

Realidad Aumentada Aplicada en la Supervisión, Mantenimiento de Equipos y Procesos Industriales

Augmented Reality Applied in the Supervision, Maintenance of Equipment, and Industrial Processes

Byron Mauricio Álvarez Brito¹ , Grace Estefanía Muñoz Macías² , Henry Neurio Mero Briones³ , Carolina Michelle Muñoz Macías⁴ .

¹ Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, b.alvarez@istlam.edu.ec, Manta, Ecuador

² Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, g.munoz@istlam.edu.ec, Manta, Ecuador

³ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, carolinam.munoz@uleam.edu.ec, Manabí, Ecuador

⁴ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, henry.mero@uleam.edu.ec, Manabí, Ecuador

Autor para correspondencia: g.munoz@istlam.edu.ec

RESUMEN

En la era actual de la industria, la aplicación de la Realidad Aumentada (RA) ha emergido como una herramienta fundamental para mejorar la supervisión y el mantenimiento de equipos y procesos industriales. Este estudio se enfocó en abordar la creciente necesidad de optimizar la eficiencia y la seguridad en entornos industriales complejos. El problema central abordado fue la falta de eficacia en la supervisión y el mantenimiento tradicionales, que a menudo resulta en tiempos de inactividad no planificados y costos significativos. El objeto de estudio fue la implementación de soluciones de RA para mejorar la visualización de datos en tiempo real y proporcionar asistencia guiada a técnicos de campo. El campo investigativo se enmarca en la intersección de la tecnología de RA en la industria, explorando sus aplicaciones prácticas y beneficios potenciales. El objetivo de esta investigación es reducir tiempos de inactividad, mejorando la toma de decisiones y aumentando la eficiencia operativa. La metodología empleada incluye casos de implementación de RA en la industria. Se han examinado tecnologías de RA específicas, como sistemas de seguimiento de activos, visualización de datos en tiempo real y capacitación de técnicos. En conclusión, este estudio demuestra que la aplicación de la Realidad Aumentada en la supervisión y el mantenimiento industrial es altamente efectiva para mejorar la eficiencia y la seguridad, reduciendo costos y aumentando la productividad. La RA se presenta como una solución innovadora y prometedora para abordar los desafíos actuales en la gestión de equipos y procesos industriales.

Palabras clave: Realidad Aumentada, Eficiencia, Supervisión, Mantenimiento industrial

ABSTRACT

In the current era of the industry, the application of Augmented Reality (AR) has emerged as a fundamental tool for enhancing supervision and maintenance of industrial equipment and processes. This study focused on addressing the growing need to optimize efficiency and safety in complex industrial environments. The central issue addressed was the lack of effectiveness in traditional supervision and maintenance, which often results in unplanned downtime and significant costs. The object of study was the implementation of AR solutions to improve real-time data visualization and provide guided assistance to field technicians. The research field is framed within the intersection of AR technology in the industry, exploring its practical applications and potential benefits. The aim of this research is to reduce downtime, improve decision-making, and increase operational efficiency. The methodology employed includes cases of AR implementation in the industry. Specific AR technologies, such as asset tracking systems, real-time data visualization, and technician training, have been examined. In conclusion, this study demonstrates that the application of Augmented Reality in industrial supervision and maintenance is highly effective in improving efficiency and safety, reducing costs, and increasing productivity. AR emerges as an innovative and promising solution to address current challenges in the management of industrial equipment and processes.

Key words: Augmented Reality, Efficiency, Supervision, Industrial maintenance

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más automatizado e interconectado, la industria enfrenta el desafío constante de mejorar la eficiencia y la confiabilidad de sus operaciones. En este contexto, la Realidad Aumentada (RA) ha surgido como una tecnología disruptiva con el potencial de transformar la supervisión y el mantenimiento de equipos y procesos industriales. La RA permite la superposición de información digital sobre el entorno físico, brindando a los técnicos y operadores acceso instantáneo a datos críticos y guías visuales. Esto promete reducir tiempos de inactividad no planificados, aumentar la eficiencia y mejorar la seguridad en entornos industriales complejos.

En la actualidad el área de ingeniería se encuentra en un proceso de digitalización industrial como parte de la implementación de la denominada Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, siendo la Realidad Aumentada (RA) una tecnología que comunica de forma interactiva el mundo real con el digital.

