

Mantenimiento en la Industria 4.0 basado en realidad aumentada

⁽¹⁾Antonio De Miguel-Pérez, ⁽²⁾Pepe Marquez-Romero, ⁽¹⁾Juan J. Márquez-Sevillano,

(1) Grupo de investigación de Ingeniería de Fabricación, Departamento de Ingeniería Mecánica.
ETSII-Universidad Politécnica de Madrid, España.

Email: antonio.demiguel.perez@alumnos.upm.es; juandejuanes.marquez@upm.es

(2) Grupo de Investigación MEDAL. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software
ETSINF-Universidad Politécnica de Madrid. Email: pepe.marquez@alumnos.upm.es

Resumen

Hoy día y en la corriente de Digitalización creciente en toda la industria y en particular en la manufacturera (Industria 4.0), se hace necesario aumentar la eficiencia en otras fases del ciclo de vida del producto, diferentes de las que ya se venían realizando habitualmente, como el diseño y la fabricación, la incorporación de Gemelos Digitales de planta va a permitir adelantar el desarrollo de la ingeniería de sistemas de planta a la fase de diseño, disminuyendo el tiempo de puesta en marcha real de manera ostensible. El desarrollo del Gemelo Digital (DT) de planta conlleva la incorporación de nuevos sistemas de Interfaz Hombre-Máquina (HMI) basados en dispositivos de Realidad Mixta (MR) que cambiarán de forma radical la forma en la que se relaciona el personal de planta con los medios disponibles de fabricación. Este proyecto se enmarca en el contexto de un proyecto concedido a la ETSII-UPM en la I CONVOCATORIA DE AYUDAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE AULAS DEL FUTURO EN LOS DIFERENTES CENTROS EDUCATIVOS DE LA UPM. Titulado “Aula del Futuro en la ETSII-UPM”. La orientación fundamental en estos proyectos es dotar a la universidad de nuevos medios educativos inmersivos que faciliten y asienten el conocimiento en diferentes áreas. El Proyecto IE22.0505 se centra en estos aspectos, en concreto financiado por fondos propios UPM, dentro de la convocatoria 2021-22 de Ayudas a la Innovación Educativa y Mejora de la Calidad de la Enseñanza, del Vicerrectorado de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid.

Palabras clave: Industria 4.0; Gemelo Digital (DT); Realidad Mixta (MR); Interfaz Hombre-Máquina (HMI).

Abstract

Today and in the current of growing Digitalization throughout the industry and in particular in manufacturing sector (Industry 4.0), it is necessary to increase efficiency in other phases of the product life cycle, different from those that were already being carried out habitually, such as design and manufacturing, the incorporation of plant Digital Twins will allow the development of plant systems engineering to be brought forward to the design phase, significantly reducing the actual commissioning time. The development of the plant Digital Twin (DT) entails the incorporation of new Human-Machine Interface (HMI) systems based on Mixed Reality (MR) devices that will radically change the way in which plant staff interact to manufacturing facilities. This project is framed in the context of a project granted to the ETSII-UPM in the FIRST CALL FOR AID FOR THE START-UP OF CLASSROOMS OF THE FUTURE IN THE DIFFERENT EDUCATIONAL CENTERS OF THE UPM. Entitled "Classroom of the Future at the ETSII-UPM". The fundamental orientation in these projects is to provide the university with new immersive educational media that facilitate knowledge transmission in different areas. The IE22.0505 Project focuses on these aspects, specifically financed by UPM's own funds, within the 2021-22 call for Grants for Educational Innovation and Improvement of the Quality of Teaching, of the Vice-rectorate for Educational Innovation of the Universidad Politécnica de Madrid.

Keywords: Industry 4.0; Digital Twin (DT); Mixed Reality (MR); Human Machine Interface (HMI)

1. Introducción

El sector de Industria Manufacturera ha demostrado en los últimos años de convulsiones económicas, ser un refugio frente a las crisis económicas resultantes, Los países con mayor porcentaje industrial en este sector han soportado mucho mejor las consecuencias de estas crisis, como consecuencia muchos países de nuestro entorno europeo, así como en US, China y en general Asia-Pacífico, han planteado estrategias para potenciar este sector en el horizonte 2030.

