

USO DE REALIDAD AUMENTADA EN EL MONITOREO INDUSTRIAL

Eugenia Alfonso¹, María Cecilia Castellanos¹, Carolina Pennisi¹,
Matilde Inés Césari¹

¹GIDECo Grupo Regional UTN de Investigación y Desarrollo de Ecosistemas de Conocimiento - ReAVi Laboratorio de investigación Realidad Aumentada y Virtual) – Universidad Tecnológica Nacional FRM / eugenia.alfonso@docentes.frm.utn.edu.ar

Resumen: La implementación de soluciones de realidad aumentada (RA) en el monitoreo industrial tiene el potencial de transformar la supervisión y gestión de procesos al permitir la visualización de *dashboards* integrados en tiempo real. Este enfoque innovador busca mejorar significativamente la toma de decisiones operativas al proporcionar información contextualizada y accesible directamente en el entorno de trabajo. Al superponer datos relevantes sobre la vista del operador, la RA mejora la interacción con el proceso y la capacidad de respuesta ante eventos inesperados. Además, la integración de gemelos digitales y sistemas móviles de RA ofrece una plataforma robusta para la formación de operadores novatos y la gestión de mantenimiento. En este estudio, se revisan los beneficios y desafíos de la RA en el monitoreo industrial, se presentan casos de éxito y se discuten las mejores prácticas para su implementación efectiva. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y la comparación de enfoques actuales, se destacan las oportunidades y las barreras tecnológicas y organizativas que deben ser superadas. Los resultados demuestran que, aunque la RA ofrece ventajas claras en términos de eficiencia, precisión y seguridad, su adopción requiere una planificación estratégica y una capacitación adecuada de los usuarios. Finalmente, se proporciona un análisis del retorno de inversión (ROI) y las métricas clave para evaluar el impacto de la RA en la industria, subrayando su potencial para optimizar procesos y reducir costos operativos.

Palabras claves: realidad aumentada, proceso industrial, tablero de monitoreo

INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (RA) ha emergido como una tecnología prometedora en el monitoreo industrial, facilitando la toma de decisiones y la supervisión de procesos en tiempo real. Estudios recientes, como el de Caiza & Sanz (2022), demuestran el uso de gemelos digitales (digital twins) para monitorear procesos industriales a través de RA, integrando hardware de bajo costo y servicios en la nube para mejorar la confiabilidad del proceso.

He *et al.* (2021) exploran un sistema móvil de RA que utiliza datos del gemelo digital para ayudar a operadores novatos a interactuar con dispositivos industriales complejos, mejorando significativamente la interacción humano-dispositivo. Otros estudios, como el de Maio *et al.* (2023), introducen prototipos de RA para el monitoreo de datos en tiempo real, destacando el diseño centrado en el usuario para mejorar el apoyo en el contexto industrial. La importancia de estos avances radica en su capacidad para aumentar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la seguridad en las plantas industriales.

El objetivo de este artículo es analizar y sintetizar la literatura existente sobre el uso de la realidad aumentada en el monitoreo industrial, evaluando sus beneficios, desafíos y mejores prácticas. Además, se busca proporcionar una guía para la implementación efectiva de soluciones de RA en entornos industriales, destacando casos de éxito y áreas futuras de investigación

METODOLOGÍA

Este estudio se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso sobre la implementación de RA en el monitoreo industrial. Se identificaron fuentes relevantes a través de bases de datos académicas como IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar. Se analizaron artículos que describen aplicaciones prácticas de RA, sus beneficios y desafíos, y las tecnologías utilizadas. Se recopilieron datos sobre la eficiencia operativa, la reducción de costos y la mejora en la seguridad y formación de los trabajadores.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Ventajas

