Después de una primera búsqueda en bases de datos de investigación de prestigio internacional, se obtuvo un universo de 123 artículos científicos. Posterior a esto, se empleó la metodología PRISMA para determinar la muestra, de acuerdo a la Figura 3-1:

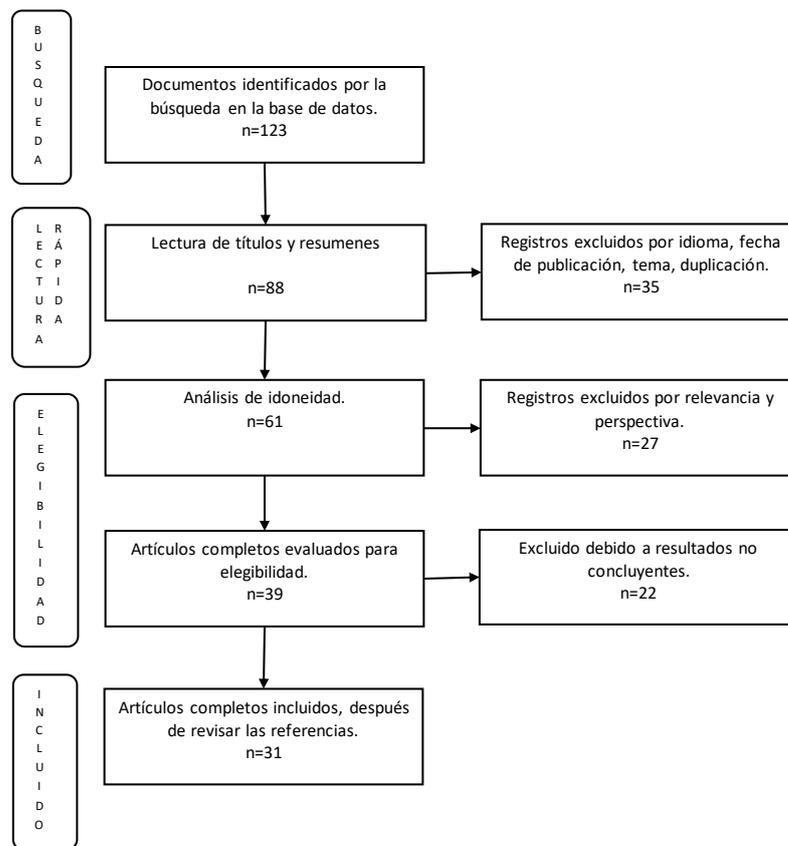


Fig. 3-1 – Diagrama de flujo PRISMA.

### 3.6 Recolección de información

Para la depuración de información, así como para la revisión de la documentación escogida, se hará uso de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis), cuyo objetivo se centra en ayudar a autores de revisiones de literatura sistemáticas, revisiones de literatura de alcances, entre otras a generar un documento en donde no existan sesgos en cuanto a las razones para

realizar el documento, así como al reporte de resultados de cada documento encontrado.

Con estos antecedentes esta revisión se ha enfocado en la extracción de información de varias bases de datos de prestigio a las cuales los autores tienen acceso como SpringerLink, MDPI, Scopus, ACM y IEEEExplore.

La antigüedad de la información recolectada, será cinco años, sin embargo, en el caso de no encontrar información suficiente, se la extenderá hasta máximo 10 años.

### **3.7 Procesamiento y análisis estadístico.**

En el procesamiento y análisis, se consideraron tres pasos para poder llevarla a cabo.

i) Preguntas de investigación, ii) Búsqueda de documentos y iii) Selección documental.

#### **3.7.7 Preguntas de investigación.**

Se formularon un total de cuatro preguntas de investigación, con la finalidad de entender la importancia del uso de tecnologías 4.0 en el mantenimiento de oleoductos en la industria petrolera.

1. Cuáles son las tecnologías 4.0 más utilizadas dentro del mantenimiento de oleoductos?
2. Qué tipo de mantenimientos son los más empleados por la industria 4.0?
3. Cuáles son los beneficios de aplicar tecnologías 4.0 en el mantenimiento de oleoductos?
4. Cuáles son los retos a futuro para el mantenimiento 4.0?

#### **3.7.2 Búsqueda de documentos.**

Se realizó una búsqueda documental desde el año 2017 al 2022.

La búsqueda de los documentos en las diferentes bases de datos, se la realizó ingresando la siguiente combinación de palabras claves: ("oil pipes" AND ("maintenance" OR "servicing" OR "upkeep")); ("oil and gas industry" AND ("maintenance techniques" OR "servicing techniques" OR "upkeep techniques")); ("oil and gas industry" AND ("4.0 maintenance" OR "4.0 servicing")); ("oil pipes"

AND "digitization"), las cuales debían aparecer en el contexto y resumen de cada documento. Estas palabras relacionan las preguntas de investigación planteadas, tomando en cuenta que el eje central de la búsqueda correspondía al mantenimiento 4.0.

### **3.7.3 Selección de documentos.**

Esta sección se dividió en cinco fases.

En la primera fase se establecieron criterios de elegibilidad, los cuales se muestran a continuación:

- **Diseño de estudio:** Se seleccionaron todos los documentos cuyo objetivo principal era el de mejorar el proceso de mantenimiento de oleoductos a través de la aplicación de una o varias de las tecnologías de la industria 4.0. Las revisiones de literatura y estudios duplicados fueron descartadas.
- **Rango de tiempo:** Se seleccionaron documentos publicados desde el año 2017 hasta el año 2022, los artículos que no cumplieran con este criterio fueron descartados.
- **Lenguaje:** Se seleccionaron solo artículos escritos en Inglés.
- **Estado de publicación:** Artículos publicados en memorias de congresos o revistas indexadas fueron considerados, además se verificó que posean DOI (Digital Object Identifier).

La segunda fase, consistió en ordenar los documentos por relevancia, título, resumen y palabras clave. De esta forma, se pudo analizar los documentos de forma jerárquica, obteniendo en primer lugar, las tecnologías más recientes y con mayor beneficio para el mantenimiento de oleoductos.

En la tercera fase, se revisó si la información mostrada en la introducción, resultados y conclusiones proveían los datos necesarios para responder las preguntas de investigación en la profundidad que este documento lo requiere.

En la fase número cuatro, se hizo un análisis de sesgo, i.e., se verificó que no exista sesgo en la selección o preparación de la información. Para poder llevar a cabo esta fase, se empleó la herramienta Cochrane.

Finalmente, se verificaron las referencias y el resumen de los documentos obtenidos en cada fase presentada, de acuerdo a las guías PRISMA y con la finalidad de analizar, ordenar y presentar de manera estructurada los datos de los resultados, provenientes de cada artículo seleccionado, se harán uso de estadística descriptiva. Por otra parte, se empleará la prueba t para muestras independientes, para determinar la dependencia entre las variables de estudio. El software seleccionado para llevar a cabo el proceso estadístico es IBM SPSS.

### 3.8 Variables respuesta o resultados esperados

- **Variable independiente:** Mantenimiento 4.0

Tabla 3-1. Operacionalización Variable Independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Conjunto de actividades y técnicas basadas en la industria 4.0 para lograr un funcionamiento eficiente de instalaciones, maquinaria y equipos.	Mantenimiento predictivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo medio entre fallos.</li> <li>• Tiempo medio para reparación.</li> </ul>	¿Qué metodologías se han utilizado para la gestión del mantenimiento de oleoductos?
	Mantenimiento preventivo		
	Mantenimiento correctivo		

- **Variable dependiente:** Tiempos de inactividad

Tabla 3-2. Operacionalización Variable Dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Fallas de maquinaria, equipos o instalaciones que provocan paros de producción.	Paros programados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad.</li> <li>• Número de paros.</li> </ul>	¿Han disminuido los tiempos de inactividad?
	Paros no programados		

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4. Resultados

#### 4.1 Revisión de la literatura

En esta sección se presenta el resumen de los trabajos más relevantes de la revisión. En este trabajo de investigación, se construyó un modelo de degradación por corrosión bajo un criterio de falla por presión. El objetivo de esta estrategia, se centra en identificar donde y cuando se debe intervenir en los oleoductos, con la finalidad de no tener pérdidas económicas significativas ni excesivos tiempos muertos. Por otra parte, se realizó también un análisis de costos, en el cual se concluyó que la inversión en caso de fallo de una tubería, es 20 millones más que la inversión en el mantenimiento predictivo.

Entre las limitaciones encontradas, se puede mencionar que la evaluación de la integridad de los oleoductos es incompleta, ya que una evaluación holística, debería incluir un proceso de degradación dependiente del espacio causado por defectos externos Amaya-Gómez et al. (2019)

Li et al. (2020) propone el diseño e implementación de un robot móvil para inspección de oleoductos. La implementación se ha dado gracias al apoyo de la Corporación Nacional del Petróleo de China. De hecho, el diseño actual del robot, es una mejora al modelo anterior, también usado en empresas petroleras chinas. Para cumplir con los requisitos solicitados, el robot es capaz de moverse en pendientes con ángulos no mayores a 45° y adaptarse geométricamente un máximo del 10%. El sistema presenta dos modos de operación, uno manual y otro automático, en el primero, el robot comienza y termina la inspección del oleoducto a través de una orden. Por otra parte, en el modo automático, el robot es capaz de moverse a lo largo de todo el oleoducto, terminar la inspección de fallos y regresar automáticamente. En contraste con el diseño anterior, este prototipo, posee una batería que puede durar más de 30 horas en el oleoducto, abarcando así, una distancia de aproximadamente 70 km. Finalmente, se propone mejorar el robot, a través del uso de inteligencias artificial y sensores que permitan mejorar la eficiencia del diagnóstico.

La corrosión es una de las principales razones para que los oleoductos se degraden estructuralmente. Este problema se agrava si se trabaja en estaciones marítimas, con consecuencias económicas y ambientales irreparables. Por este motivo, predecir la corrosión de estos elementos es fundamental. Li et al. (2022) proponen la integración de las técnicas KPCA y BRANN para generar un modelo más robusto que permita eliminar información redundante y reducir el tiempo de diagnóstico. Los datos se han dividido en dos grupos, un conjunto de entrenamiento y otro conjunto de validación. Este modelo se comparó con BRANN y KPCA-LMANN, presentado superioridad en la predicción con un error cuadrático medio igual a 0.46%.

Srivastava et al. (2019) proponen emplear tecnologías 4.0 como cloud computing con plataformas integradas como Google Cloud Platform, Microsoft Azure Cloud Platform, entre otras, para crear una aplicación ligera, rápida y eficiente para predecir las fallas más comunes en oleoductos. Las imágenes tomadas de los oleoductos, son transformadas a través de procesos de Big Data, asegurándose de esta manera, que los datos sean coherentes. Por otra parte, también se ha usado Machine Learning algorithms para identificar patrones en los datos obtenidos y de esta forma elaborar pronósticos más exactos, de hecho, se alcanzó una precisión de hasta 0.98 con pérdidas mínimas de 0.006. El uso de esta tecnología para mantenimiento de oleoductos, fue comparado con métodos comunes de detecciones de fugas, obteniendo resultados alentadores.

Dentro de los ensayos no destructivos en oleoductos, uno de los principales campos de investigación hace referencia a la detección de defectos de soldadura. Debido a esto, varias técnicas se han desarrollado con el fin de detectar la ocurrencia de los defectos, segmentar el área defectuosa o simplemente clasificar dichas fallas. Sin embargo, estas técnicas, a pesar de ser muy útiles, no abarcan el espectro necesario, teniendo que mezclarse con varias técnicas adicionales. Golodov and Maltseva (2022), para dar solución a estos inconvenientes, proponen la aplicación de aprendizaje automático para el procesamiento de radiografías de soldadura en tiempo real. El método de conjunto de detectores digitales fue empleado. La contribución más importante de esta investigación, fue la creación de un servicio web basado en redes neuronales que permite, detectar soldaduras, segmentarlas y clasificar los defectos de oleoductos en tiempo real.

Dai et al. (2020), presentan los resultados después de aplicar UltraScan™ Circumferential Crack-Like Detection technology for oil pipeline inspection. Esto se lo hace debido a que, en los últimos años, ha tomado más relevancia la integridad de las soldaduras circunferenciales. Estos fallos, generalmente ocurren durante la construcción del campo petrolero y están sujetos a cargas externas debido al movimiento de la tierra. Es necesario mencionar que, en oleoductos recién construidos, también existen estos fallos, sin embargo, son más difíciles de detectar debido a su tamaño. Para la probabilidad de detección, se tomaron en cuenta 102 defectos con un ancho promedio de 0.8 mm. Estos se clasificaron respecto a su posición relativa a la soldadura. De los 36 defectos presentes en la soldadura (primera categoría), se detectaron 35, lo que corresponde a una tasa de detección del 97%. Finalmente, para la otra categoría, la tasa de detección fue del 92%.