En el momento actual hay un estancamiento de los indicadores de productividad en la industria manufacturera que hacen necesaria una reacción que provoque un aumento de la misma. Parece vislumbrarse que la cuarta revolución industrial no vendrá de la mano de un aumento de los valores de Producción, si no de la reducción del denominador, un aumento de la eficiencia y una mejora del aprovechamiento de los medios existentes de forma sostenible requiere un cambio de paradigma en la forma en la que nos venimos relacionando con los medios de producción. Este nuevo paradigma conlleva una profundización en la digitalización de los procesos industriales, sobre todo de la mano de la integración con otras tecnologías como la Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y de la inteligencia artificial (AI) que van a permitir aumentar de forma drástica la eficiencia de los medios productivos para de esta forma aumentar los niveles de productividad. Consideramos por tanto la oportunidad y el interés del proyecto en el momento actual, en el que también se pretende que áreas tradicionales de la ingeniería como la industrial, se conviertan al nuevo paradigma con la incorporación de nuevas tecnologías.

La Industria Manufacturera cuenta desde hace años con medios digitales que permiten una gestión integrada de los datos del producto y de los sistemas de fabricación. La aparición a finales de los 90 de los sistemas conocidos hoy día como PLM (Product Lifecycle Management), ha permitido digitalizar y gestionar sobre todo las fases de diseño y fabricación, así como la integración de los sistemas en planta. Sin embargo hoy día y en la corriente de Digitalización creciente en toda la industria y en particular en la manufacturera, se hace necesario aumentar la eficiencia en otras fases del ciclo de vida del producto, la incorporación de gemelos digitales de planta va a permitir adelantar el desarrollo de la Ingeniería de sistemas de planta a la fase de diseño, disminuyendo el tiempo de puesta en marcha real de manera ostensible, por otro lado la incorporación de nuevas tecnologías como la Internet Industrial de las Cosas, va a permitir un refinamiento de los modelos de simulación de planta que se emplean para aumentar la eficiencia en la operación. En este

sentido los nuevos modelos de datos de planta van a permitir utilizar nuevas tecnologías de optimización basadas en Inteligencia Artificial que permitirán una mejora más rápida y dinámica de las condiciones de operación y de mantenimiento. El desarrollo del Gemelo Digital de planta conlleva la incorporación de nuevos sistemas de interfaz Hombre-Máquina basados en dispositivos de realidad mixta que cambiarán de forma radical la forma en la que se relaciona el personal de planta con los medios disponibles de fabricación. Todas las líneas de investigación de este proyecto propio se encuadran dentro del Denominado de forma general GEMELO DIGITAL DE PLANTA:

Línea 1.- Gemelo Digital de Detalle para la optimización de la puesta en marcha virtual

Línea 2.- Gemelo Digital basado en simulación de eventos discretos para la optimización de la operación y mantenimiento de la planta

Línea 3.- Incorporación de dispositivos de realidad mixta para la optimización de la interfaz Hombre-Máquina en tareas de supervisión de operaciones y de mantenimiento en el entorno industrial

Este proyecto se enmarca en el contexto de un proyecto concedido a la ETSII-UPM en la I CONVOCATORIA DE AYUDAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE AULAS DEL FUTURO EN LOS DIFERENTES CENTROS EDUCATIVOS DE LA UPM. Titulado “Aula del Futuro en la ETSII”. La orientación fundamental en estos proyectos es dotar a la escuela de nuevos medios educativos inmersivos que faciliten y asienten el conocimiento en diferentes áreas. La industria 4.0 y en particular el uso de ciertas tecnologías asociadas como son el “Gemelo Digital (DT)” y la “Realidad Aumentada (Mixta) (MR)”, están cobrando una gran relevancia en los últimos tiempos en particular en aplicaciones como la puesta en marcha virtual (Virtual Commissioning). Así como el Mantenimiento Industrial, Mantenimiento Asistido (Assisted Maintenance), Mantenimiento Predictivo y gestión digital del mismo.

2. Antecedentes del proyecto

En la Figura 1 se observan de forma resumida las aplicaciones más habituales en la actualidad de la realidad aumentada (mixta) (Mixed-Reality MR) para la Industria.

El uso de nuevos dispositivos de realidad mixta (MR) como las gafas HoloLens 2 está proporcionando una nueva forma de asistir en la factoría al personal de instalación y mantenimiento.