La realidad aumentada (RA) en el mantenimiento industrial ofrece múltiples beneficios que optimizan la eficiencia y reducen costos. Uno

de los principales beneficios es la capacidad de superponer elementos virtuales sobre el entorno real, permitiendo a los técnicos recibir instrucciones en tiempo real sin necesidad de interrumpir sus tareas. Esto se traduce en intervenciones más eficientes y rápidas (Malta, Farinha & Mendes, 2023). Además, la RA puede mejorar el entrenamiento y la visualización de equipos, permitiendo a los usuarios explorar la estructura interna y el tamaño de los equipos, lo cual es esencial para la reparación rápida y precisa en un entorno de Industria 4.0 (Alatawi et al., 2023). Otra ventaja es la capacidad de realizar inspecciones de calidad en tiempo real, integrando la evaluación de calidad en el flujo de trabajo de RA y permitiendo a los operarios corregir su trabajo antes de continuar con otras tareas (Cortijo Leyva & Benavides Ramos, 2023). Finalmente, la RA facilita la creación de contenido participativo, optimizando la producción de contenido y mejorando la percepción de los usuarios sobre sus habilidades tecnológicas (De Silva, Rupasinghe & Apeagyei, 2019).

Costos y beneficios de implementación

Medir el retorno de inversión (ROI) al implementar la realidad aumentada (RA) en el mantenimiento industrial implica evaluar diversos factores que afectan tanto los costos como los beneficios derivados de su uso. Diversos estudios han mostrado cómo la colaboración remota basada en RA reduce significativamente los costos de desplazamiento y mejora la disponibilidad operativa de los sistemas (Nepal, Pavlovich & Guilherme, 2023). Otros estudios señalan que el uso de RA para proporcionar instrucciones detalladas y visuales mejora la capacidad de los técnicos para identificar y reparar problemas rápidamente, aumentando así la productividad y reduciendo errores (Müller et al., 2023).

Métricas Clave

Para evaluar la efectividad de la implementación de RA en el mantenimiento industrial, se utilizan métricas clave como:

- **Costos de Implementación:** incluyen el hardware (costo de dispositivos como HoloLens, smartphones y tablets), software (licencias de software de RA como Vuforia y ARViewer), y entrenamiento (costos asociados con la capacitación del personal).
- **Ahorros en Costos:** reducción en viajes, menos tiempo de inactividad y mayor eficiencia.

- **Indicadores de Rendimiento:** tiempo de reparación, disponibilidad del equipo y tasa de resolución de problemas (Alatawi et al., 2023; Bahari et al., 2023).

Herramientas de hardware y software

Las herramientas de software y hardware utilizadas comúnmente en soluciones de RA para la industria incluyen una combinación de dispositivos avanzados y plataformas de desarrollo especializadas que facilitan la integración de la RA en entornos industriales.

Integración de RA en la Industria: Herramientas de Software y Hardware

En la actualidad, la integración de la realidad aumentada (RA) en la industria se apoya en una combinación de dispositivos avanzados y plataformas de desarrollo especializadas que facilitan la implementación de estas tecnologías en entornos industriales. Los dispositivos como **Google Glass** y **Microsoft HoloLens 2** son ejemplos clave de hardware utilizado, permitiendo la superposición de información digital en entornos reales, lo que mejora la interacción y la visualización de datos en tiempo real (Torres et al., 2024). Además, plataformas de software específicas se desarrollan para gestionar estas interacciones, incluyendo herramientas de reconocimiento gestual que permiten una mayor naturalidad en la manipulación de equipos industriales, optimizando la seguridad y eficiencia operativa (Shoemaker et al., 2023). La combinación de RA con inteligencia artificial (IA) también está emergiendo como una tendencia significativa, promoviendo el uso de técnicas avanzadas para mejorar la capacitación de la fuerza laboral y la precisión en la manufactura (Devagiri et al., 2022). Sin embargo, a pesar de las potenciales aplicaciones y la reducción de costos, la adopción de estas tecnologías enfrenta barreras, como la falta de automatización en la comunicación entre modelos digitales y la necesidad de más investigación para mejorar la integración de plataformas (Szajna & Kostrzewski, 2022).

En la integración de la realidad aumentada (RA) en entornos industriales, se utilizan diversas herramientas de software que son fundamentales para el desarrollo y la implementación efectiva de estas tecnologías. Algunas de las herramientas más comunes incluyen:

- **Unreal Engine y Unity:** Estas plataformas de desarrollo son ampliamente utilizadas para crear experiencias de RA.

Proporcionan un entorno robusto para la construcción de aplicaciones que pueden integrarse con hardware de RA como HoloLens y Google Glass, facilitando la creación de interfaces inmersivas y la superposición de datos en el mundo real.