Con la revolución industrial en la que actualmente nos encontramos, han surgido varias tecnologías de diagnóstico, predicción y gestión de información para oleoductos. De esta forma, los gemelos digitales se han convertido en la piedra angular en la producción, operación y mantenimiento de equipo petrolero. Lian et al. (2022), presentan un caso de estudio en los oleoductos de Sino-Myanmar, en donde hacen uso de inteligencia artificial sobre la base de gemelos digitales para predecir la demanda de petróleo. Como complemento a este sistema, se pretende optimizar en tiempo real el funcionamiento de los oleoductos y gestionar un diagnóstico inteligente, en el cual pueden ser detectados los fallos más comunes dentro de esta industria.

Suarez Suarez et al. (2020), proponen varias opciones para prevenir el número de eventos adversos en oleoductos causados por funcionamiento deficiente de instalaciones, errores humanos accidentes y eventos externos. La meta de este trabajo de investigación, se centra en la implementación de un software de visualización y predicción basado en el Lenguaje de consulta estructurado y sistemas de información geográfica. Este sistema procesa información crucial como el estado de la infraestructura de oleoductos, volúmenes transportados, uso de suelo y zonas afectadas por incidentes petroleros. Entre las alternativas presentadas en este documento, sobresalen dos: i) bases de datos y herramientas de visualización georreferencias para la gestión de riesgos; y, ii) la implementación de sistemas SCADA para monitorizar y detectar posibles fugas.

El internet de las cosas ha ganado importancia en los últimos años, su espectro de aplicación ha crecido de tal manera que su funcionalidad se ha extendido hasta la industria, adaptándose y cambiando de nombre a internet industrial de las cosas. Li et al. (2019b), centran su investigación en detectar fugas en oleoductos a través del Internet de las cosas. Se almacenan y procesan las señales de presión de los oleoductos, y se detectan las fugas a través del método de onda de presión negativa. El caso de estudio, hace uso de un oleoducto de 100m de longitud con 50 puntos de fuga de petróleo. La conclusión a la que los autores llegaron es que, a pesar de que el sistema tiene algunas cosas por mejorar, puede determinar de manera efectiva la existencia de fugas en el oleoducto.

En Estados Unidos, el Departamento de Energía y Transporte tiene como prioridad contener de manera oportuna las fugas de oleoductos. A pesar de que este aspecto es tan importante, se siguen incurriendo en pérdidas económicas y de tiempo. Lee et al. (2017) proponen el uso de sistemas aéreos no tripulados o drones para la inspección de redes de oleoductos, con la finalidad de detectar de manera oportuna fugas o averías. Se hace uso de una combinación de drones y equipos humanos en tierra para reducir el tiempo de mantenimiento de oleoductos. Además, han hecho uso de métodos de programación entera mixta para poder optimizar las rutas y reducir el tiempo de llegada de los drones.

Sudevan et al. (2019), establecen que los oleoductos de todo el mundo se encuentran expuestos a condiciones ambientales extremas. Debido a esto, el proceso de mantenimiento es clave para que esta industria funcione de manera eficiente. Una de las técnicas más conocidas para realizar un mantenimiento de rutina es el raspador, sin embargo, debido a la complejidad de este proceso los tiempos y costos son excesivos. Debido a esto, la industria 4.0 juega un papel importante, inmiscuyéndose en esta investigación con la aplicación de un sistema de inspección robótico autónomo, el cual detecta la ubicación exacta de un fallo a través de coordenadas GPS.

Hacer uso de la tecnología que se tiene a disposición actualmente, es preponderante para atacar problemas de fugas, rupturas o fracturas de oleoductos. Bajo este concepto, Wang et al. (2021), discuten sobre el método de mantenimiento adecuado para oleoductos corroídos. Por otra parte, se calcula la probabilidad de fallo a través de una simulación Monte Carlo. Finalmente, se ha empleado un algoritmo genético para optimizar el plan de inspección, es decir predecir de manera eficiente y en tiempo adecuado los posibles fallos que se puedan producir.

Boonjun et al. (2018), desarrollaron e implementaron un programa capaz de analizar las fotografías tomadas por un vehículo aéreo no tripulado con la finalidad de encontrar fallos en oleoductos. Se ha cambiado la metodología de inspección antes usada en esta zona, e.g., el recurso humano manejaba un vehículo a lo largo del oleoducto verificando que todo estuviera en óptimas condiciones. El sistema planteado puede ubicar, de manera exacta, el fallo del oleoducto y detonar una alarma. De esta manera el personal de mantenimiento puede tomar una decisión acertada y actuar de forma inmediata.

Al igual que se ha visto en párrafos anteriores, las redes de oleoductos son la forma más segura de transportar grandes volúmenes de petróleo, por tal motivo, es esencial que se encuentren en óptimas condiciones. El objetivo de Ahmed et al. (2020) es utilizar el internet de las cosas, considerando el tiempo, robustez y escalabilidad para la detección y futura mitigación de fallos. El modelo propuesto es rentable y eficiente al tomar en cuenta las compensaciones entre densidad, defectibilidad y costo. La implementación todavía se encuentra en la fase de simulación, sin embargo, se han obtenido resultados alentadores, entre los cuales se puede mencionar que existe una precisión de más del 95% en la localización de fugas.

Finalmente, para completar el estudio, se propone implementar bases de datos para filtrar la información, categorizarla y obtener tendencias para predecir fallos futuros. Aalsalem et al. (2017), establecen ser los primeros en diseñar e implementar un sistema inteligente de monitoreo de pozos petroleros y oleoductos basado en el IoT, haciendo uso de dispositivos inteligentes para obtener información detallada como, presión, temperatura, flujo entre otras. La arquitectura propuesta, permite detectar eventos adversos entre los que se puede mencionar, fugas, estrangulamiento de válvulas e incidentes de incendio. Por otra parte, se han creado alarmas automáticas para que el

personal a cargo del proceso de mantenimiento pueda actuar de manera eficiente y óptima ante cualquier condición potencialmente destructiva.

Generalmente, el mantenimiento preventivo en los oleoductos, es un proceso costoso y deficiente. Utilizar tecnologías 4.0 optimiza la disponibilidad y durabilidad de las instalaciones. Patel et al. (2020), han desarrollado un sistema denominado Doctor for Machine, el cual emplea diferentes técnicas de aprendizaje automático. Este marco de trabajo ha sido aplicado a seis conjuntos de datos con la finalidad de crear un modelo predictivo óptimo para anomalías en oleoductos. Desde un punto de vista técnico, la utilidad de este sistema se puede resumir en: i) Estandariza los datos colectados, ii) Crea modelos de aprendizaje automático; y, iii) Reduce drásticamente el esfuerzo laboral para generar modelos predictivos.

La corrosión interna de oleoductos es uno de los problemas más frecuentes dentro de la industria del gas y petróleo, de hecho, el no tomar acciones correctivas sobre este tipo de fallas puede afectar la integridad del recurso humano, generar costos imprevistos y devastar el medio ambiente. Zhang (2022), proponen un método relativamente nuevo, que utiliza aprendizaje automático extremo, para predecir la corrosión interna de los oleoductos y gasoductos, basado en datos históricos de inspecciones previamente realizadas en línea. El caso de estudio se enfocó en los oleoductos de Qinghai, China, que posee una longitud de 170 kilómetros y alrededor de 241 defectos de corrosión interna. Este método se ha comparado con otras técnicas de aprendizaje automático como Back Propagation y Random Forest, mejorando de manera significativa la precisión y rapidez de cálculo.

Jian et al. (2019), proponen un sistema ligero y de bajo costo para la detección de defectos en oleoductos a través de sensores y magnetización fuera de eje compactos. En este experimento, han evitado la saturación de detección magnética a través de la colocación del sensor magnético debajo del borde del imán, en vez de colocarlo en su centro. En comparación con métodos de detección magnética convencional la sensibilidad se mejora de 2 a 12 veces; y, en casos puntuales, hasta 20 veces. Este sistema se basa en una sonda, la cual es adecuada para oleoductos cuyas características como la velocidad de movimiento es inestable. El porcentaje de precisión de este sistema, en pruebas realizadas, llegó a superar el 97%.

El uso de robots en la industria petrolera ha cobrado fuerza en la última década, a tal punto que representan una aplicación emergente para el proceso de mantenimiento de instalaciones. Debido a esto, Lippiello and Cacace (2022), proponen en su investigación a sistema de seguimiento de pose basado en un sensor con una sola cámara que permite, conjuntamente con un vehículo aéreo no tripulado, verificar si existen fallos en la tubería inspeccionada. Varios conjuntos de simulaciones numéricas se llevaron a cabo para demostrar la eficiencia del sistema presentado.

Bao-ping et al. (2020) proponen una nueva forma de evaluación de la resiliencia de oleoductos una vez que han sido expuestos a desastres naturales. Han desarrollado un enfoque de evaluación basado en la vida útil remanente de los componentes de las tuberías dentro de la industria del gas y petróleo. Se han aplicado redes Bayesianas dinámicas, las cuales han sido puestas a prueba en instalaciones petroleras submarinas. Los resultados muestran que la resiliencia de las instalaciones, es inversamente proporcional al impacto de los desastres naturales. Además, se establece que los oleoductos con este tipo de defectos pueden alcanzar una falla total al cabo de 40 horas, por lo tanto, deben ser tratadas lo más rápido posible.

Shaik et al. (2021), desarrollaron un modelo inteligente enfocado a predecir las condiciones de vida útil y a detectar fallas de pérdidas de metal en oleoductos a través de ANN. El experimento fue puesto a prueba en varias secciones de los oleoductos, tomando en cuenta su longitud, ancho, profundidad, espesor, soldadura y presión. Los resultados a los que se llegó superaron las expectativas. La precisión de predicción en cuanto a la vida útil alcanzó un 99.97%, mientras que la predicción de fallas logro un 90.18%.

La tensión residual que se genera en los oleoductos es un punto crítico cuando se trata de su integridad y operación eficiente. Wu et al. (2020), han propuesto un modelo en tres dimensiones basado en elementos finitos para recolectar y organizar datos de las tensiones residuales que se producen en dos etapas específicas de la vida de oleoductos: construcción y operación. Se empleó, además, un análisis de regresión no lineal para predecir las abolladuras durante las diferentes etapas del ciclo de vida. La conclusión más importante a la que llegaron, durante la operación de oleoductos, es que, a mayor presión, menor es la diferencia en la tensión residual entre los diferentes tipos de abolladuras.

Wang and Duan (2019), establecen un modelo holístico y objetivo de evaluación para oleoductos y gasoductos basado en un proceso mejorado de jerarquía analítica y una técnica de preferencia de orden por similitud a una solución óptima. Los aspectos que se han tomado en cuenta para la creación de este modelo son: I) corrosión, ii) interferencia externa, iii) tipo de materiales utilizados, iv) desastres naturales, v) función y operación. En los resultados se usaron oleoductos de longitudes considerables, además, se demostró que las fallas determinadas por el modelo propuesto son consistentes con la situación actual de cada muestra. Debido a la cantidad de variables que se utilizan el modelo es robusto y confiable a comparación de modelos que usan una o dos variables.

Un enfoque alternativo basado en la planificación de mantenimiento preventivo para oleoductos y gasoductos es presentado por Sousa et al. (2021). El objetivo de esta metodología es mantener la confiabilidad del estado de las tuberías por encima de un nivel base. En el estado del arte de esta investigación, se establece que las ecuaciones empleadas para calcular las probabilidades de falla, conducen a resultados económicamente inviables y muy conservadores. Por otra parte, aquí se emplea el modelado de elementos finitos, utilizando funciones de base radial. Los resultados muestran que el enfoque propuesto puede conducir a resultados más realistas y con resultados económicos óptimos.

Un modelo integral para la inspección de tuberías de gas y petróleo corroídas, tomando en cuenta los resultados de inspecciones pasadas, es desarrollado por Sahraoui et al. (2017). En esta investigación se propone la predicción de los costos esperados para realizar una inspección óptima de diferentes tipos de corrosión, con y sin tensiones residuales. Los resultados muestran que el modelo desarrollado es coherente con las fallas presentadas en las instalaciones petroleras. Además, se ha reducido el tiempo y costo de mantenimiento de manera eficiente.

La corrosión es uno de los grandes problemas dentro de la industria petrolera, de hecho, una fuga en un oleoducto puede llevar a desastres naturales de proporciones importantes y afectar a toda la población circundante. Qin et al. (2020) proponen una metodología basada en la probabilidad de fugas de petróleo.

Los resultados obtenidos en este trabajo son comparables a otras investigaciones, es decir no hay una mejora significativa sino se toma en cuenta la dependencia de fallas. Por lo tanto, al considerar este factor, esta investigación se presenta como una oportunidad para mejorar el proceso de mantenimiento en la industria petrolera.