La aplicación de la RA en los procesos de supervisión y mantenimiento mejora la eficiencia, produc-

tividad, calidad y seguridad en la industria, permitiendo tener acceso inmediato a la información necesaria, relevante y en tiempo real para el proceso de monitorización, mantenimiento y reparación de los equipos industriales. Smith y Johnson (2020) describen cómo la tecnología de RA se ha utilizado para capacitar a técnicos en la identificación y solución de problemas en sistemas industriales complejos, lo que ha llevado a una reducción significativa en los tiempos de inactividad y a un aumento en la eficiencia operativa. Esto ayuda a mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo, lo que aumentará la eficiencia en el control, en las operaciones y en la seguridad en las maniobras.

Considerando que la RA no es invasiva y no sustituye a la realidad como tal, al contrario, la complementa y la nutre de información digital obtenida del entorno operativo en el que se aplica, como el caso de García y Pérez (2019) que presentan un marco de implementación de Realidad Aumentada para el mantenimiento de redes eléctricas. El artículo se basa en la necesidad de optimizar la supervisión y el mantenimiento de sistemas eléctricos críticos. La investigación muestra cómo la RA puede mejorar la identificación de fallos y la eficacia de las reparaciones, cumpliendo con los estándares de seguridad eléctrica y reduciendo riesgos para los técnicos.

La industria enfrenta desafíos inherentes en la supervisión y mantenimiento industrial, como la complejidad de los equipos, la necesidad de intervenciones oportunas y la capacitación continua del personal. Estos retos han impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras que puedan abordar las demandas crecientes de precisión y eficiencia. En este contexto, la hipótesis que sustenta este estudio se centra en la idea de que la aplicación de la realidad aumentada en la supervisión y mantenimiento en la industria puede ofrecer mejoras sustanciales en términos de diagnóstico de problemas, toma de decisiones y capacitación de personal. Es necesario explorar cómo la realidad aumentada ha sido aplicada en situaciones prácticas, cuáles han sido sus impactos y cuál es el potencial futuro de esta tecnología en el ámbito industrial.

El propósito de este estudio es analizar en profundidad la aplicación de la realidad aumentada en la supervisión y mantenimiento industrial, a través de la exploración de casos de estudio y la revisión de la literatura relevante, se buscará esclarecer sobre las ventajas y desafíos de esta tecnología y proporcionar una comprensión sólida de su potencial para revolucionar la industria. Por lo tanto, se delinear

como objetivos; analizar las aplicaciones actuales de la realidad aumentada en la industria, evaluar los beneficios y desafíos asociados con la implementación de esta tecnología y proyectar posibles direcciones futuras en la convergencia de la realidad aumentada y la supervisión de equipos en la industria.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo documental transversal prospectiva cuyo diseño se basó en un enfoque cualitativo, el alcance de la investigación es descriptivo – explicativo, donde se analizó información, documentación relevante actual de empresas en el diseño, desarrollo e implementación de sistema de RA en el área de industrial, control y automatización, de la misma manera se observaron estudios de casos de aplicación múltiples sobre la realidad aumentada aplicada en la supervisión, mantenimiento de equipos y procesos industriales.

Industria 4.0

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, representa una transformación fundamental en la forma en que se conciben y ejecutan los procesos de producción y fabricación. En la Industria 4.0, la convergencia de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la automatización avanzada permite la creación de fábricas inteligentes y sistemas de producción altamente eficientes. Estos sistemas pueden operar de manera autónoma, comunicarse entre sí y tomar decisiones en tiempo real basadas en datos, lo que conduce a mejoras significativas en la eficiencia, la calidad y la personalización de la producción (Baur et al., 2019).

El principal propósito de la industria 4.0 se centra en consolidar los objetos inteligentes, productos autónomos, y procesos de toma de decisión usando nuevas tecnologías como la computación en la nube mediante la convergencia de hardware y software (Ortiz Clavijo et al., 2018).

Gemelo digital

Un gemelo digital es una representación dinámica virtual de un sistema físico, que es conectado a él durante todo el ciclo de vida para el intercambio de datos bidireccional (Trauer et al., 2020).

Este modelo se alimenta de datos suministrados por sensores IoT conectados a los objetos físicos, para replicar y simular su conducta virtualmente. La información obtenida es procesada a través de tecnologías como el machine learning para simular el comportamiento que presentaría un objeto al integrar nuevas funcionalidades o sufrir modificaciones en su diseño.

Es importante aclarar que un gemelo digital no es lo mismo que un programa de simulación: mientras este último estudia elementos en particular, un gemelo digital opera a mayor escala como cadenas logísticas o procesos industriales gracias a que genera todo un entorno virtual (AI of Things, 2022).

Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que combina elementos del mundo real con elementos generados por computadora para enriquecer la percepción del usuario. A través de dispositivos como gafas inteligentes o aplicaciones móviles, la RA superpone información digital, como gráficos, videos o datos en tiempo real, en el entorno físico del usuario. Esto permite la interacción en tiempo real entre el mundo físico y el virtual, mejorando diversas aplicaciones, desde la educación y la atención médica hasta el entretenimiento y el mantenimiento industrial (Smith, 2020). Incluyendo la arquitectura, la navegación, la capacitación técnica, supervisión y mantenimiento industrial, con el propósito de enriquecer la percepción y proporcionar información contextual (Gómez, 2019).

La Realidad Aumentada se puede experimentar empleando un ordenador, una tablet, un smartphone o una consola de videojuegos. De estos dispositivos se destaca el uso de la cámara, de la pantalla y del microprocesador con la suficiente capacidad para soportar un programa de realidad aumentada (Grassi, 2021).

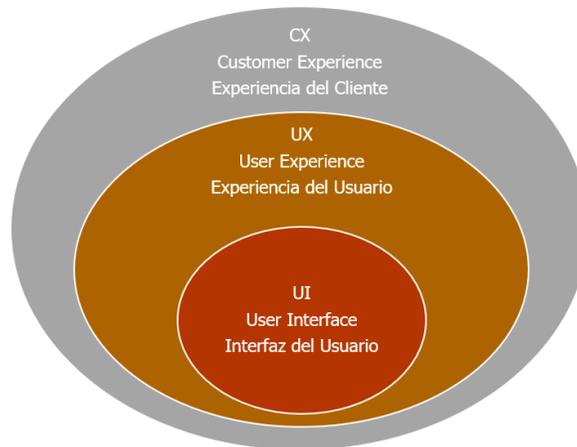
Además de los elementos de hardware y software mencionados, son necesarios elementos activadores de realidad aumentada, estos elementos pueden ser marcadores, imágenes, objetos, códigos QR o puntos geolocalizados (Padua, 2023).

La nueva era de las Experiencia Cliente (CX) inmersivas

El término (experiencia del cliente) CX representa la interactividad entre un cliente y un servicio/ producto que proporciona valores sensoriales, emocionales, cognitivos, conductuales y relacionales al cliente; su objetivo final es construir una experiencia holística (Lee et al., 2018).

La UX (Experiencia del usuario) es la experiencia que los usuarios tienen con los sistemas de una empresa, mientras que la UI (Interfaz de usuario), se asegura de que la interfaz de estos sistemas brinde una excelente experiencia. La Digital Customer Experience se centra en los procesos tanto de front-end (el diseño que ve el público) como de back-end (la programación detrás de estos procesos) (Del Prado, 2021).

Figura 1. Relación entre CX/UX/UI



Nota. Cuando hablamos de dispositivos IoT, nos referimos a la interconexión de objetos a internet o entre sí. Podemos referirnos desde un smartphone hasta un auto, electrodoméstico, reloj, televisor, entre otros; con el diseño web los usuarios podrán interactuar con los contenidos de una forma más original, creativa e inmersiva (Domínguez, 2019).

Diferencia entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual

La Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) son dos tecnologías inmersivas que comparten el objetivo de ofrecer experiencias digitales envolventes, pero se diferencian en cómo interactúan con el entorno del usuario.

La RA combina elementos del mundo real con objetos virtuales o información generada por computadora. Los usuarios de RA ven el mundo real a través de un dispositivo, como un teléfono inteligente o unas gafas, y los elementos digitales se superponen a su vista. Esto permite a los usuarios interactuar con objetos virtuales mientras aún están conscientes de su entorno real. Por ejemplo, aplicaciones de RA pueden mostrar información adicional sobre objetos físicos, como etiquetas de productos en una tienda.

Por otro lado, la RV sumerge completamente al usuario en un entorno digital. Los usuarios de RV utilizan dispositivos como auriculares o cascos que bloquean por completo su vista del mundo real y los transportan a un mundo virtual. En la RV, los usuarios pueden interactuar con un entorno completamente simulado y a menudo pueden moverse y explorar este entorno virtual. (Azcárate et al., 2017).