- ARKit y ARCore: Desarrolladas por Apple y Google respectivamente, estas herramientas permiten a los desarrolladores crear aplicaciones de RA para dispositivos móviles, lo que expande el uso de la RA más allá de los dispositivos dedicados a otros que ya se encuentran en manos de los usuarios, como smartphones y tablets.
- Vuforia: Es una de las plataformas más utilizadas para la creación de aplicaciones de RA debido a su capacidad para reconocer objetos y superficies, permitiendo una interacción dinámica con el entorno físico.
- Blippar y Wikitude: Estas plataformas ofrecen soluciones integradas para la creación de experiencias de RA, incluyendo herramientas de reconocimiento de imagen y modelado 3D que son esenciales en aplicaciones industriales para visualización y entrenamiento.

Algunas herramientas de software actuales que se están utilizando para aplicaciones de realidad aumentada (RA) en el ámbito industrial:

- Software para el Reconocimiento de Equipos Industriales: Esta herramienta de RA se enfoca en el reconocimiento de puntos característicos de objetos y la modelación 3D a través de software CAD, integrándose en una multiplataforma para la simulación y control de procesos industriales (Romero et al., 2020).
- Sistema de RA para la Programación de Robots: Esta aplicación de RA, creada con software comercial y código JavaScript adicional, está diseñada para la programación de robots industriales, mejorando los métodos tradicionales al evitar la necesidad de detener las líneas de producción o requerir modelos CAD 3D (Zhang et al., 2020).
- AR-planar: Una aplicación móvil de RA auto-suficiente usada para la aceptación de edificios industriales, que facilita la comparación de la documentación planificada con la fábrica construida mediante la superposición de modelos 3D en imágenes de video (Schoenfelder & Schmalstieg, 2008).

- Integración de Motores de Juegos para RA en Interacción Humano-Robot: Este marco de software utiliza motores de juegos para desarrollar experiencias de realidad extendida (XR), incluidas RA y realidad virtual (VR), para aplicaciones de interacción humano-robot en entornos industriales (Coronado et al., 2023).
- 3DGAM: Este sistema combina el uso de gestos en 3D y modelos CAD para mejorar la colaboración remota en tareas de ensamblaje, proporcionando instrucciones claras basadas en modelos CAD que se proyectan en un entorno de realidad aumentada (Wang et al., 2021).
- Augmented Reality for CAD-CAM Training: Una aplicación móvil de RA que se utiliza para mejorar los procesos de aprendizaje y material didáctico en cursos de dibujo mecánico, permitiendo a los estudiantes visualizar y manipular modelos CAD 3D en un entorno de RA (Marinakakis et al., 2021).

Mejores prácticas para la implementación de RA en el entorno de trabajo industrial

La implementación exitosa de la Realidad Aumentada (RA) en entornos industriales requiere la adopción de un enfoque sistemático que considere tanto los aspectos tecnológicos como humanos de la integración. En primer lugar, es fundamental realizar un análisis detallado de las necesidades específicas del entorno de trabajo y los desafíos que la RA puede resolver. Esto incluye la identificación de áreas clave donde la RA puede mejorar la eficiencia, como la capacitación de empleados, el mantenimiento predictivo y el control de calidad. Además, la selección del hardware y software adecuados debe basarse en criterios de ergonomía, facilidad de uso y compatibilidad con los sistemas existentes (Bimber & Raskar, 2005). La formación y la capacitación del personal también juegan un papel crucial; los trabajadores deben estar cómodos y familiarizados con el uso de dispositivos de RA para maximizar su potencial (Zhou et al., 2008). Por otra parte, la integración de la RA debe alinearse con los flujos de trabajo existentes, evitando interrupciones y asegurando que la tecnología se integre de manera natural en las operaciones diarias (Nee et al., 2012). Finalmente, es esencial llevar a cabo pruebas piloto para evaluar el impacto de la RA y realizar ajustes antes de una implementación a gran escala. Estas pruebas permiten identificar y mitigar posibles problemas técnicos o de aceptación por parte de los empleados, garantizando una transición más suave y eficiente (El-Nahass, 2021). La RA, cuando se

implementa siguiendo estas mejores prácticas, puede transformar significativamente los procesos industriales, mejorando la productividad y reduciendo errores operativos.