El artículo desarrollado por Li et al. (2021), propone un enfoque para la predicción de la tasa de corrosión en instalaciones petroleras marinas. El modelo se basa en criterios híbridos tales como: i) Análisis de componentes principales, ii) Algoritmo de colonia de abejas artificiales; y, iii) Regresión de vectores de soporte. El caso de estudio se ha aplicado en el oleoducto de crudo en el mar de China Meridional. Los factores de corrosión incluyen: i) contenido del agua, ii) temperatura, iii) PH entre otros. Los resultados muestran que el MAE y RMSE del PCA-ABC-SVR modelo son 7.10 % y 9.19 %, respectivamente, mientras que el coeficiente de determinación es 0.976.

Zhang et al. (2021), proponen un método analizar el estado de degradación de tuberías de gas y petróleo basados en la vida útil remanente de cada una de ellas. Se ha empleado un modelo probabilístico semiempírico de digitalización. Entre las limitaciones que presenta esta investigación, se puede mencionar que la exactitud de los resultados, depende del número de degradaciones simuladas. Sin embargo, bajo condiciones normales, se puede predecir de manera adecuada la cantidad de pérdida de espesor de las tuberías.

El trabajo de investigación de Li et al. (2019a), analiza el diseño de un sistema de mantenimiento de oleoductos y gasoductos de longitudes considerables, con características de i) Seguridad, ii) Confiabilidad y iii) Economía. Para el desarrollo de este sistema, se ha utilizado un vehículo aéreo no tripulado, el cual es el encargado de recorrer las tuberías y alertar, en tiempo real, al personal de mantenimiento sobre cualquier fallo como, posibles fugas, corrosión externa, daños a la infraestructura entre otros. Esta información es almacenada en una base de datos, la cual sería usada en trabajos futuros para predecir con exactitud los eventos mencionados anteriormente.

Glentis et al. (2019), estudian las características del ruido generada en la red de oleoductos de una refinería de petróleo conocida como Hellenic Petroleum S.A. ubicada en Thessaloniki Grecia. Se ha desarrollado un sistema de dispositivos inteligentes para la detección de fugas en tuberías que transportan productos petroleros

en entornos altamente ruidosos. Las características de ruido se han extraído utilizando métodos de dominio de tiempo y dominio de frecuencia. En los resultados, se pudo hallar que existen varias interferencias acústicas generadas por el hombre en un rango bajo de frecuencias de hasta 250Hz. Esta parte de la señal se ha filtrado, con la finalidad de que se pueda obtener de manera adecuada señales de fugas que son clasificadas a través de rangos acústicos para determinar su tamaño.

Badi et al. (2021), plantearon un experimento con el objetivo de identificar el efecto de la generación de cera en los oleoductos durante en transporte de crudo. Se creó un modelo matemático en base a diferentes parámetros como temperatura, presión y flujo molar. Los valores fueron determinados a través de lógica difusa en el Software MATLAB. Los resultados mostraron que el modelo matemático obtenido predice de manera adecuada el depósito de cera en oleoductos, con un error medio absoluto porcentual de 0.09%.

#### **4.2 Análisis de los datos.**

La mayoría de documentos seleccionados usan una sola tecnología de la industria 4.0, sin embargo, algunos artículos hacen uso de dos o más herramientas. Esto se debe a la versatilidad que poseen y a que son complementarias, tal es el caso de la inteligencia artificial, cuya funcionalidad permite predecir los posibles fallos en oleoductos. Además de proveer esta valiosa información, es necesario que tenga un respaldo de datos y que se pueda acceder a ellos cada vez que sea necesario ya sea en tiempo real o no, por lo tanto, aquí el Big data y Cloud computing juegan un papel preponderante, facilitando el manejo de información y de mantenerlo seguro en caso de cualquier Ciber ataque.

En la Tabla 4-1, Tabla 4-2 y Figura 4-2, se puede apreciar que de la muestra final de artículos seleccionada, el 45,16% de ellos hace uso de inteligencia artificial, colocándose como una de las tecnologías claves del presente y del futuro de esta industria.

En segundo lugar, se encuentra el uso de robots colaborativos o cobots al igual que el internet de las cosas, cuyo uso se encuentra avanzando de manera exponencial,

representan el 19.35% de los treinta y un artículos. Finalmente, el uso de big data ocupa el 16.13% del total.

Tabla 4-1. Clasificación de artículos según el tipo de mantenimiento y tecnología.

Artículo	Nombre	Tipo de mantenimiento	Año	% Mejora tiempos muertos/productividad	Tecnologías 4,0
1	Integrity assessment of corroded pipelines using dynamic segmentation and clustering	Predictivo	2019	60%	Big data
2	Development of a Pipeline Inspection Robot for the Standard Oil Pipeline of China National Petroleum Corporation	Preventivo	2020	35%	Cobots
3	A KPCA-BRANN based data-driven approach to model corrosion degradation of subsea oil pipelines	Predictivo	2022	35%	Inteligencia artificial
4	Integrated Cloud Cockpit: A viable approach to surveillance and detection of leaks in oil pipelines	Predictivo	2019	48%	Internet of Things
5	Approach to weld segmentation and defect classification in radiographic images of pipe welds	Predictivo	2022	63%	Inteligencia artificial
6	Application of USCCD on Girth Weld Defect Detection of Oil Pipelines	Preventivo	2020	25%	Big data
7	Application of artificial intelligence technologies in intelligent diagnosis of crude oil pipelines	Predictivo	2022	33%	Inteligencia artificial
8	A Zero Accident Strategy for Oil Pipelines: Enhancing HSE Performance	Preventivo	2020	17%	Big Data
9	The Application Research of Internet of Things to Oil Pipeline Leak Detection	Predictivo	2018	15%	Internet of Things
10	Integration of sUAS-enabled sensing for leak identification with oil and gas pipeline maintenance crews	Preventivo	2017	23%	Cobots
11	Hierarchical Controller for Autonomous Tracking of Buried Oil and Gas Pipelines and Geotagging of Buried Pipeline Structure	Preventivo	2019	30%	Cobots
12	Optimal inspection and maintenance plans for corroded pipelines	Predictivo	2021	45%	artificial
13	Real time automatic object detection by using template matching for protecting pipelines	Preventivo	2018	18%	Cobots
14	Resilient IoT-based Monitoring System for Crude Oil Pipelines	Predictivo	2020	22%	Things
15	An intelligent oil and gas well monitoring system based on Internet of Things	Predictivo	2017	25%	Internet of Things
16	Doctor for Machines: A Failure Pattern Analysis Solution for Industry 4.0	Predictivo	2020	41%	Inteligencia artificial
17	A Case Study Showcasing the Use of Extreme Learning Machine Based on in-line Inspection Data	Predictivo	2022	37%	Inteligencia artificial
18	Lightweight, High Performance Detection Method of Pipeline Defects Through Compact Off-Axis Magnetization and Sensing	Preventivo	2019	40%	Internet of Things
19	Robust Visual Localization of a UAV Over a Pipe-Rack Based on the Lie Group SE(3)	Preventivo	2021	32%	Cobots
20	A Dynamic-Bayesian-Networks-Based Resilience Assessment Approach of Structure Systems: Subsea Oil and Gas Pipelines as A	Preventivo	2020	30%	Inteligencia artificial
21	An intelligent model to predict the life condition of crude oil pipelines using artificial neural networks	Predictivo	2021	51%	Inteligencia artificial
22	Residual Stress in Oil and Gas Pipelines with Two Types of Dents during Different Lifecycle Stages	Predictivo	2020	19%	Big Data
23	Improved AHP-TOPSIS model for the comprehensive risk evaluation of oil and gas pipelines	Preventivo	2019	26%	Big Data
24	Reliability-based preventive maintenance planning for corroded pipelines using a RBF surrogate model	Preventivo	2021	19%	Inteligencia artificial
25	Inspection and Maintenance Planning of Underground Pipelines Under the Combined Effect of Active Corrosion and Residual Stress	Predictivo	2017	36%	Inteligencia artificial
26	Investigating an assessment model of system oil leakage considering failure dependence	Predictivo	2020	42%	Inteligencia artificial
27	A data-driven corrosion prediction model to support digitization of subsea operations	Predictivo	2021	23%	Inteligencia artificial
28	A semi-empirical model for underground gas storage injection-production string time series remaining useful life analysis in process	Predictivo	2021	37%	Inteligencia artificial
29	Design of Informationized Operation and Maintenance System for Long-distance Oil and Gas Pipelines	Preventivo	2019	22%	Cobots
30	Study of the acoustic noise in pipelines carrying oil products in a refinery establishment	Predictivo	2019	35%	Internet of Things
31	An Implementation of Fuzzy Logic Technique to Predict Wax Deposition in Crude Oil Pipelines	Predictivo	2021	25%	Inteligencia artificial
	<b>Predictive</b>	<b>19</b>	<b>61%</b>	<b>36%</b>	<b>PROMEDIO</b>
	<b>Preventive</b>	<b>12</b>	<b>39%</b>	<b>26%</b>	
	<b>TOTAL ARTÍCULOS</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>38%</b>	

Tabla 4-2. Tecnologías más usadas para el mantenimiento 4.0 de oleoductos.

TECNOLOGIAS	NUMERO	PORCENTAJE
Cobots	6	19,35%
Artificial Intelligence	14	45,16%
Big Data	5	16,13%
IoT	6	19,35%
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100,00%</b>

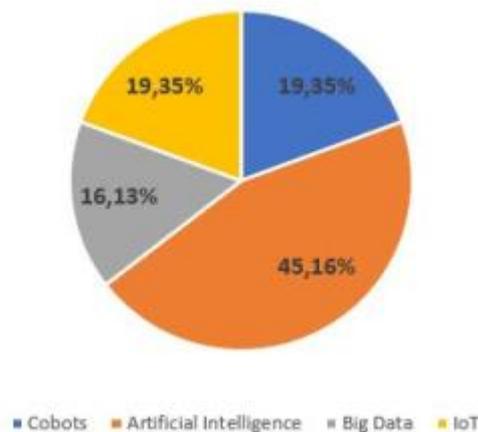


Fig. 4-1 – Tecnologías más empleadas para el mantenimiento 4.0 de oleoductos.

La inteligencia artificial es la herramienta tecnológica que ha sido más empleada en estos últimos cinco años por la industria petrolera. Por otra parte, los artículos seleccionados se han basado en dos criterios: i) Mantenimiento predictivo y ii) Mantenimiento preventivo. De la muestra final seleccionada, el 39% de los documentos enfocan su metodología al mantenimiento preventivo de instalaciones petroleras, específicamente oleoductos de pequeño y largo alcance. El restante de los documentos, desarrollaron sistemas que permiten predecir con antelación suficiente el daño de alguna de sus maquinarias e instalaciones, con un pensamiento crítico enfocado hacia el futuro y hacia la optimización de recursos económicos y humanos, así como a la prevención de daños irreversibles al medio ambiente. Esto se lo puede apreciar en la Figura 4-3.

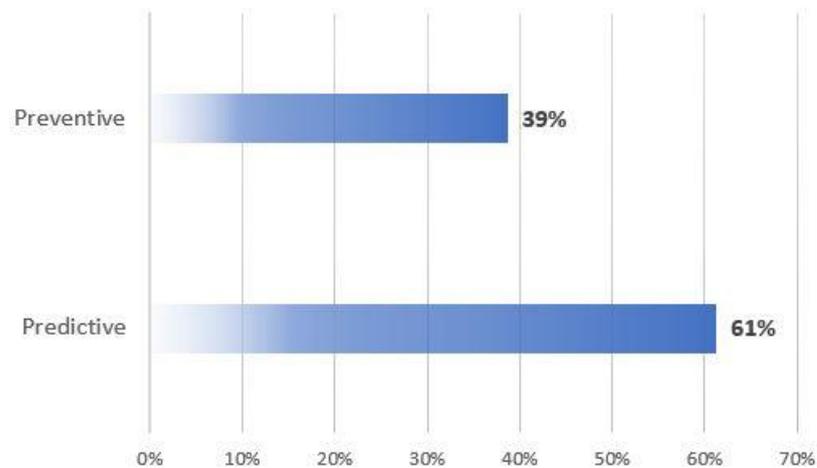


Fig. 4-2 – Tipos de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo se posiciona como un punto crítico a tomar en cuenta en las instalaciones de cualquier petrolera. Con la finalidad de determinar el impacto del mantenimiento preventivo y predictivo en los tiempos de inactividad del proceso de mantenimiento, se han recolectado datos de cada uno de los elementos de la muestra seleccionada. Esta información ejemplifica de manera directa o indirecta el porcentaje de mejora en comparación con metodologías convencionales. De los 12 artículos pertenecientes al mantenimiento preventivo, se obtuvo un porcentaje promedio de optimización de tiempos de 26%, mientras que el porcentaje promedio de los artículos que hablan de mantenimiento predictivo fue de 36%. Como se puede apreciar, existe una diferencia entre ambos tipos de mantenimiento, sin embargo, para confirmar estadísticamente cual es más eficiente a la hora de ahorrar tiempo en el proceso de mantenimiento, es necesario realizar una prueba T-student para muestras independientes.