Funcionamiento del Sistema de Realidad Aumentada en los sistemas eléctricos

Un sistema de RA, no se considera nada complejo, el cual está compuesto de dispositivos de interfaz, herramientas informáticas de adquisición, comunicación y administración de datos. Primero se necesita un dispositivo de interfaz de visualización e interacción, en seguida se requiere un modo de detección o reconocimiento del escenario, entonces interviene la plataforma del sistema informático digital, para el desarrollo, diseño adquisición e integración de datos y por último el interfaz del usuario o aplicativo RA.



Figura 2. Elementos y funcionamiento de Realidad Aumentada

Nota. La figura muestra cada uno de los elementos que componen un sistema de realidad aumentada y su funcionamiento. Autoría propia.

- **Dispositivos Hardware Interfaz:** en el ámbito de la RA, existen diversos dispositivos y tecnologías que se utilizan para el reconocimiento de escenarios. Estos dispositivos son herramientas que permiten identificar y rastrear el entorno físico para superponer elementos virtuales de manera coherente. Algunos de los dispositivos comunes utilizados para el reconocimiento de escenarios en la RA son Smartphones y Tabletas los que están equipados con cámaras y sensores, Gafas RV y Visión artificial como HoloLens de Microsoft o Google Glass. (Billinghurst & Duenser, 2021).
- **Modo de detección:** Markers Tracking o Fimark, reconoce una situación mediante etiquetas, patrones, Tag o QR, otra de las formas de reconocimiento es mediante imágenes 2D o fotografía, realizando una detección rápida y fácil sin fallas en todos los casos, la cámara del dispositivo digital lo reconoce y devuelve una imagen, botón de acción, punto de interés o animación en 3d, dando lugar a la RA, además del reconocimiento de visión artificial, también otro método de identificación es la georeferenciación o geolocalización el dispositivo inteligente dotado de GPS utiliza la información de las coordenadas. (Wilches & Figueroa, 2019).
- **Plataforma de Desarrollo:** Existen en el medio plataformas de desarrollo de RA, como Unity 3D, ARKit/ARCore, Vuforia, EcoStruxure™ Augmented Operator Advisor para construir la aplicación móvil.
- **Diseño de Contenido de RA:** Se crearán modelos 3D, gráficos y animaciones que se superpondrán a elementos del entorno eléctrico. Esto podría incluir representaciones visuales de sistemas eléctricos, indicadores de estado en tiempo real y guías de mantenimiento, Blippar, EcoStruxure™ Augmented Operator Advisor Builder. (Billinghurst et al., 2015).
- **Adquisición e Integración de Datos en Tiempo Real:** Es una funcionalidad que permite la integración de datos en tiempo real de la información digital de los sistemas industriales, como señales de sensores, lectura de dispositivos IoT, estado de equipos, bitácoras de mantenimiento y datos de diagnóstico e inteligencia artificial, para la integración y administración de estas bases de datos se utilizan herramientas como; Node-Red, Influx DB, Sql Server, EcoStruxure™ Augmented Operator Advisor Runtime. (Harris, 2018).

- Interfaz del Usuario - Aplicativo: Se diseñará una interfaz de usuario intuitiva para permitir a los usuarios interactuar con la aplicación y acceder a la información en tiempo real. EcoStruxure™ Augmented Operator Advisor App.

Implementación de Realidad Aumentada en la arquitectura de los sistemas de automatización eléctrica industrial

La automatización industrial se ha convertido en un pilar fundamental en la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia y la garantía de la calidad en la producción. En el corazón de este campo se encuentra la arquitectura de sistemas de automatización industrial, una estructura organizativa que divide las funciones y componentes esenciales en tres niveles o capas interconectadas. Estos niveles, que abarcan desde los dispositivos físicos en el campo hasta las poderosas aplicaciones de análisis de datos, trabajan en conjunto para supervisar, controlar y mejorar las operaciones industriales. En esta exploración, examinaremos en detalle cada uno de los niveles y su importancia en la gestión eficaz de la automatización industrial, así como su papel en la recopilación de datos, la toma de decisiones y la optimización de los procesos industriales. Desde el primer nivel de sensores y actuadores hasta el tercer nivel de análisis de datos avanzados, descubriremos cómo esta arquitectura esencial ha revolucionado la forma en que las industrias gestionan y mejoran sus operaciones diarias.