Mejores prácticas para la integración de RA con Sistemas de Gestión de Mantenimiento

La integración de la Realidad Aumentada (RA) con los sistemas de gestión de mantenimiento requiere una planificación estratégica que considere tanto las necesidades específicas del mantenimiento como las capacidades tecnológicas actuales. Es crucial identificar las áreas donde la RA puede ofrecer el mayor valor y desarrollar métodos que permitan la integración fluida de los datos de producción y los sistemas de gestión de mantenimiento (CMMS) con las tecnologías de RA (Di Pace et al., 2020; Kollatsch et al., 2017). Para facilitar esta integración, se recomienda el uso de interfaces de programación de aplicaciones (API) y kits de desarrollo de software (SDK) que aseguren una comunicación efectiva entre el software de RA y los sistemas de gestión de mantenimiento (Bahari et al., 2023). Además, el desarrollo de interfaces de usuario intuitivas es fundamental para presentar la información de manera clara y accesible, facilitando el trabajo de los técnicos de mantenimiento (Saidi et al., 2022). La selección de hardware y software adecuados es igualmente importante, ya que deben adaptarse a las necesidades específicas de la industria (Aivaliotis et al., 2022). Una vez implementada la tecnología, es esencial realizar pruebas piloto y establecer un ciclo de evaluación continua para asegurar que la integración funcione correctamente y cumpla con los objetivos establecidos (Cortijo Leyva & Benavides Ramos, 2023). La formación adecuada de los usuarios es clave para garantizar la adopción exitosa de la RA, asegurando que los trabajadores se sientan cómodos y competentes en su uso (Avalle et al., 2019). Finalmente, el desarrollo de contenido interactivo y relevante, junto con ajustes continuos, asegura que la RA se mantenga eficiente y adaptada a las necesidades cambiantes del entorno de trabajo (Avalle et al., 2019).

Implementación de un gemelo digital en un entorno industrial

Los gemelos digitales, representaciones virtuales precisas de sistemas físicos, permiten la simulación, análisis y optimización de procesos industriales, lo que conlleva múltiples beneficios como la mejora de la

eficiencia operativa y la reducción de tiempos de inactividad. El proceso de implementación de un gemelo digital comienza con la creación y modelado detallado del sistema físico, lo cual requiere la incorporación de datos provenientes de sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real (Schroeder et al., 2021). Una vez que se ha desarrollado el modelo, es crucial integrar datos en tiempo real de diversas fuentes para simular el comportamiento del sistema, permitiendo así la optimización continua mediante la evaluación de diferentes escenarios y la predicción de resultados (Konstantinidis et al., 2020; Vogel-Heuser *et al.*, 2021). La simulación y el análisis predictivo juegan un papel central en este proceso; a través de algoritmos avanzados de análisis, los gemelos digitales pueden anticipar fallas y optimizar el mantenimiento preventivo, lo cual no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los tiempos de inactividad, contribuyendo a un funcionamiento más robusto y confiable del sistema (Ceruti et al., 2019).

Desafíos de integrar la realidad aumentada en procesos industriales

La implementación de la realidad aumentada (RA) en el mantenimiento industrial enfrenta varios desafíos importantes que deben abordarse para asegurar su éxito y eficacia. Entre los principales desafíos se incluyen la precisión en el seguimiento y la registración de objetos en el entorno industrial, que es crucial para la correcta superposición de elementos virtuales sobre los reales (Eswaran et al., 2023). Además, la aceptación del usuario y la ergonomía son factores críticos; los trabajadores deben sentirse cómodos y seguros utilizando las tecnologías de RA, lo cual requiere interfaces intuitivas y dispositivos ergonómicos (Runji et al., 2022). La integración de RA con sistemas de aprendizaje profundo presenta desafíos técnicos adicionales, como la necesidad de algoritmos robustos y eficientes que puedan operar en tiempo real y en entornos dinámicos (Durchon et al., 2022). Otro desafío significativo es la infraestructura tecnológica, incluyendo la necesidad de hardware y software avanzados que puedan soportar aplicaciones de RA complejas y la capacidad de procesar y analizar grandes volúmenes de datos generados durante las operaciones de mantenimiento (Frandsen et al., 2023).