**Definición de Hipótesis:**

Se han establecido dos hipótesis: i) H0 No existe una diferencia significativa entre las medias de optimización de tiempos del mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo; y, ii) H1 Existe una diferencia significativa entre las medias de optimización de tiempos del mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. El nivel de confianza seleccionado fue  $\alpha=5\%$ .

Posterior a esto, es necesario determinar la normalidad de los datos, sin embargo, esta prueba es lo suficientemente robusta para realizarse a pesar de que no se cumpla con dicho criterio. Para muestras que superan los 30 elementos se utiliza el test de Kolmogorov-Smirnov, mientras que para muestras inferiores a 30, como en este caso, se emplea el test Shapiro-Wilk. El valor de significancia para el mantenimiento preventivo fue de 0.778, mientras que para el mantenimiento predictivo fue de 0.696. Al ser superiores a alpha, se verifica la normalidad.

Tabla 4-3. Pruebas de normalidad.

Pruebas de normalidad							
	Maintenance	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Improvement	Preventivo	0,108	12	0,200 <sup>*</sup>	0,960	12	0,778
	Predictivo	0,121	19	0,200 <sup>*</sup>	0,966	19	0,696

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

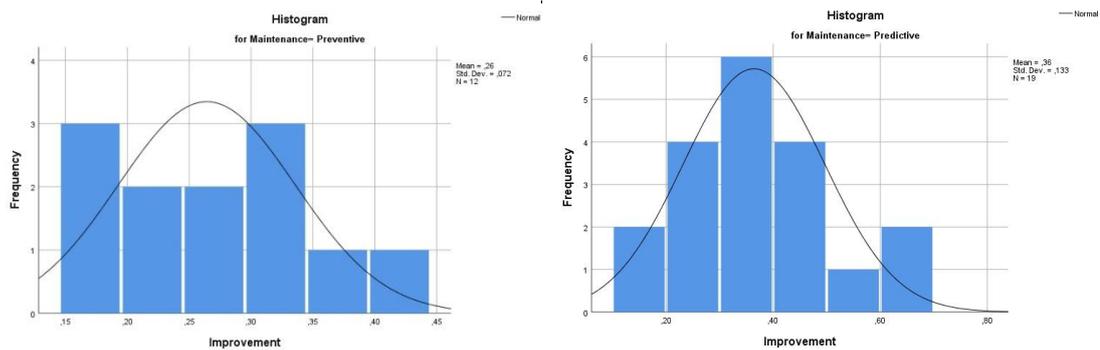


Fig. 4-3 – Histogramas de mantenimiento preventivo y predictivo.

Por otra parte, para determinar la igualdad de varianzas, se realizó el test de Levene, obteniendo un valor de 0.100.

Finalmente, se calculó un valor de significancia de 0.023. Al ser este valor inferior al nivel de significancia de alpha, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por lo tanto, la diferencia numérica entre ambos mantenimientos es estadísticamente significativa. Con este resultado, se puede definir con certeza, que, de la muestra seleccionada, el mantenimiento predictivo es más eficiente a la hora de optimizar el tiempo en la cadena de valor de la industria petrolera, desembocando así, en menores gastos y en un proceso más fluido.

Tabla 4-4. Prueba t para muestras independientes.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Improvement	Se asumen varianzas iguales	2,888	0,100	-2,394	29	0,023	-0,10004	0,04179	-0,18552	-0,01457
	No se asumen varianzas iguales			-2,722	28,509	0,011	-0,10004	0,03676	-0,17528	-0,02481

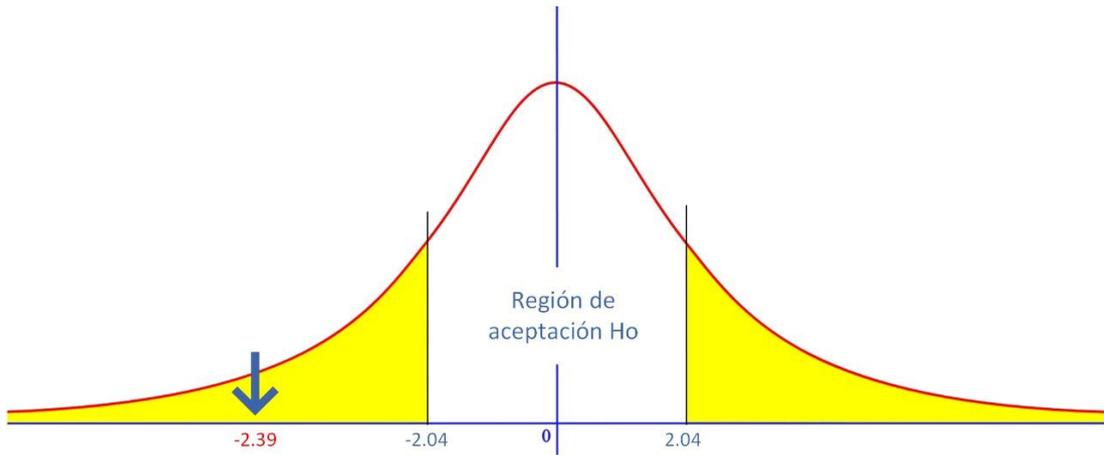


Fig. 4-4 – T student para aceptación de hipótesis.

En la figura 4. se puede apreciar que la diferencia porcentual entre ambos tipos de mantenimiento es de 38%. Para el mantenimiento preventivo, el 50% de los datos se encuentran ubicados entre el 21% y 31% aproximadamente, mientras que, para el mantenimiento predictivo, el 50% de los datos oscila entre el 25% y 43% aproximadamente. En este caso se tiene una asimetría sesgada a la izquierda ya que la parte más larga de la caja se encuentra por debajo de la mediana, además, los datos se concentran en la parte superior de la distribución. Finalmente, se puede entender que para ninguno de los dos tipos de mantenimiento existen valores atípicos.

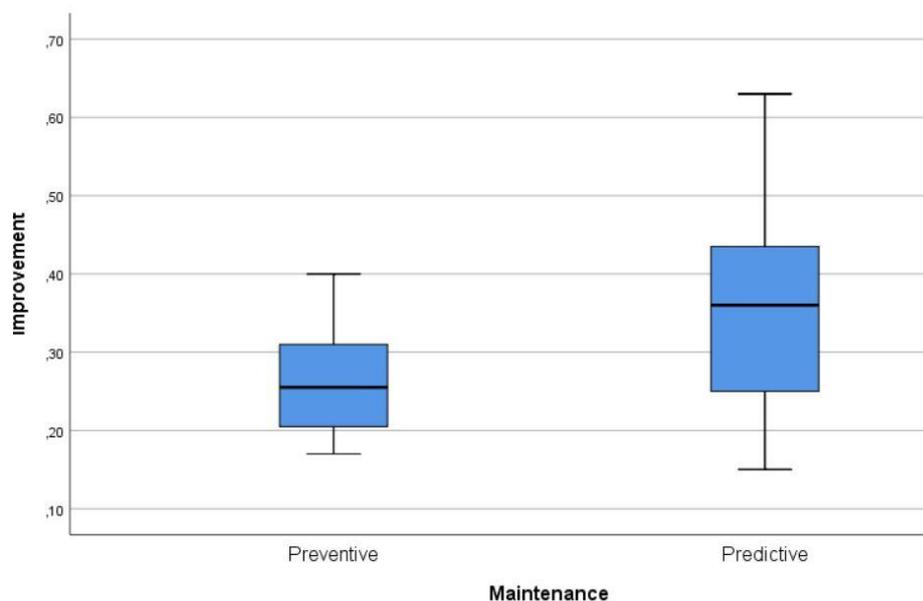


Fig. 4-5 – Diagrama de cajas comparativo.

El mantenimiento preventivo posee una media superior al mantenimiento predictivo, mostrando que es más eficiente a la hora de optimizar recursos en la industria petrolera.

#### 4.2 Discusión

Los 31 artículos previamente seleccionados, contienen la información suficiente para poder emitir un criterio científico con respecto a los mantenimientos que utilizan tecnologías 4.0 dentro de la industria petrolera. A continuación, se responden las preguntas planteadas en la sección 2.

##### 1. Cuáles son las tecnologías 4.0 más utilizadas dentro del mantenimiento de oleoductos?

Las tecnologías inherentes a la industria 4.0, permiten varios cambios con optimización de recursos, mejorando la productividad de las empresas e industrias. Entre las características principales se pueden mencionar las siguientes: i) La producción se la puede flexibilizar, con la finalidad de que se llega a una eficiente personalización. ii) Se puede realizar el monitoreo de dispositivos, máquinas e instalaciones de manera remota o in situ en tiempo real, facilitando de esta forma la rápida detección de fallas y solución de problemas. iii) En entornos peligrosos o que generan un riesgo para el ser humano, se puede virtualizar los procesos, salvaguardando la integridad del recurso humano. iv) Al colocar tecnologías flexibles, estas se pueden adaptar a las necesidades de la empresa, liberando al personal humano para realizar otro tipo de tareas. v) Intercomunicación entre dispositivos y operadores.

Dentro de los resultados mostrados en la sección anterior, se puede entender que la inteligencia artificial y el uso de cobots, como tecnologías principales, son el eje central del mantenimiento predictivo y en parte, del mantenimiento preventivo. A través de la inteligencia artificial y sus tecnologías subyacentes, se pueden recopilar datos en tiempo real de distintos sitios y dispositivos, los cuales son la base para generar algoritmos inteligentes que pueden anticipar fallos de los oleoductos.

Como apoyo de estas tecnologías, se puede mencionar al internet de las cosas, tecnología que permite la intercomunicación de dispositivos y el almacenamiento de la información generada. De manera general, los casos de estudio ejemplificados, se adaptan a los siguientes pasos para la implementación de esta nueva herramienta: i) Obtención de datos, es necesario generar datos relevantes, i.e., información de calidad para construir modelos óptimos con márgenes de error pequeños. Aquí la configuración de los equipos es clave, ya que se debe también tomar en cuenta factores externos para obtener información limpia. ii) Depuración de datos, tener la mayor cantidad de datos posibles, se puede considerar una ventaja, sin embargo, siempre es necesario analizar la valía de los mismos, filtrarlos y clasificarlos. iii) Interpretar las necesidades de predicción, i.e., combinar y complementar los datos obtenidos de los dispositivos, maquinaria o instalaciones, para generar modelos sólidos y precisos. Lo que se debe tomar en cuenta es el historial de errores, de tal manera que el algoritmo incluya patrones de funcionamiento normales y de fallo, el historial de mantenimiento, factor crítico para saber el dónde y cuándo trabajar, condiciones de funcionamiento, para determinar el entorno en el que se está trabajando y verificar si la vida útil de cada equipo es dinámico ante esas condiciones. iv) Visualizar los resultados de forma crítica, culminando el proceso de retroalimentación. Esto permite al personal encargado de mantenimiento, corregir cualquier sesgo encontrado. v) Implementación, trabajando con los modelos generados y datos obtenidos en tiempo real.

Por otra parte, el uso de robots colaborativos en entornos peligrosos se ha popularizado en los últimos años. Esto se debe a que pueden trabajar conjuntamente con el ser humano para realizar tareas dinámicas, además son fáciles de programar, la mayoría posee protocolos de seguridad que permite interactuar, sin poner en riesgo la vida del ser humano, con procesos y operarios. Su finalidad es aumentar la precisión de las tareas y reducir la fatiga tanto mental como física del personal de mantenimiento.

## **2. Qué tipo de mantenimientos son los más empleados por la industria 4.0?**

El mantenimiento es uno de los procesos más importantes y menos valorado dentro de cualquier industria. Garantiza el funcionamiento óptimo tanto de maquinaria como de instalaciones. Gracias a este proceso, es posible reducir costos, optimizar la calidad, reducir tiempos y evitar accidentes laborales. Existen tres tipos de mantenimiento industrial, i) mantenimiento correctivo, ii) mantenimiento preventivo, iii) mantenimiento predictivo. En la revolución industrial pasada, predominaba el mantenimiento correctivo, sin embargo, con la evolución tecnológica y la digitalización, este ha quedado en el pasado, dando paso al mantenimiento preventivo y predictivo.

En la recolección de información realizada, se entendió que la industria 4.0 se enfoca más al mantenimiento predictivo y preventivo, especializándose en el primero. Es necesario mencionar que una de las razones para no encontrar al mantenimiento correctivo dentro de este campo, es el alto costo generado una vez que una instalación o maquinaria petrolera falla. La paralización, no planificada de las tareas, también acarrea daños colaterales mecánicos, pérdida de tiempo e incumplimiento de la demanda. Además de estas razones, se debe tomar en cuenta el daño ambiental que se puede generar con una simple fuga de petróleo, tomando en cuenta que la mayoría de estas industrias se encuentran ubicadas en medio de recursos naturales invaluables.