Los tres niveles o capas fundamentales de la arquitectura de un sistema de automatización industrial son: 1ro Dispositivos conectados, 2do Sistemas de Supervisión y Control y 3ro Sistema de Análisis de Datos, Servicios y Apps, los cuales detallamos a continuación:

1. Dispositivos conectados: en esta capa encontramos elementos que reportan información en los sistemas de automatización, como son los sensores, transductores, instrumentos IoT, sensores inteligentes, registradores multiparámetros en línea y actuadores, todos estos conectados en la red.
2. Sistemas de Supervisión y Control: en este nivel encontramos los dispositivos de lógica programada como PLC's, Autómatas, o sistemas de control distribuido, HMI's, sistemas SCADA y IoT Box.
3. Sistema de Análisis de Datos, Servicios y Apps: en esta última capa se conforma de aplicaciones que administran gran portafolio de servicios, como analítica, monitorización y visualización de datos en tiempo real (Dashboard), servicio de administración de redes, servicios en la nube, inteligencia artificial y es aquí donde se aloja el servidor de realidad aumentada.

Este servidor de RA permite hacer la convergencia entre el mundo de la tecnología de la operación (OT) con el mundo de tecnología de la información (IT), desde los dispositivos conectados se genera información que es recolectada y tabulada por los sistemas de supervisión y control, esta información es almacenada y analizada en el sistema de análisis de datos, servicios y apps, donde el sistema de RA se alimenta y ejecuta, devolviendo información a través de la interfaz del usuario, por medio de una red inalámbrica que puede ser de tipo industrial o comercial como la 4G. El resultado es una integración de la RA en la arquitectura convencional de los sistemas de automatización eléctrica industrial. (Schneider, 2018).

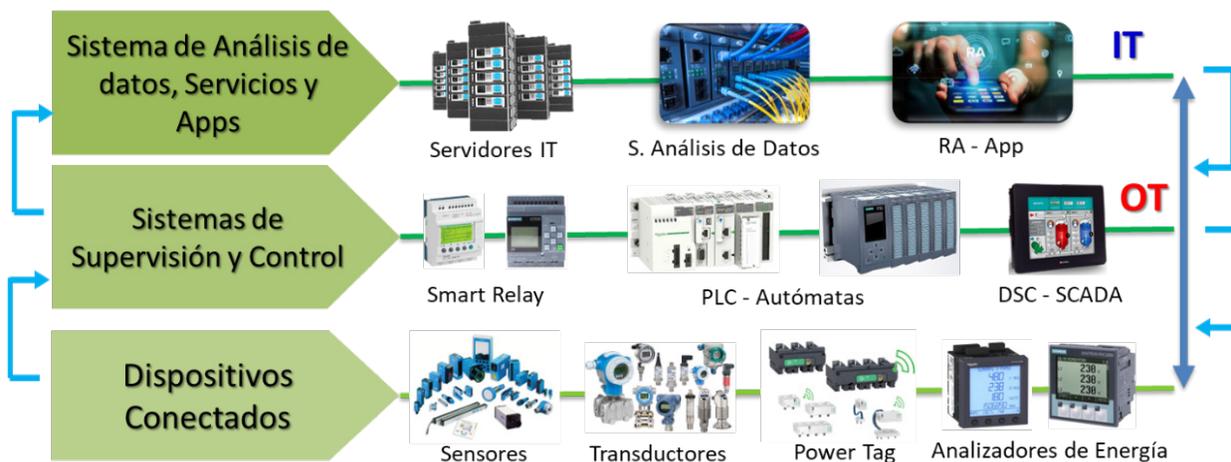


Figura 3. Arquitectura de un Sistema de Automatización Industrial

Nota. La figura describe la estructura convencional de un sistema de automatización industrial y la integración de la Realidad Aumentada en la misma. Autoría propia.

Aplicaciones de la Realidad aumentada en la automatización de los sistemas eléctricos

1. Formación de Operadores y Técnicos: Utilización de la RA para proporcionar capacitación a operadores y técnicos industriales mediante simulaciones interactivas y visualización de información relevante en tiempo real (Kopp et al., 2017).
2. Supervisión, Control y Monitoreo: Visualización de datos en tiempo real a través de dispositivos de RA para permitir a los operadores monitorear y controlar procesos industriales críticos (Wu & Zhou, 2018).
3. Asistencia en Mantenimiento y Reparación: Utilización de gafas de RA que proporcionan a los técnicos acceso a manuales de servicio y guías de reparación en tiempo real mientras trabajan