Casos de éxito

La implementación de la realidad aumentada (RA) en el mantenimiento industrial ha producido varios casos de éxito notables. Un ejemplo destacado es el desarrollo de un modelo de adopción de mantenimiento

remoto basado en RA, que identificó factores clave que promueven y obstaculizan la adopción de esta tecnología en la industria. Este modelo se desarrolló mediante un análisis cualitativo de factores de éxito a través de entrevistas con 16 empresas, revelando ventajas operativas cualitativas y cuantitativas, así como la importancia de la experiencia del usuario y la gestión de la adopción (Müller et al., 2023). Otro caso es la aplicación de RA en el mantenimiento de una célula robótica multiproceso (MPRC). Utilizando RA, se crearon guías de mantenimiento que aumentaron la eficiencia y el éxito de los usuarios primerizos al realizar tareas de mantenimiento, demostrando así un impacto positivo en la productividad de la empresa. Además, el uso de la RA junto con la tecnología de detección de objetos como la red YOLOv5 ha mejorado significativamente la capacitación y la asistencia en tiempo real durante el mantenimiento de motores de automóviles. Este enfoque permitió la detección precisa de piezas de automóviles y ofreció una asistencia visual inmediata para los técnicos, mejorando la eficiencia y precisión del mantenimiento (Malta et al., 2021). Finalmente, la implementación de un sistema de inspección de calidad en tiempo real basado en RA para dispositivos móviles mostró cómo esta tecnología puede mejorar la inspección y corrección de errores durante los procedimientos de mantenimiento, lo que resulta en una mayor eficiencia y calidad del trabajo realizado (Frandsen et al., 2023).

CONCLUSIONES

La implementación de la realidad aumentada en el mantenimiento industrial proporciona beneficios significativos en términos de eficiencia operativa, seguridad y capacitación, facilitando la interacción contextual y reduciendo errores operativos. Sin embargo, también enfrenta desafíos significativos relacionados con la fragmentación tecnológica, requisitos específicos y la aceptación del usuario que deben ser abordados para asegurar una implementación exitosa. Asimismo, la implementación de gemelos digitales en entornos industriales permite una optimización avanzada de procesos mediante simulaciones precisas y análisis predictivos, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos. Futuros estudios deben enfocarse en desarrollar interfaces más intuitivas y robustas, y en la capacitación continua de los usuarios para maximizar los beneficios de la RA en el mantenimiento industrial.

REFERENCIAS

- Aivaliotis, S., Lotsaris, K., Gkournelos, K., Fourtakas, N., Koukas, S., Kousi, N., & Makris, S. (2022). An augmented reality software suite enabling seamless human robot interaction. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(1), 3-29. <https://doi.org/10.1080/0951192x.2022.2104459>
- Alatawi, H. Q., Albalawi, N., Shahata, G., Aljohani, K., Alhakamy, A., & Tuceryan, M. (2023). Augmented Reality-Assisted Deep Reinforcement Learning-Based Model towards Industrial Training and Maintenance for NanoDrop Spectrophotometer. *Sensors*, 23, Article Number 6024. <https://doi.org/10.3390/s23136024>
- Avalle, G., De Pace, F., Fornaro, C., Manuri, F., & Sanna, A. (2019). An Augmented Reality System to Support Fault Visualization in Industrial Robotic Tasks. *IEEE Access*, 7, 132343-132359. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940887>
- Bahari, M. A., Salleh, S.R. M., & Kiram, M. K. A. (2023). Augmented Reality Assisted Maintenance and Monitoring at Onpremise Data Center. In David C. Wyld & Dhinaharan Nagamalai (Eds.), *9th International Conference on Information Technology Convergence and Services (ITCSS 2023)*, 49-58. <https://doi.org/10.5121/csit.2023.130204>
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters/CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10624>
- Caiza, G., & Sanz, R. (2022). Digital Twin for Monitoring an Industrial Process Using Augmented Reality. In Alvaro Rocha, Borja Bordel, Francisco Garcia Penalvo, Ramiro Goncalves (Eds.), *Proceedings of 2022 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2022* (pp. 1-5). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.23919/cisti54924.2022.9820356>
- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., & Bil, C. (2019). Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), 516-526. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>
- Coronado, E., Itadera, S., & Ramirez-Alpizar, I. G. (2023). Integrating virtual, mixed, and augmented reality to human–robot interaction applications using game engines: A brief review of accessible software tools and frameworks. *Applied Sciences*, 13(3), Article Number 1292. <https://doi.org/10.3390/app13031292>
- Cortijo Leyva, R. E., & Benavides Ramos, P. R. (2023). *Asistencia remota de mantenimiento por realidad aumentada para máquinas CNC de corte por láser para la empresa Prodigytrading SA* [Master's thesis, Universidad Tecnológica Israel]. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3874>
- De Silva, R. J., Rupasinghe, T. D., & Apeageyi, P. (2019). A collaborative apparel new product development process model using virtual reality and augmented reality technologies as enablers. *International Journal of*