El mantenimiento predictivo, permite cuidar, de manera inteligente, el corazón de las industrias y fábricas modernas, i.e., la maquinaria e instalaciones. La mezcla del factor humano, con tecnologías como el internet de las cosas, big data, cobots e inteligencia artificial permiten comunicar datos de manera eficiente y constante advirtiendo de cualquier anomalía, optimizando así el ciclo de producción. En adición, se puede mencionar que, en los últimos cinco años, este mantenimiento ha cobrado fuerza, ya que los altos mandos de las industrias se han dado cuenta de su valía y de los beneficios que representa. De hecho, a nivel general de industria, se estima que este mantenimiento representa un ahorro del 40% de costes de mantenimiento FUJITSU (2019).

### **3. Cuáles son los beneficios de aplicar tecnologías 4.0 en el mantenimiento de oleoductos?**

Al hacer uso del mundo digital en el que la industria actualmente se encuentra, se puede llegar a obtener grandes beneficios, los cuales se pueden resumir en una sola oración: Optimizar la fidelidad y disponibilidad de maquinaria e instalaciones al menor costo. Sin embargo, es necesario establecer de manera detallada la utilidad que este tipo de tecnologías pueden agregar al mantenimiento de oleoductos: i) Planificación automática de los mantenimientos, el contar con información previa o históricos de los mantenimientos, permite a los algoritmos determinar cada cuanto se debe revisar los oleoductos en busca de fallas, así como predecir el tiempo de vida útil de sus componentes. ii) Optimización de la productividad global, al no tener paras no programadas ni tiempos de inactividad innecesarios, la cadena de valor de la industria petrolera mejora sus tiempos y rentabilidad general. iii) Aumento de la rentabilidad de la maquinaria, cuando se aplica mantenimientos preventivos, la vida útil de la maquinaria y equipos se prolonga, haciéndolos más fiables y aumentando su disponibilidad de manera exponencial. iv) Disminución en la pérdida de producto y materia prima, el dejar que un oleoducto tenga una fuga o sufra cualquier avería, puede ocasionar que el crudo se desperdicie quedando totalmente inútil. v) Reducción de accidentes laborales, el hecho de contar con maquinaria funcionando en su nivel óptimo, es sinónimo de eficiencia y fiabilidad, por lo tanto, los desperfectos que se puedan llegar a presentar, si lo hacen, no figuran una amenaza para la integridad de las personas. vi) Reducción de daños ambientales, el mantenimiento preventivo enfocado a la industria petrolera se basa en dos ejes esenciales, la prevención de derrames en el proceso de descarga y la integridad de activos. Con estas características, la probabilidad de fallo y contaminación es muy baja, permitiendo que los oleoductos y su entorno coexistan.

Por último, es necesario entender que implementar el mantenimiento predictivo en la industria del petróleo supone un salto cualitativo. Esto se lo podrá realizar siempre y cuando se cuente con los recursos humanos necesarios para implementar sistemas acordes a la industria, así como equipo tecnológico que permita llevar este proceso de manera adecuada. De igual manera, se debe tener líderes y altos mandos que se interesen e inmiscuyan a profundidad en las actividades de la industria petrolera para que entiendan el costo-beneficio de la implementación de estas nuevas tecnologías.

#### **4. Cuáles son los retos a futuro para el mantenimiento 4.0?**

A pesar de que se han visto avances importantes en cuanto al uso de tecnologías 4.0, todavía existen cosas que corregir e ir puliendo. Por lo tanto, uno de los grandes desafíos que se presentan, es equilibrar el trabajo del recurso humano con el de los dispositivos inteligentes integrados, de tal manera que la coordinación entre ambos sea exacta y reduzca los tiempos aún más. Entender el rol fundamental de esta evolución para los altos mandos también supone un reto, ya que la mayoría de ellos ve la tecnología como un gasto mas no como una inversión. Lograr cambiar la mentalidad de estas personas, puede suponer un desafío mucho mayor que la misma implementación de cualquier sistema.

Mantenerse con tecnologías actualizadas y seguir el ritmo del avance tecnológico, es un punto crítico cuando se tiene un proceso de mantenimiento automatizado. El hecho de haber instalado o comprado algún sistema predictivo y obtener resultados alentadores no es todo, solo es el inicio de la transformación tecnológica. Por esto, es necesario que la industria petrolera cuente con personal altamente capacitado y joven, que sepa adaptarse a los cambios y dar mantenimiento al sistema de mantenimiento, i.e., alimentarlo constantemente de datos e investigar tecnologías adicionales de bajo costo que pueden complementar y mejorar su arquitectura actual.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA

### 5.1 Conclusiones

Este artículo ha presentado una revisión de literatura que resume la información más preponderante de los últimos cinco años con respecto a las metodologías de mantenimiento de oleoductos basadas en industria 4.0. Sistemas y arquitecturas sofisticados han sido analizados, llegando a la conclusión que la implementación de planes de mantenimiento preventivo, en conjunto con tecnologías innovadoras como inteligencia artificial, internet de las cosas y cobots, permiten reducir de manera considerable los costos de la cadena de valor, optimizar los tiempos del proceso de mantenimiento y preservar la integridad del recurso humano.

La industria 4.0 fue el inicio de la transformación tecnológica, en donde hubo el tiempo necesario para conocer sus beneficios y aplicaciones, no obstante, la industria petrolera debe mantenerse al día con esta evolución, siempre flexible y abierta a los rápidos cambios que el entorno experto exige.

La infraestructura y los proyectos del sector petrolero comprenden una extensa red de equipos, medios y recursos humanos. Las paradas de mantenimiento programadas implican que se haga un plan con meses de anticipación y que la actividad sea conocida en toda la cadena de valor. Por ello, esta industria debe apoyarse en las tecnologías actuales para optimizar tiempos y costos.

Implementar un plan de mantenimiento predictivo es fundamental para que la confiabilidad y disponibilidad de equipos y recursos sea alta. Sin embargo, es imposible llegar al 100% de efectividad. Esto se debe a que el desarrollo tecnológico depende del ser humano, y existe una gran cantidad de datos que, si no sabemos cómo manejarlos, en lugar de ser un soporte, pueden perjudicar el correcto desarrollo de los procesos.

## 5.2 BIBLIOGRAFÍA

- Al-Subaiei, W., Al-Herz, E., Al-Marri, W., Al-Otaibi, R., Ashyan, H., & Jaber, H. (2021). Industry 4.0 smart predictive maintenance in the oil industry to enable near-zero downtime in operations. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 7067-7077.
- Basco, A., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el futuro*.
- Buccieri, G. P., Muniz, J., Balestieri, J. A. P., & Matelli, J. A. (2020). Expert systems and knowledge management for failure prediction to onshore pipelines: Issue to industry 4.0 implementation. *Gestao e Producao*, 27(3), 1-19.  
<https://doi.org/10.1590/0104-530x5771-20>
- Fataliyev, T. Kh., & Mehdiyev, S. A. (2018). Analysis and New Approaches to the Solution of Problems of Operation of Oil and Gas Complex as Cyber-Physical System. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 10(11), 67-76. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2018.11.07>
- Fikret, A., & Tamer, B. (2020). COIA. *7th International Conference On Control And Optimization With Industrial Applications, I*, 1-78.  
<https://doi.org/10.4324/9781315649412-2>
- Garcia, C. A., Naranjo, J. E., Gallardo-Cardenas, F., & Garcia, M. V. (2019). Virtual Environment for Training Oil & Gas Industry Workers. En *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11614 LNCS*.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-25999-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25999-0_32)

- Garcia, C. A., Naranjo, J. E., Ortiz, A., & Garcia, M. V. (2019). An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector. *IFAC-PapersOnLine*, 52(9). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.222>
- Lozada-Martinez, E., Naranjo, J. E., Garcia, C. A., Soria, D. M., Toscano, O. R., & Garcia, M. V. (2019). SCRUM and Extreme Programming Agile Model Approach for Virtual Training Environment Design. *2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019*. <https://doi.org/10.1109/ETCM48019.2019.9014882>
- Naranjo, J. E., Ayala, P., Altamirano, S., Brito, G., & Garcia, M. V. (2018). *Intelligent Oil Field Approach Using Virtual Reality and Mobile Anthropomorphic Robots* (pp. 467-478). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95282-6\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95282-6_34)
- Naranjo, J. E., Lozada, E. C., Espín, H. I., Beltran, C., García, C. A., & García, M. V. (2018). Flexible Architecture for Transparency of a Bilateral Tele-Operation System implemented in Mobile Anthropomorphic Robots for the Oil and Gas Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 51(8). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.383>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

- Seneviratne, D., Ciani, L., Catelani, M., & Galar, D. (2018). Smart maintenance and inspection of linear assets: An Industry 4.0 approach. *Acta IMEKO*, 7(1), 50-56. [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v7i1.519](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v7i1.519)
- Shukla, A., & Karki, H. (2016a). Application of robotics in offshore oil and gas industry—A review Part II. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 508-524. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.09.013>
- Shukla, A., & Karki, H. (2016b). Application of robotics in onshore oil and gas industry-A review Part i. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 490-507. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.09.012>
- Sousa, A. M., Pereira, M. J., & Matos, H. A. (2021). Planning pipeline pigging operations with predictive maintenance. *E3S Web of Conferences*, 266. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126601017>
- Villalba, W. R., Naranjo, J. E., Garcia, C. A., & Garcia, M. V. (2019). Override Control Based on NARX Model for Ecuador's Oil Pipeline System. En *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 997). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22871-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22871-2_26)
- Aalsalem, M. Y., Khan, W. Z., Gharibi, W., and Armi, N. (2017). An intelligent oil and gas well monitoring system based on Internet of Things. Proceeding - 2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications, ICRAMET 2017, 2018-January:124–127.
- Ahmed, S., Le Mouel, F., and Stouls, N. (2020). Resilient IoT-based monitoring system for crude oil pipelines. 2020 7th International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, IOTSMS 2020, pages 1–7.

- Amaya-Gómez, R., Sánchez-Silva, M., and Muñoz, F. (2019). Integrity assessment of corroded pipelines using dynamic segmentation and clustering. *Process Safety and Environmental Protection*, 128(19):284–294.
- Anil Yasin, A. and Abbas, A. (2021). Role of gamification in Engineering Education: A systematic literature review. In *2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 210–213. IEEE.
- Badi, A. M., Ameitiq, S. H., and Elmabrouk, O. M. (2021). An Implementation of Fuzzy Logic Technique to Predict Wax Deposition in Crude Oil Pipelines. In *The 7th International Conference on Engineering MIS 2021*, pages 1–5, New York, NY, USA. ACM.
- Bao-ping, C. A. I., Yan-ping, Z., Xiao-bing, Y., Chun-tan, G. A. O., Yong-hong, L. I. U., Guo-ming, C., Zeng-kai, L. I. U., and Ren-jie, J. I. (2020). A Dynamic-Bayesian-Networks-Based Resilience Assessment Approach of Structure Systems: Subsea Oil and Gas Pipelines as A Case Study. *China Ocean Engineering*, 34(5):597–607.
- Basco, A., Beliz, G., Coatz, D., and Garnero, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el futuro*. Buenos Aires.
- Boonjun, K., Keeratipranon, N., and Chinpanthana, N. (2018). Real time Automatic Object Detection by using Template Matching for Protecting Pipelines. In *International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)*.
- Castillo, S. and Grbovic, P. (2022). The APISSEER Methodology for Systematic Literature Reviews in Engineering. *IEEE Access*, 10:23700–23707.
- Dai, L. S., Feng, Q. S., Xiang, X. Q., Sutherland, J., Wang, T., Wang, D. P., and Wang, Z. J. (2020). Application of USCCD on girth weld defect detection of oil pipelines. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8). dos Santos Silva, M. J.

- and Dias, P. (2021). The relationship between taxation and foreign direct investment: A systematic literature review. In 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), pages 1–6. IEEE.
- Fataliyev, T. K. and Mehdiyev, S. A. (2018). Analysis and New Approaches to the Solution of Problems of Operation of Oil and Gas Complex as Cyber-Physical System. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 10(11):67–76.
- FUJITSU (2019). *El Mantenimiento Predictivo en la Industria 4.0*. page 34.
- Garcia, C., Naranjo, J., Ortiz, A., and Garcia, M. (2019). An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector. In *IFAC-PapersOnLine*, volume 52.
- Glentis, G. O., Angelopoulos, K., Nikolaidis, S., Kousiopoulos, G. P., Porlidas, D., and Gkountis, D. (2019). Study of the acoustic noise in pipelines carrying oil products in a refinery establishment. *ACM International Conference Proceeding Series*.
- Golodov, V. and Maltseva, A. (2022). Approach to weld segmentation and defect classification in radiographic images of pipe welds. *NDT E International*, 127:102597.
- Higgins, J. and Green, S. (2008). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*.
- Jian, L., Yu, G., and Xinjing, H. (2019). Lightweight, high performance detection method of pipeline defects through compact off-axis magnetization and sensing. *IEEE Access*, 7(1):101950–101959.