- en máquinas y equipos industriales (Billinghurst et al., 2015).
4. Diagnóstico de Elementos Eléctricos y Electrónicos: Utilización de cascos de RA para diagnosticar fallos y problemas en componentes eléctricos y electrónicos, proporcionando información visual y datos en tiempo real para el análisis (Qian et al., 2018).
 5. Mapeo en Armarios Extensos: Utilización de la RA para el mapeo y la visualización de sistemas eléctricos y electrónicos en armarios extensos, facilitando la identificación de componentes y conexiones (Zhang et al., 2016).
 6. Diseño y Prototipado de Productos: En el proceso de diseño industrial, la RA se utiliza para visualizar prototipos virtuales en el mundo real. Los diseñadores pueden interactuar con modelos tridimensionales y hacer ajustes en tiempo real, lo que acelera el desarrollo de productos y reduce los costos de prototipado físico (Billinghurst & Duenser, 2021).
 7. Control de Calidad e Inspección Visual: La RA se utiliza para inspeccionar piezas y componentes de manera más eficiente. Los inspectores pueden ver superpuestas especificaciones de calidad, identificar defectos y registrar datos de inspección en tiempo real. Esto garantiza una mayor precisión en el control de calidad (Azcarate et al., 2017)
 8. Prevención de Riesgos Laborales: Aplicación de la RA para prevenir riesgos laborales al proporcionar a los trabajadores información visual sobre zonas peligrosas y prácticas seguras en tiempo real (Cacace et al., 2018).
 9. Ubicación y Georreferenciación: Utilización de la Realidad Aumentada para la ubicación y la georreferenciación precisa de componentes y equipos en entornos industriales, mejorando la eficiencia en la navegación (Ribeiro et al., 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo de esta investigación se llevó a cabo el análisis de la Realidad Aumentada (RA) aplicada a la supervisión y mantenimiento de equipos y procesos industriales donde ha demostrado ser altamente beneficiosa en varios aspectos clave.

Los beneficios que trae esta tecnología son muchos; como reducir tiempos de formación, como se ha documentado en investigaciones previas (Meldrum et al., 2018), la RA facilita la capacitación más rápida y

efectiva de técnicos y operadores, con acceso inmediato, ya que proporciona simulaciones interactivas y visualizaciones en tiempo real. Esto se traduce en una reducción significativa de los tiempos de formación y una mayor eficiencia en la incorporación de nuevos trabajadores.

Así mismo el facilitar tareas de mantenimiento complejas, los hallazgos respaldados por Hincapié-Ramos, Guo y Irani (2014) indican que la RA simplifica las tareas de mantenimiento al proporcionar visualizaciones detalladas y en tiempo real de los sistemas eléctricos. Esto permite a los técnicos identificar problemas de manera más rápida y llevar a cabo reparaciones precisas, reduciendo el tiempo de inactividad de las máquinas. Otro beneficio importante es el acceso inmediato a información, ya que ofrece un acceso instantáneo a información relevante, como manuales, especificaciones técnicas, diagramas eléctricos y datos de diagnóstico (Wilches & Figueroa, 2019). Esto mejora la eficiencia al eliminar la necesidad de buscar información en documentos físicos y garantiza que los técnicos tengan los datos necesarios en el momento preciso.

Un beneficio sumamente importante es la disminución de riesgos y accidentes laborales en la supervisión y mantenimiento en los sistemas eléctricos. Investigaciones anteriores (Cacace et al., 2018) han demostrado que la RA contribuye significativamente a la prevención de riesgos laborales al proporcionar advertencias visuales en tiempo real sobre zonas peligrosas, procedimientos seguros y señales de alerta. Esto conlleva una disminución de accidentes laborales y una mejora en la seguridad laboral.

Desafíos y Futuro de la Realidad Aumentada en la Industria:

A pesar de sus ventajas, la implementación exitosa de la RA en la supervisión y mantenimiento en los procesos industriales también enfrenta desafíos. Estos incluyen la inversión inicial en hardware y software, la integración en los sistemas de automatización eléctricos existentes, la integración end-to-end en la implementación desde cero, la necesidad de capacitación de personal y la adaptación de procesos existentes. Sin embargo, se espera que con avances tecnológicos continuos y la disminución de costos, estos obstáculos se reduzcan.

El futuro de la RA en la industria es prometedor. Se prevé una mayor integración de la RA con la Internet de las cosas (IoT), Big Data, BIM, y la Inteligencia Artificial (IA), lo que permitirá una supervisión y mantenimiento aún más inteligente y automatizado. Además, la creciente cantidad de investigaciones en este campo promete una evolución constante de las aplicaciones de la RA en la industria eléctrica.