- Fashion Design, Technology and Education*, 12(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1080/17543266.2018.1462858>
- Devagiri, J. S., Paheding, S., Niyaz, Q., Yang, X., & Smith, S. (2022). Augmented reality and artificial intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges. *Expert Systems with Applications*, 207, Article Number 118002. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118002>
- Di Pace, A., Fenza, G., Gallo, M., Loia, V., Meglio, A., & Orciuoli, F. (2020). Implementing the Cognition Level for Industry 4.0 by Integrating Augmented Reality and Manufacturing Execution Systems. In Barolli, L., Amato, F., Moscato, F., Enokido, T., & Takizawa, M. (Eds.), *Advanced Information Networking and Applications. AINA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 1151* (pp.957-967). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44041-1_83
- Durchon, H., Preda, M., Zaharia, T., & Grall, Y. (2022). Challenges in applying deep learning to augmented reality for manufacturing. In Christophe Mouton & Marius Preda (Eds.), *Proceedings of the 27th International Conference on 3D Web Technology* (pp. 1-4). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3564533.3564572>
- El-Nahass, M. M. A. (2021). The Impact of Augmented Reality on Fashion and Textile Design Education. *International Design Journal*, 11(6), 39-52.
- Eswaran, M., Gulivindala, A. K., Inkulu, A. K., & Bahubalendruni, M. V. A. R. (2023). Augmented reality-based guidance in product assembly and maintenance/repair perspective: A state of the art review on challenges and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 213(Part A). Article Number 118983. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118983>
- Frandsen, J., Tenny, J., Frandsen, W., & Hovanski, Y. (2023). An augmented reality maintenance assistant with real-time quality inspection on handheld mobile devices. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 125, 4253-4270. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-10978-1>
- He, F., Ong, S.-K., & Nee, A. Y. C. (2021). An Integrated Mobile Augmented Reality Digital Twin Monitoring System. *Computers*, 10(8), Article Number 99. <https://doi.org/10.3390/COMPUTERS10080099>
- Kollatsch, C., Schumann, M., Klimant, P., & Lorenz, M. (2017). Industrial Augmented Reality: Transferring a Numerical Control Connected Augmented Reality System from Marketing to Maintenance. [Poster presentado en] *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, Nantes, France. 39-41. doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.27
- Konstantinidis, F. K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S. G., & Gasteratos, A. (2020). MARMA: A Mobile Augmented Reality Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0. *Machines*, 8(4), Article Number 88. <https://doi.org/10.3390/machines8040088>
- Maior, R., Marques, B., Santos, A. M., Ramalho, P., Almeida, D., Dias, P., & Santos, B. S. (2023). Real-Time Data Monitoring of an Industry 4.0