- Lee, A., Dahan, M., and Amin, S. (2017). Integration of sUAS-enabled sensing for leak identification with oil and gas pipeline maintenance crews. 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2017, pages 1143–1152.
- Li, H., Li, R., Zhang, J., and Zhang, P. (2020). Development of a pipeline inspection robot for the standard oil pipeline of china national petroleum corporation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8).
- Li, Q., Ban, X., and Wu, H. (2019a). Design of informationized operation and maintenance system for long-distance oil and gas pipelines. *ACM International Conference Proceeding Series*, (535).
- Li, X., Jia, R., Zhang, R., Yang, S., and Chen, G. (2022). A KPCA-BRANN based data-driven approach to model corrosion degradation of subsea oil pipelines. *Reliability Engineering System Safety*, 219:108231.
- Li, X., Zhang, L., Khan, F., and Han, Z. (2021). A data-driven corrosion prediction model to support digitization of subsea operations. *Process Safety and Environmental Protection*, 153:413–421.
- Li, X. L., Wan, P., Zhang, H. T., Li, M., and Jiang, Y. H. (2019b). The Application Research of Internet of Things to Oil Pipeline Leak Detection. 2018 15th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing, ICCWAMTIP 2018, pages 211–214.
- Lian, J., Zhao, L., Li, Z., and Xie, R. (2022). Application of artificial intelligence technologies in intelligent diagnosis of crude oil pipelines. In Sarfraz, M. and Cen, M. M., editors, *International Symposium on Computer Applications and Information Systems (ISCAIS 2022)*, page 27. SPIE.

- Lippiello, V. and Cacace, J. (2022). Robust Visual Localization of a UAV Over a Pipe-Rack Based on the Lie Group SE(3). *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(1):295–302.
- Lozada-Martinez, E., Naranjo, J., Garcia, C., Soria, D., Toscano, O., and Garcia, M. (2019). SCRUM and Extreme Programming Agile Model Approach for Virtual Training Environment Design. In *2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019*.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., and The PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7).
- Naranjo, J. E., Sanchez, D. G., Robalino-Lopez, A., Robalino-Lopez, P., Alarcon-Ortiz, A., and Garcia, M. V. (2020). A Scoping Review on Virtual Reality-Based Industrial Training. *Applied Sciences*, 10(22):8224.
- Patel, D., Zhou, N., Shrivastava, S., and Kalagnanam, J. (2020). Doctor for Machines: A Failure Pattern Analysis Solution for Industry 4.0. *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2020*, pages 1614–1623.
- Qin, G., Zhang, P., and Wang, Y. (2020). Investigating an assessment model of system oil leakage considering failure dependence. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32):40075–40087.
- Sahraoui, Y., Chateauneuf, A., and Khelif, R. (2017). Inspection and maintenance planning of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual stress. *International Journal of Steel Structures*, 17(1):165–174.

- Salazar-Moya, A. and Garcia, M. V. (2021). Lot streaming in different types of production processes: A prisma systematic review. *Designs*, 5(4).
- Shaik, N. B., Pedapati, S. R., Othman, A. R., Bingi, K., and Dzubir, F. A. A. (2021). An intelligent model to predict the life condition of crude oil pipelines using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 33(21):14771–14792.
- Sousa, P. F. S., Afonso, S. M. B., and Willmersdorf, R. B. (2021). Reliability-based preventive maintenance planning for corroded pipelines using a RBF surrogate model. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(12):521.
- Srivastava, G., More, Y., and Sam, J. (2019). Integrated Cloud Cockpit: A viable approach to surveillance and detection of leaks in oil pipelines. *EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems*, 5(15):162215.
- Suarez Suarez, R. G., Dumon, F. C., Barragan, L. S., McCarthy, J., and McFadyen, D. (2020). A zero accident strategy for oil pipelines: Enhancing HSE performance. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Environment, and Sustainability 2020, HSE and Sustainability 2020*, pages 1–15.
- Sudevan, V., Shukla, A., and Karki, H. (2019). Hierarchical Controller for Autonomous Tracking of Buried Oil and Gas Pipelines and Geotagging of Buried Pipeline Structure. *Proceedings of the IEEE 2019 9th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems and Robotics, Automation and Mechatronics, CIS and RAM 2019*, pages 338–343.

- Wang, X. and Duan, Q. (2019). Improved AHP–TOPSIS model for the comprehensive risk evaluation of oil and gas pipelines. *Petroleum Science*, 16(6):1479–1492.
- Wang, Y., Su, C., and Xie, M. (2021). Optimal inspection and maintenance plans for corroded pipelines. In *2021 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Nanjing)*, pages 1–6. IEEE.
- Wu, Y., Zou, R., Wang, Y., and Qin, G. (2020). Residual Stress in Oil and Gas Pipelines with Two Types of Dents during Different Lifecycle Stages. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(6):1832–1844.
- Zhang, H. (2022). A Case Study Showcasing the Use of Extreme Learning Machine Based on in-line Inspection Data. In *2022 7th International Conference on Big Data Analytics (ICBDA)*, pages 78–83. IEEE.
- Zhang, S., Yan, Y., Shi, L., Li, L., Zhao, L., Wang, R., and Yan, X. (2021). A semi-empirical model for underground gas storage injection-production string time series remaining useful life analysis in process safety operation. *Process Safety and Environmental Protection*, 154:1–17.

# CARTA DE ACEPTACIÓN ARTÍCULO

Autor: Ing. Nancy Fabiola López Vargas

Director: Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez PhD.

Request for the Springer Consent to Publish Form (CTP) - World54 2022 : Paper ID - 229

 [Publicar en español](#) | [Publicar en inglés](#)

 World54 2022 <support@world54.com>  
Email: [ingmarcelo@world54.com](mailto:ingmarcelo@world54.com) | [nancylopez@world54.com](mailto:nancylopez@world54.com)

14/11/2022 09:57:14

 229\_CTP  
Form

No se pudo recibir correo electrónico de [support@world54.com](mailto:support@world54.com). Por favor, revise su configuración.

Dear Author,

Cheers! - 1

We hope you are safe.

Further to the above towards publication, we request you to submit the Consent to Publish Form in which your paper title has already been added and attached herewith for your e-produre.



# CERTIFICATE

This is to certify that

**Nancy F. Lopez, Marcelo V. Garcia**

has contributed a paper titled

**4.0 Upkeep for Oil Pipelines in the Petroleum Industry: A Scoping Review**

in the

6<sup>th</sup> WORLD CONFERENCE ON  
**SMART TRENDS IN SYSTEMS,  
SECURITY AND SUSTAINABILITY**

Organized by Global Knowledge Research Foundation.

The paper has also been selected for publication in the (WORLDS4)  
Conference as per fulfilment of guidelines issued by Springer.

**MIKE HINCHEY**  
PRESIDENT - IFIP



**AMIT JOSHI**  
ORGANIZING SECRETARY

**NILANJAN DEY**  
PUBLICATION CHAIR

24-27 AUGUST, 2022  
DIGITAL PLATFORM : ZOOM

**XIN-SHE YANG**  
CONFERENCE CHAIR



# CERTIFICACIÓN DE COPYRIGHT

**Licence to Publish  
Proceedings Papers**

**SPRINGER NATURE**

Licensee	Springer Nature Singapore Pte Ltd.	(the 'Licensee')
Title of the Proceedings Volume/Edited Book or Conference Name:	<b>Intelligent Sustainable Systems - Selected Papers of WorldS4 2022, Volume 2</b>	(the 'Volume')
Volume Editor(s) Name(s):	<b>Prof. Atulya K. Nagar, Dr. Dharm Singh Jat, Dr. Durgesh Kumar Mishra, Dr. Amit Joshi</b>	
Proposed Title of the Contribution:	4.0 Upkeep for oil pipelines in the petroleum industry: A scoping review	(the 'Contribution')
Series: The Contribution may be published in the following series	A Springer book series Lecture Notes in Networks and Systems	
Author(s) Full Name(s):	Nancy F. Lopez, Marcelo V.Garcia	(the 'Author')
<i>When Author is more than one person the expression "Author" as used in this Agreement will apply collectively unless otherwise indicated.</i>		
Corresponding Author Name:	Nancy F. Lopez, nlopez7788@uta.edu.ec	
Instructions for Authors	<a href="https://www.springer.com/gp/authors-editors/conference-proceedings/conference-proceedings-guidelines">https://www.springer.com/gp/authors- editors/conference-proceedings/conference-proceedings- guidelines</a>	(the 'Instructions for Authors')

## 1 Grant of Rights

- a) For good and valuable consideration, the Author hereby grants to the Licensee the perpetual, exclusive, world-wide, assignable, sublicensable and unlimited right to: publish, reproduce, copy, distribute, communicate, display publicly, sell, rent and/or otherwise make available the contribution identified above, including any supplementary information and graphic elements therein (e.g. illustrations, charts, moving images) (the 'Contribution') in any language, in any versions or editions in any and all forms and/or media of expression (including without limitation in connection with any and all end-user devices), whether now known or developed in the future. Without limitation, the above grant includes: (i) the right to edit, alter, adapt, adjust and prepare derivative works; (ii) all advertising and marketing rights including without limitation in relation to social media; (iii) rights for any training, educational and/or instructional purposes; (iv) the right to add and/or remove links or combinations with other media/works; and (v) the right to create, use and/or license and/or sublicense content data or metadata of any kind in relation to the Contribution (including abstracts and summaries) without restriction. The above rights are granted in relation to the Contribution as a whole or any part and with or in relation to any other works.
- b) Without limiting the rights granted above, Licensee is granted the rights to use the Contribution for the purposes of analysis, testing, and development of publishing- and research-related workflows, systems, products, projects, and services; to confidentially share the Contribution with select third parties to do the same; and to retain and store the

Contribution and any associated correspondence/files/forms to maintain the historical record, and to facilitate research integrity investigations. The grant of rights set forth in this clause (b) is irrevocable.

- c) If the Licensee elects not to publish the Contribution for any reason, all publishing rights under this Agreement as set forth in clause 1a above will revert to the Author.

## **2 Copyright**

Ownership of copyright in the Contribution will be vested in the name of the Author. When reproducing the Contribution or extracts from it, the Author will acknowledge and reference first publication in the Volume.

## **3 Use of Contribution Versions**

- a) For purposes of this Agreement: (i) references to the "Contribution" include all versions of the Contribution; (ii) "Submitted Manuscript" means the version of the Contribution as first submitted by the Author prior to peer review; (iii) "Accepted Manuscript" means the version of the Contribution accepted for publication, but prior to copy-editing and typesetting; and (iv) "Version of Record" means the version of the Contribution published by the Licensee, after copy-editing and typesetting. Rights to all versions of the Manuscript are granted on an exclusive basis, except for the Submitted Manuscript, to which rights are granted on a non-exclusive basis.
- b) The Author may make the Submitted Manuscript available at any time and under any terms (including, but not limited to, under a CC BY licence), at the Author's discretion. Once the Contribution has been published, the Author will include an acknowledgement and provide a link to the Version of Record on the publisher's website: "This preprint has not undergone peer review (when applicable) or any post-submission improvements or corrections. The Version of Record of this contribution is published in [insert volume title], and is available online at [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".
- c) The Licensee grants to the Author (i) the right to make the Accepted Manuscript available on their own personal, self-maintained website immediately on acceptance, (ii) the right to make the Accepted Manuscript available for public release on any of the following twelve (12) months after first publication (the "Embargo Period"): their employer's internal website; their institutional and/or funder repositories. Accepted Manuscripts may be deposited in such repositories immediately upon acceptance, provided they are not made publicly available until after the Embargo Period.  
The rights granted to the Author with respect to the Accepted Manuscript are subject to the conditions that (i) the Accepted Manuscript is not enhanced or substantially reformatted by the Author or any third party, and (ii) the Author includes on the Accepted Manuscript an acknowledgement in the following form, together with a link to the published version on the publisher's website: "This version of the contribution has been accepted for publication, after peer review (when applicable) but is not the Version of Record and does not reflect post-acceptance improvements, or any corrections. The Version of Record is available online at: [http://dx.doi.org/\[insert DOI\]](http://dx.doi.org/[insert DOI]). Use of this Accepted Version is subject to the publisher's Accepted Manuscript terms of use <https://www.springernature.com/gp/open-research/policies/accepted-manuscript-terms>". Under no circumstances may an Accepted Manuscript be shared or distributed under a Creative Commons or other form of open access licence.