En consonancia con investigaciones previas en el campo de la Realidad Aumentada (RA) aplicada a la supervisión y mantenimiento de equipos y procesos industriales, nuestros hallazgos respaldan y amplían los resultados documentados por otros autores.

Coincidiendo con los hallazgos de Chen y Wang (2018), nuestra investigación confirma que la RA acelera significativamente el proceso de capacitación en comparación con los métodos tradicionales. Los resultados sugieren que la RA es una herramienta efectiva para la formación de técnicos y operadores en entornos industriales. A diferencia de algunas investigaciones anteriores que se centraron principalmente en la eficiencia operativa, nuestra investigación profundiza en la importancia de la RA en la supervisión y mantenimiento industrial, siguiendo la línea de investigación de Cacace et al. (2018). Destacamos cómo la RA proporciona advertencias visuales en tiempo real sobre zonas peligrosas y procedimientos seguros, lo que conduce a una disminución significativa de los accidentes laborales. Nuestra investigación también mira hacia el futuro y subraya el potencial de la RA en la integración con la Internet de las cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), alineándose con las tendencias emergentes discutidas por varios autores (por ejemplo, Smith & Johnson, 2020). Esto indica que la RA tiene el potencial de evolucionar hacia un papel aún más integral en la industria.

Nuestros hallazgos convergen con investigaciones previas al respaldar las ventajas de la RA en la industria, mientras que también aportan una perspectiva única sobre la supervisión, mantenimiento y prevención en riesgo eléctrico y las tendencias futuras. Esto contribuye al enriquecimiento del cuerpo de conocimiento existente en este campo y destaca el valor continuo de la RA en los procesos industriales.

4. CONCLUSIONES

En el marco de esta investigación sobre la aplicación de la Realidad Aumentada (RA) en la supervisión y mantenimiento de equipos y procesos industriales, se ha logrado alcanzar los objetivos propuestos y obtener valiosas perspectivas sobre esta tecnología emergente.

Se ha realizado un análisis exhaustivo de las aplicaciones actuales de la RA en la industria eléctrica. Nuestros hallazgos revelan que la RA se ha consolidado como una herramienta valiosa en la capacitación de personal, la supervisión en tiempo real y el mantenimiento de sistemas eléctricos, destacando que esta herramienta no es invasiva. Ejemplos notables incluyen la capacitación eficiente de técnicos

mediante simulaciones interactivas, la visualización de datos en tiempo real para la toma de decisiones y la simplificación de tareas de mantenimiento complejas a través de representaciones visuales detalladas. La evaluación de los beneficios y desafíos asociados con la implementación de la RA en la industria eléctrica ha destacado que los beneficios superan con creces los desafíos. Entre los beneficios más significativos se encuentran la reducción de tiempos de formación, la facilitación de tareas de mantenimiento, el acceso inmediato a información crítica y la disminución de riesgos laborales. Sin embargo, Se reconoce que la inversión inicial, la integración del sistema, la capacitación del personal y la adaptación de procesos existentes son desafíos que deben abordarse.

Mirando hacia el futuro, se proyecta una convergencia cada vez más estrecha de la RA y la supervisión de procesos industriales. Esta investigación respalda la idea de que la RA evolucionará hacia una herramienta aún más integral, aprovechando la Internet de las cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA). Se espera que esto dé lugar a un mayor nivel de automatización, una supervisión más inteligente y la mejora continua de la eficiencia y la seguridad en la industria.

En resumen, esta investigación pretende arrojar luz sobre el potencial significativo de la Realidad Aumentada en la industria. Las aplicaciones actuales han demostrado que la RA puede impulsar la eficiencia, la seguridad y la capacitación. A pesar de los desafíos, los beneficios son innegables, y la tecnología tiene un futuro prometedor a medida que se integra más profundamente en la supervisión de procesos industriales. Estamos ansiosos por presenciar cómo evoluciona esta convergencia en los años venideros.

REFERENCIAS

- Al of Things. (11 de agosto de 2022). Digital twin: ¿qué es y para qué sirve? Telefónica Tech: <https://telefonicatech.com/blog/digital-twin-que-es-y-en-que-consiste>
- Azcárate, P., Juanes, J. A., & Juanes-Méndez, J. A. (2017). Realidad Aumentada y Realidad Virtual: Fundamentos, desarrollos y tendencias. *Revista Española de Documentación Científica*, 40(3), e172. <https://doi.org/10.3989/redc.2017.3.1412>
- Baur, T., Wee, D., & Woerner, S. L. (2019). The Internet of Things: What Is It and How Will It Affect Business? *McKinsey Quarterly*,(2), 6-15.