- Assembly Line using Pervasive Augmented Reality: First Impressions. *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp.414-417). Curran Associates. <https://doi.org/10.1109/VRW58643.2023.00090>
- Malta, A., Farinha, T., & Mendes, M. (2023). Augmented reality in maintenance—History and perspectives. *Journal of Imaging*, *9*(7), Article Number 142. <https://www.mdpi.com/2313-433X/9/7/142>
- Malta, A., Mendes, M., & Farinha, T. (2021). Augmented Reality Maintenance Assistant Using YOLOv5. *Applied Sciences*, *11*(11). Article Number 4758. <https://doi.org/10.3390/APP11114758>
- Marinakakis, A., Mania, K., & Antoniadis, A. (2021). Augmented Reality for CAD-CAM Training Featuring 3D Interactive Geometric Transformations. *Computer-Aided Design and Applications*, *18*(3), 561-570. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.561-570>
- Müller, M., Stegelmeyer, D., & Mishra, R. (2023). Development of an augmented reality remote maintenance adoption model through qualitative analysis of success factors. *Operations Management Research*, *16*(3), 1490-1519. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00356-1>
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented Reality Applications in Design and Manufacturing. *CIRP Annals*, *61*(2), 657-679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
- Nepal, R., Pavlovich, R. J., & Guilherme, C.E. (2023) VirtualWorx™: Transforming Maintenance Concepts through Augmented Reality Collaboration Capabilities. *2023 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Orlando, FL, USA* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/rams51473.2023.10088179>
- Romero, J. A., Quero, W. D, Sánchez, J. S., & Andaluz, V. H. (2020). Training Assistant for Industrial Processes through Augmented Reality. *Proceedings of the 11th International Conference on Education Technology and Computers, Amsterdam Netherlands*. 308 – 315. <https://doi.org/10.1145/3369255.3369295>
- Runji, J. M., Lee, Y., & Chu, C. (2022). User Requirements Analysis on Augmented Reality-Based Maintenance in Manufacturing. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, *22*(5). Article Number 050901. <https://doi.org/10.1115/1.4053410>
- Saidi, H., Carreteros, L., Rey, S., Truscillo, L., & Miloudi, Y. (2022). BL.MIXEDR: Augmenting Traditional Maintenance Procedures to Better Exploit the Capabilities of Head-Worn AR. *PETRA '22: Proceedings of the 15th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environment*, (pp. 176-184). <https://doi.org/10.1145/3529190.3529210>
- Schoenfelder, R., & Schmalstieg, D. (2008). Augmented Reality for Industrial Building Acceptance. *2008 IEEE Virtual Reality Conference* (pp. 83-90). Curran Associates. <https://doi.org/10.1109/VR.2008.4480755>
- Schroeder, G. N., Steinmetz, C., Rodrigues, R. N., Henriques, R. V. B., Rettberg, A., & Pereira, C. E. (2021). A methodology for digital twin modeling and

- deployment for industry 4.0. *Proceedings of the IEEE*, 109(4), 556-567. doi: 10.1109/JPROC.2020.3032444
- Shoemaker, T. A., Saylor, A., Brown, W. K., Marchisello, M., & Snider, F. (2023). Augmented, Virtual, and Mixed Reality in Practice. In Ellen Rathje, Brina M. Montoya & Mark H. Wayne (Eds.), *Geo-Congress 2023: Geotechnical Data Analysis and Computation* (pp. 584-594). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784484692>
- Szajna, A., & Kostrzewski, M. (2022). AR-AI tools as a response to high employee turnover and shortages in manufacturing during regular, pandemic, and war times. *Sustainability*, 14(11), Article Number 6729. <https://doi.org/10.3390/su14116729>
- Torres, W., Santos, L., Melo, G., Oliveira, A., Nascimento, P., Carvalho, G., Neves, T., Martins, A., & Araújo, Í. (2024). A Framework for Real-Time Gestural Recognition and Augmented Reality for Industrial Applications. *Sensors (Basel)*, 24(8), Article Number 2407. <https://doi.org/10.3390/s24082407>
- Vogel-Heuser, B., Ocker, F., Weiß, I., Mieth, R., & Mann, F. (2021). Potential for combining semantics and data analysis in the context of digital twins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2207). Article Number 20200368. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0368>
- Wang, P., Bai, X., Billingham, M., Zhang, S., Wei, S., Xu, G., He, W., Zhang, X., & Zhang, J. (2021). 3DGAM: using 3D gesture and CAD models for training on mixed reality remote collaboration. *Multimedia Tools and Applications*, 80(20), 31059 - 31084. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09731-7>
- Zhang, F., Lai, C. Y., Simic, M., & Ding, S. (2020). Augmented reality in robot programming. *Procedia Computer Science*, 176, 1221-1230. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.119>
- Zhou, F., Duh, H. B., & Billingham, M. (2008). Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction, and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Cambridge, USA*. 193-202. doi: 10.1109/ISMAR.2008.4637362

* * *