Any use of the Accepted Manuscript not expressly permitted under this subclause (c) is subject to the Licensee's prior consent.

- d) The Licensee grants to Author the following non-exclusive rights to the Version of Record, provided that, when reproducing the Version of Record or extracts from it, the Author acknowledges and references first publication in the Volume according to current citation standards. As a minimum, the acknowledgement must state: "First published in [Volume, page number, year] by Springer Nature".
- i. to reuse graphic elements created by the Author and contained in the Contribution, in presentations and other works created by them;
  - ii. the Author and any academic institution where they work at the time may reproduce the Contribution for the purpose of course teaching (but not for inclusion in course pack material for onward sale by libraries and institutions);
  - iii. to reuse the Version of Record or any part in a thesis written by the same Author, and to make a copy of that thesis available in a repository of the Author(s)' awarding academic institution, or other repository required by the awarding academic institution. An acknowledgement should be included in the citation: "Reproduced with permission from Springer Nature";
  - iv. to reproduce, or to allow a third party to reproduce the Contribution, in whole or in part, in any other type of work (other than thesis) written by the Author for distribution by a publisher after an embargo period of 12 months; and
  - v. to publish an expanded version of their Contribution provided the expanded version (i) includes at least 30% new material (ii) includes an express statement specifying the incremental change in the expanded version (e.g., new results, better description of materials, etc.).

#### **4 Warranties & Representations**

Author warrants and represents that:

- a)
- i. the Author is the sole copyright owner or has been authorised by any additional copyright owner(s) to grant the rights defined in clause 1,
  - ii. the Contribution does not infringe any intellectual property rights (including without limitation copyright, database rights or trade mark rights) or other third party rights and no licence from or payments to a third party are required to publish the Contribution,
  - iii. the Contribution has not been previously published or licensed, nor has the Author committed to licensing any version of the Contribution under a licence inconsistent with the terms of this Agreement,
  - iv. if the Contribution contains materials from other sources (e.g. illustrations, tables, text quotations), Author has obtained written permissions to the extent necessary from the copyright holder(s), to license to the Licensee the same rights as set out in

clause 1 but on a non-exclusive basis and without the right to use any graphic elements on a stand-alone basis and has cited any such materials correctly;

- b) all of the facts contained in the Contribution are according to the current body of research true and accurate;
- c) nothing in the Contribution is obscene, defamatory, violates any right of privacy or publicity, infringes any other human, personal or other rights of any person or entity or is otherwise unlawful and that informed consent to publish has been obtained for any research participants;
- d) nothing in the Contribution infringes any duty of confidentiality owed to any third party or violates any contract, express or implied, of the Author;
- e) all institutional, governmental, and/or other approvals which may be required in connection with the research reflected in the Contribution have been obtained and continue in effect;
- f) all statements and declarations made by the Author in connection with the Contribution are true and correct;
- g) the signatory who has signed this Agreement has full right, power and authority to enter into this Agreement on behalf of all of the Authors; and
- h) the Author complies in full with: i. all instructions and policies in the Instructions for Authors, ii. the Licensee's ethics rules (available at <https://www.springernature.com/gp/authors/book-authors-code-of-conduct>), as may be updated by the Licensee at any time in its sole discretion.

### **Cooperation**

- a) The Author will cooperate fully with the Licensee in relation to any legal action that might arise from the publication of the Contribution, and the Author will give the Licensee access at reasonable times to any relevant accounts, documents and records within the power or control of the Author. The Author agrees that any Licensee affiliate through which the Licensee exercises any rights or performs any obligations under this Agreement is intended to have the benefit of and will have the right to enforce the terms of this Agreement.
- b) Author authorises the Licensee to take such steps as it considers necessary at its own expense in the Author's name(s) and on their behalf if the Licensee believes that a third party is infringing or is likely to infringe copyright in the Contribution including but not limited to initiating legal proceedings.

### **Author List**

Changes of authorship, including, but not limited to, changes in the corresponding author or the sequence of authors, are not permitted after acceptance of a manuscript.

### **Post Publication Actions**

The Author agrees that the Licensee may remove or retract the Contribution or publish a

correction or other notice in relation to the Contribution if the Licensee determines that such actions are appropriate from an editorial, research integrity, or legal perspective.

**8 Controlling Terms**

The terms of this Agreement will supersede any other terms that the Author or any third party may assert apply to any version of the Contribution.

**9 Governing Law**

This Agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of the Republic of Singapore. The courts of Singapore, Singapore shall have the exclusive jurisdiction.

---

Signed for and on behalf of the Author	Print Name:	Date:
 <small>© 2021 Springer Nature Singapore Pte Ltd.</small> <b>NANCY FABIOLA LOPEZ VARGAS</b>		
Address:		
Email:		

Springer Nature Singapore Pte Ltd., 152 Beach Road, #21-01/04 Gateway East, Singapore 189721, Singapore  
ER\_Book\_ProceedingsPaper\_LTP\_ST\_v.1.0 (10\_2021)

## 4.0 Upkeep for oil pipelines in the petroleum industry: A scoping review

Nancy F. Lopez<sup>1</sup>[0000-0003-2938-483X] and Marcelo V. Garcia<sup>1,2</sup>[0000-0002-7138-3913]

<sup>1</sup> Universidad Tecnica de Ambato, UTA, 180103, Ambato, Ecuador  
{nlopez7788, mv.garcia}@uta.edu.ec

<sup>2</sup> University of Basque Country, UPV/EHU, 48013, Bilbao, Spain  
mgarcia294@ehu.eus

**Abstract.** The oil industry was one of the first to enter Industry 4.0. This happened because the activities they perform and the dynamic environments in which they operate forced them to evolve technologically, being propelled to protect their infrastructure, pipelines, and especially their personnel. This paper presents a scoping review, based on the PRISMA guidelines, of pipeline maintenance methodologies based on industry 4.0. The results show that predictive maintenance compared to preventive maintenance has a percentage difference in upkeep time optimization of 38% in the last five years. This difference was corroborated with a T-Student for independent samples, with a significance of 0.023. Likewise, the most used technologies were analyzed, with artificial intelligence standing out at 45.16%.

**Keywords:** scoping review· oil industry· 4.0 maintenance· predictive maintenance· artificial intelligence

### 1 Introduction

The oil industry is a complex and resource-intensive sector. The human capital in this field must be highly trained and accompanied by technological tools to facilitate their work [9]. They are often obliged to work remotely, as hostile environments endanger their physical integrity. For these reasons, energy extraction and maintenance of equipment and facilities are becoming increasingly arduous and costly [15].

The top management of this industrial sector, realizing that their facilities, specifically the crude oil transportation pipelines, are the cornerstone for their business to be highly productive, have had to look for new ways to optimize their investments, reduce costs and minimize risks, relying on the technological solutions that today's world offers [7].

Industry 4.0 within the oil and gas field has been looking for innovative and efficient ways that allow companies to facilitate maintenance management, and several tools and methodologies have emerged in recent years. Thanks to the

continuous monitoring of pipeline conditions and predictive analytics, appropriate maintenance can be scheduled without the need to incur significant losses of time and money. In addition, the cost-benefit analysis is favourable since it has demonstrated the reduction of unplanned downtime and a significant increase in productivity [3].

As described in previous paragraphs, this article proposes a scoping review of crude oil pipeline maintenance methodologies based on Industry 4.0 to provide a new and validated source of information on issues related to the oil and gas industry.

This article is divided into five sections, including the introduction. Section 2 presents the methodology followed in selecting the final sample of scientific articles. Section 3, on the other hand, shows the results of this research, where the literature review of the most used articles and types of maintenance during the last five years are presented. Section 4 answers and discusses the research questions posed in the methodology, and finally, Section 5 presents the conclusions.

## 2 Methodology

Like other literature reviews, [2, 6, 4], this research has been carried out following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis) guidelines, whose objective is to help authors of systematic reviews, scoping reviews, among others, to generate a document free of bias.

With this background, this review has focused on extracting information from various prestigious databases to which the authors have access, such as SpringerLink, MDPI, Scopus, ACM and IEEEExplore. In addition, three steps were considered in order to carry it out. i) Research questions, ii) document search, and iii) Paper selection.

### 2.1 Research questions.

A total of four research questions were formulated to understand the importance of using 4.0 technologies in pipeline maintenance in the oil industry.

1. What are the most used 4.0 technologies in pipeline maintenance?
2. What types of maintenance are most commonly used by the 4.0 industry?
3. What are the benefits of applying 4.0 technologies in pipeline maintenance?
4. What are the future challenges for 4.0 maintenance?

### 2.2 Document search.

A documentary search was conducted from 2017 to 2022. The search for documents in the different databases was carried out by entering the following combination of keywords: ("oil pipes" AND ("maintenance" OR "servicing" OR "upkeep")); ("oil and gas industry" AND ("maintenance techniques" OR "servicing techniques" OR "upkeep techniques")); ("oil and gas industry" AND ("4.0

---

maintenance" OR "4.0 servicing"); ("oil pipes" AND "digitization"), which had to appear in the context and summary of each document. These words relate to the research questions, considering that the search's central axis corresponded to 4.0 maintenance.

### **2.3 Paper Selection.**

This section was divided into five phases. In the first phase, eligibility criteria were established, which are shown below:

- Study design: All papers whose main objective was to improve the pipeline maintenance process by applying one or more of the Industry 4.0 technologies were selected. Literature reviews and duplicate studies were discarded.
- Time range: Papers published from 2017 to 2022 were selected; articles that did not meet this criterion were discarded.
- Language: Only articles written in English were selected.
- Publication Status: Articles published in conference proceedings or indexed journals were considered, and it was also verified that they had DOI (Digital Object Identifier).

The second phase sorted the documents by relevance, title, abstract and keywords. In this way, it was possible to analyze the documents hierarchically, obtaining, in the first place, the most recent technologies with the most significant benefit for pipeline maintenance. Then, in the third phase, we reviewed whether the information shown in the introduction, results and conclusions provided the necessary data to answer the research questions in depth required by this document.

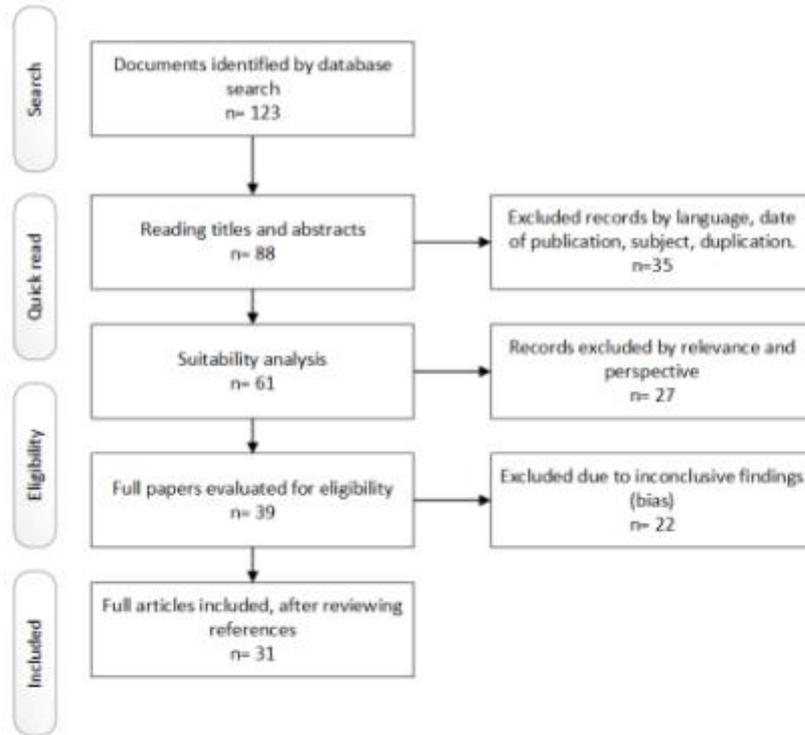
In phase four, a bias analysis was performed, i.e., it was verified that there is no tendency in the selection or preparation of the information. In order to carry out this phase, the Cochrane tool was used [11]. Finally, the references were verified. The summary of the documents obtained at each stage is presented according to the PRISMA guidelines in figure 1.

## **3 Results**

### **3.1 Literature review.**

This section presents a summary of the most relevant papers within this scoping review.

A corrosion degradation model was built under a pressure failure criterion in this research work. The objective of this strategy focuses on identifying where and when to intervene in oil pipelines to avoid significant economic losses and excessive downtime. On the other hand, a cost analysis was also carried out, in which it was concluded that the investment in case of failure of a pipeline is 20 million more than the investment in predictive maintenance. Among the limitations found, it can be mentioned that pipeline integrity assessment is incomplete



**Fig. 1.** PRISMA flow diagram.

since a holistic assessment should include a space-dependent degradation process caused by external defects [1].