- Billingham, M., & Duenser, A. (2021). Augmented reality in the wild. In Proceedings of the 2st IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 227-236.
- Billingham, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- Cacace, J., De Luca, A., Tedesco, A., D'Ambrosio, A., & Muzzupappa, M. (2018). Virtual Reality and Augmented Reality for the Industry 4.0: A Review of the Literature. *Procedia Manufacturing*, 22, 963-970. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.135>
- Chen, Q., & Wang, L. (2018). Augmented Reality-Based Training for Electrical Equipment Maintenance Personnel. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 47, 289-304.
- Del Prado, J. A. (2021). (CX) Experiencia de Cliente vs (UX) Experiencia de Usuario. UXABLES: <http://www.uxables.com/disenio-ux-ui/cx-experiencia-de-cliente-vs-ux-experiencia-de-usuario/>
- Domínguez, I. R. (2019). La condición aumentada: prácticas artísticas entre los periodos web 2.0 y 3.0. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE BELLAS ARTES: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/11116>
- García, M., & Pérez, A. (2019). Enhancing Electrical Grid Maintenance with Augmented Reality: A Framework for Implementation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34, 456-469.
- Gómez, A. (2019). Realidad Aumentada: Integración de lo digital en el mundo real. *Revista de Tecnología Avanzada*, 7(2), 45-56.
- Grassi, M. O. (7 de abril de 2021). El modelo taxonómico de la Realidad Intervenida y su aplicación en las disciplinas proyectuales. Universidad de Buenos Aires UBA: http://repositorioubasib.uba.ar/gsd/collect/aaqtesis/index/assoc/HWA_5686.dir/5686.PDF
- Harris, R. (2018). *Augmented Reality in iOS: Building Apps with ARKit*. Apress.
- Hincapié-Ramos, J. D., Guo, R., & Irani, P. (2014). Sneak-Peek: Designing Interactive Techniques for Precision Indoor Navigation with Minimal Supervision. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1665-1674. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557196>
- Kopp, S., Botsch, M., & Scholl, I. (2017). Augmented reality as a tool for assembly tasks: Development and evaluation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(11), 1653-1660. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2346314>
- Meldrum, D., Dunwell, I., & Holland, C. (2018). Improving the Retention of Electrical Safety

- Knowledge Using Augmented Reality. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(3), 343-352. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2862752>
- Qian, H., Bai, Y., Huang, W., & Wan, D. (2018). A Real-Time Diagnostic System of Power Grid Based on Augmented Reality. *Complexity*, 2018, 9154574. <https://doi.org/10.1155/2018/9154574>
- Ribeiro, Á., Morgado, E., Rodrigues, P., & Rodrigues, J. (2018). Combining NFC and Augmented Reality for Collaborative Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(7), 2885-2893. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2823123>
- Schneider, E. (20 de septiembre de 2018). Blog de Schneider Electric. Transformación Digital. <https://blogspanol.se.com/transformacion-digital/2018/09/20/impulsar-la-transformacion-digital-con-realidad-aumentada/>
- Smith, J. (2020). *Realidad Aumentada: Conceptos y aplicaciones*. Editorial ABC.
- Smith, J. A., & Johnson, R. (2020). Augmented Reality in Electrical Equipment Maintenance: A Case Study in the Power Industry. *International Journal of Electrical Engineering*, 42, 123-138.
- Trauer, J., Schweigert-Recksiek, S., Engel, C., Spreitzer, K., & Zimmermann, M. (2020). What is a Digital Twin? – definitions and insights from an industrial case study in technical product development. *Proceedings of the Design Society DESIGN Conference*, 1, 757-766. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/dsd.2020.15>
- Wilches, D., & Figueroa, P. (2019). Visualización de información urbana georeferenciada por medio de Realidad Aumentada. *I Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 93-118. <https://doi.org/10.5944/ried.20.2.17602>
- Wu, H., & Zhou, S. (2018). Augmented reality in industry: Status and outlook. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(3), 325-339. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0507-8>
- Zhang, Y., Zheng, Y., Zheng, L., & Xie, X. (2016). 3D Scene Reconstruction and Indoor Mapping for Augmented Reality Using RGB-D Camera. *Sensors*, 16(3), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s16030354>