[16] employ 4.0 technologies such as cloud computing with integrated platforms such as Google Cloud Platform, and Microsoft Azure Cloud Platform, among others, to create a lightweight, fast and efficient application to predict the most common pipeline failures. The images taken from the pipelines are transformed through Big Data processes, thus ensuring that the data is consistent. On the other hand, Machine Learning algorithms have also been used to identify patterns in the data obtained and thus develop more accurate forecasts. As a result, an accuracy of up to 0.98 was achieved with a minimum loss of 0.006. Furthermore, the use of this technology for pipeline maintenance was compared with standard leak detection methods, obtaining encouraging results.

Within non-destructive testing in oil pipelines, one of the main fields of research refers to the detection of welding defects. Due to this, several techniques have been developed to detect defects, segment the defective area or classify such faults. However, although very useful, these techniques do not cover the necessary spectrum, having to be mixed with several additional techniques. To solve these drawbacks, [10] proposes the application of machine learning for the real-time processing of welding radiographs. The digital detector array method was employed. The most important contribution of this research was creating

a web service based on neural networks that detect welds, segment them and classify pipeline defects in real-time.

After applying UltraScan Circumferential Crack-Like Detection technology for oil pipeline inspection, [5] present the results. In recent years, the integrity of circumferential welds has become more relevant. These failures generally occur during oil field construction and are subject to external loads due to earth movement. It is necessary to mention that, in newly constructed pipelines, these failures also exist. However, they are more challenging to detect due to their size. One hundred two flaws with an average width of 0.8 mm were considered for the probability of detection. These were classified concerning their relative position to the weld. Of the 36 defects present in the weld (first category), 35 were detected, corresponding to a detection rate of 97%. Finally, for the other category, the detection rate was 92%.

Several pipeline diagnostic, predictive, and information management technologies have emerged with the industrial revolution we currently find ourselves in. Thus, digital twins have become the cornerstone in oilfield equipment production, operation and maintenance. [14], present a case study on the Sino-Myanmar pipelines, where they use AI based on digital twins to predict oil demand. As a complement to this system, it is intended to optimize the operation of the pipelines in real-time and manage an intelligent diagnosis, in which the most common failures within this industry can be detected.

[17], propose several options to prevent the number of pipeline adverse events caused by facility malfunctions, human errors, accidents and external events. This research work aims to implement a visualization and prediction software based on Structured Query Language and Geographic Information Systems. This system processes crucial information such as the state of the pipeline infrastructure, transported volumes, land use and areas affected by oil incidents. Among the alternatives presented in this document, two stand out: i) databases and geo-reference visualization tools for risk management; and ii) the implementation of SCADA systems to monitor and detect possible leaks.

The IoT has gained importance in recent years, its application spectrum has grown in such a way that its functionality has been extended to industry, adapting and changing its name to the industrial internet of things (IIoT). However, both terms can be used interchangeably when the context is known. [13], focus their research on detecting pipeline leaks via the (IoT). Pipeline pressure signals are stored and processed, and leaks are detected through the harmful pressure wave method. The case study uses a 100 m long pipeline with 50 oil leakage points. The authors concluded that, although the system has some room for improvement, it can effectively determine the existence of pipeline leaks.

In the United States, the Department of Energy and Transportation has made it a priority to contain pipeline leaks promptly. Although this aspect is important, economic and time losses are still incurred. [12] propose the use of unmanned aerial systems or drones for the inspection of pipeline networks in order to detect leaks or failures on time. They use a combination of drones and human ground teams to reduce pipeline maintenance time. They have also used

mixed integer programming methods to optimize routes and reduce the arrival time of the drones.

## 4 Discussion

The 31 articles previously selected contain enough information to be able to issue a scientific criterion regarding maintenance using 4.0 technologies within the oil industry. Next, the questions posed in section 2 are answered.

### 1. What are the most used 4.0 technologies in pipeline maintenance?

Within the results shown in the previous section, it can be understood that AI and cobots, as core technologies, are the backbone of predictive maintenance and, in part, preventive maintenance. Through AI and cobots real-time data can be collected from different sites and devices, which are the basis for generating intelligent algorithms to anticipate pipeline failures. The IoT supports them, a technology that allows the intercommunication of devices and the storage of the information generated. In general, the exemplified case studies are adapted to the following steps for implementing this new tool: i) Data collection, it is necessary to generate relevant data, i.e., quality information, to build optimal models with small margins of error. Here the equipment configuration is essential since external factors must also be considered to obtain clean information. ii) Data cleaning, having as much data as possible can be considered an advantage. However, it is always necessary to analyze the value of the data, filter and classify them.

iii) Interpret prediction needs, i.e., combine and complement data obtained from devices, machinery or facilities to generate robust and accurate models. What must be taken into account is the error history so that the algorithm includes normal and failure patterns, maintenance history, critical factor to know where and when to work, operating conditions, to determine the environment in which it is working and verification if the life of each equipment is dynamic to those conditions. iv) View the results critically to culminate the feedback process. This allows the maintenance personnel to correct any biases found. v) Implementation, working with the models generated and data obtained in real-time.

### 2. What types of maintenance are most commonly used by the 4.0 industry?

The information gathered showed that Industry 4.0 focuses more on predictive and preventive maintenance, specializing in the former. One of the reasons for not finding corrective maintenance within this field is the high cost generated once an installation or oil machinery fails. Furthermore, the unplanned stoppage of the tasks also entails mechanical collateral damage, loss of time and non-compliance with the demand. In addition to these reasons, the environmental damage that a simple oil leak can generate must be taken into account, considering that most of these industries are located in priceless natural resources.

Predictive maintenance allows taking care of the heart of modern industries and factories, i.e., machinery and facilities. Furthermore, combining the human factor with technologies such as the IoT, big data, cobots, and AI allows for communicating data efficiently and constantly, warning of any anomaly, thus optimizing the production cycle. In addition, it can be mentioned that in the last five years, this maintenance has gained strength since the top management of industries has realized its value and the benefits it represents. In fact, at the general industry level, it is estimated that this maintenance represents forty percent savings in maintenance costs [8].

**3. What are the benefits of applying 4.0 technologies in pipeline maintenance?**

By using the digital world in which the industry currently finds itself, it is possible to obtain great benefits, which can be summarized in a single sentence: Optimize the fidelity and availability of machinery and facilities at the lowest cost. However, it is necessary to establish in detail the utility that this type of technology can add to the maintenance of oil pipelines: i) Automatic planning of maintenance, having previous or historical information of maintenance, allows algorithms to determine how often the pipelines should be checked for faults and predict the useful life of its components. ii) Optimization of overall productivity, by not having unscheduled stops or unnecessary downtime, the value chain of the oil industry improves its times and overall profitability.

iii) Increased profitability of machinery when preventive maintenance is applied, the useful life of machinery and equipment is extended, making them more reliable and increasing their availability exponentially. iv) Decrease in the loss of product and raw material. Not considering an oil pipeline leak or suffering any breakdown can cause the crude oil to be wasted and useless. v) Reduction of labour accidents, the fact of having machinery working at its optimum level, is synonymous with efficiency and reliability. Therefore, the flaws that may occur, if they do, are not a threat to the integrity of people. vi) Reduction of environmental damage. Preventive maintenance focused on the oil industry is based on two essential axes, the prevention of spills in the unloading process and the integrity of assets. With these characteristics, the probability of failure and contamination is very low, allowing pipelines and their environment to coexist.

**4. What are the future challenges for 4.0 maintenance?**

Although significant progress has been made in using 4.0 technologies, there are still things to be corrected and polished. Therefore, one of the significant challenges is to balance human resources work with the integrated intelligent devices so that the coordination between the two is accurate and reduces time even more.

Maintaining current technologies and keeping pace with technological advancement are critical when discussing the automated maintenance process. However, having installed or purchased a predictive system and obtaining encouraging results is not all. It is only the beginning of the technological transformation. For this reason, the oil industry must have highly trained

---

and young personnel who know how to adapt to changes and maintain the maintenance system, i.e., constantly feed it with data and investigate other low-cost technologies that can complement and improve its current architecture.

## 5 Conclusions

This article has presented a scoping literature review summarizing the most relevant information of the last five years regarding pipeline maintenance methodologies based on Industry 4.0. Sophisticated systems and architectures have been analyzed, concluding that implementing preventive maintenance plans, in conjunction with innovative technologies such as AI, IoT and cobots, considerably reduces costs in the value chain, optimizes maintenance process times and preserves the integrity of human resources.

Industry 4.0 was the beginning of the technological transformation, where there was the necessary time to know its benefits and applications. However, the oil industry must keep up with this evolution, always flexible and open to the rapid changes that the expert environment demands.

## Acknowledgment

This work was financed by Universidad Tecnica de Ambato (UTA) and their Research and Development Department (DIDE) under project PFISEI31

## References

1. Amaya-Gómez, R., Sánchez-Silva, M., Muñoz, F.: Integrity assessment of corroded pipelines using dynamic segmentation and clustering. *Process Safety and Environmental Protection* **128**(19), 284–294 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.049>
2. Anil Yasin, A., Abbas, A.: Role of gamification in Engineering Education: A systematic literature review. In: 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). pp. 210–213. IEEE (apr 2021). <https://doi.org/10.1109/EDUCON46332.2021.9454038>, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9454038/>
3. Basco, A., Beliz, G., Coatz, D., Garnero, P.: *Industria 4.0 Fabricando el futuro*. Buenos Aires (2018)
4. Castillo, S., Grbovic, P.: The APISSER Methodology for Systematic Literature Reviews in Engineering. *IEEE Access* **10**, 23700–23707 (2022). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3148206>, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9698182/>
5. Dai, L.S., Feng, Q.S., Xiang, X.Q., Sutherland, J., Wang, T., Wang, D.P., Wang, Z.J.: Application of USCCD on girth weld defect detection of oil pipelines. *Applied Sciences (Switzerland)* **10**(8) (2020). <https://doi.org/10.3390/APP10082736>

6. dos Santos Silva, M.J., Dias, P.: The relationship between taxation and foreign direct investment: A systematic literature review. In: 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). pp. 1–6. IEEE (jun 2021). <https://doi.org/10.23919/CISTI52073.2021.9476249>, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9476249/>
7. Fataliyev, T.K., Mehdiyev, S.A.: Analysis and New Approaches to the Solution of Problems of Operation of Oil and Gas Complex as Cyber-Physical System. *International Journal of Information Technology and Computer Science* **10**(11), 67–76 (2018). <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2018.11.07>
8. FUJITSU: El Mantenimiento Predictivo en la Industria 4.0 p. 34 (2019)
9. Garcia, C., Naranjo, J., Ortiz, A., Garcia, M.: An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector. In: IFAC-PapersOnLine. vol. 52 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.222>
10. Golodov, V., Maltseva, A.: Approach to weld segmentation and defect classification in radiographic images of pipe welds. *NDT E International* **127**, 102597 (apr 2022). <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2021.102597>, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963869521001961>
11. Higgins, J., Green, S.: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* (2008). <https://doi.org/10.1109/ISIT.2017.8006970>
12. Lee, A., Dahan, M., Amin, S.: Integration of sUAS-enabled sensing for leak identification with oil and gas pipeline maintenance crews. 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2017 pp. 1143–1152 (2017). <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991525>
13. Li, X.L., Wan, P., Zhang, H.T., Li, M., Jiang, Y.H.: The Application Research of Internet of Things to Oil Pipeline Leak Detection. 2018 15th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing, ICCWAMTIP 2018 pp. 211–214 (2019). <https://doi.org/10.1109/ICWAMTIP.2018.8632561>
14. Lian, J., Zhao, L., Li, Z., Xie, R.: Application of artificial intelligence technologies in intelligent diagnosis of crude oil pipelines. In: Sarfraz, M., Cen, M.M. (eds.) *International Symposium on Computer Applications and Information Systems (ISCAIS 2022)*. p. 27. SPIE (may 2022). <https://doi.org/10.1117/12.2639551>, <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/12250/2639551/Application-of-artificial-intelligence-technologies-in-intelligent-diagnosis-of-crude/10.1117/12.2639551.full>
15. Lozada-Martinez, E., Naranjo, J., Garcia, C., Soria, D., Toscano, O., Garcia, M.: SCRUM and Extreme Programming Agile Model Approach for Virtual Training Environment Design. In: 2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019 (2019). <https://doi.org/10.1109/ETCM48019.2019.9014882>
16. Srivastava, G., More, Y., Sam, J.: Integrated Cloud Cockpit: A viable approach to surveillance and detection of leaks in oil pipelines. *EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems* **5**(15), 162215 (2019). <https://doi.org/10.4108/eai.16-7-2019.162215>
17. Suarez Suarez, R.G., Dumon, F.C., Barragan, L.S., McCarthy, J., McFadyen, D.: A zero accident strategy for oil pipelines: Enhancing HSE performance. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Environment, and Sustainability 2020, HSE and Sustainability 2020* pp. 1–15 (2020)