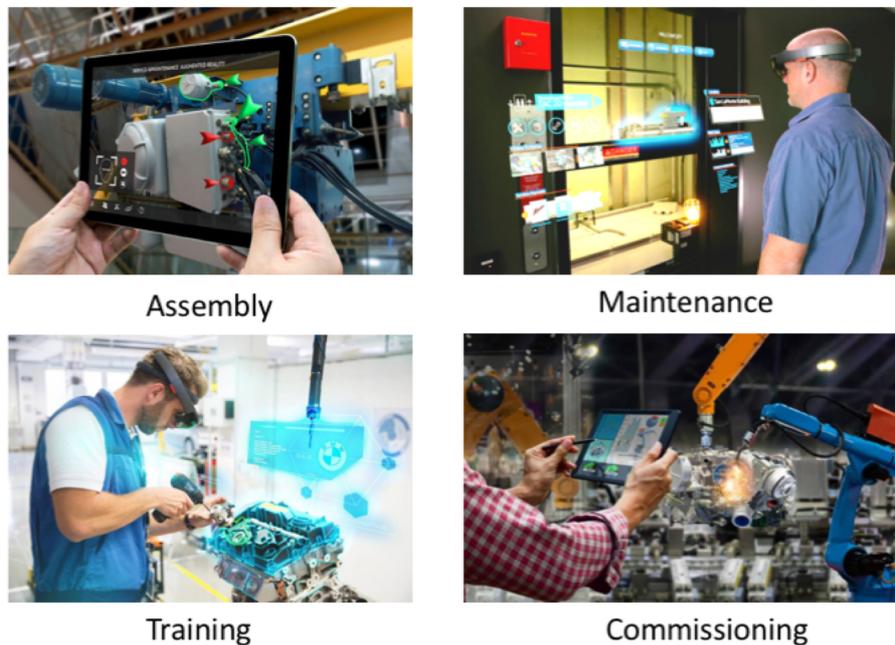


Figura 1. Principales aplicaciones de la MR en la Industria

El uso de estos dispositivos normalmente requiere de un trabajo de integración de sistemas digitales muy intensivo, por ejemplo si se desea analizar alguna cuestión relacionada con el diseño mecánico o la ingeniería de sistemas de la instalación, se debe poner a punto un gemelo digital de la planta, que permita el flujo de información bidireccional y que a su vez permita el acceso desde la red local o la nube de los datos de ambos gemelos, al sistema de realidad mixta empleado, que debe estar enlazado con todos los sistemas de fabricación que participan simultáneamente en el proceso, permitiendo de esta manera integrar información de la realidad con información en tiempo real sobre el modelo tridimensional, parámetros de diseño, programas de funcionamiento, señales particulares de sensores determinados, información de ordenes de trabajo a corto y medio plazo, etc....

Este sistema de MR permitirá al alumno obtener una visión holística de lo que está sucediendo en la factoría, no sólo en la capa visible y real, sino lo que es más importante hoy día para la industria 4.0, de las capas invisibles de información que subyacen en el proceso, en el laboratorio de ingeniería de fabricación en este caso. El sistema permitirá en un simple paseo analizar toda la información que está fluyendo por los sistemas de planta e incluso interactuar con ellos si resulta necesario intervenir. Se pretende conseguir con esto el entrenamiento en una nueva generación de dispositivos de interfaz hombre máquina HMI, adaptados a la Industria 4.0.

3. Objetivos del proyecto

El primer objetivo que se ha pretendido conseguir en el proyecto es acceder a los datos de planta que pueden resultar relevantes en aplicaciones de puesta en marcha y de mantenimiento industrial. El acceso a estos datos se realiza en la actualidad desde diferentes plataformas de software. El primer objetivo es centralizar los datos en un servidor que permita integrar datos procedentes tanto de los sistemas físicos de planta como de los sistemas digitales correspondientes. En la figura 2 se muestran las diferentes tecnologías implicadas que será necesario integrar en la aplicación de Mixed Reality (MR) considerada. El MRTK permitirá desarrollar una interfaz gráfica en el dispositivo MR que tenga acceso a los servidores ciber-físicos tanto de la Ingeniería de sistemas como de la Internet Industrial de las cosas (IIoT) desplegada en la planta. La computación en estos sub-sistemas puede realizarse en diferentes niveles (Edge, Fog y Cloud) dependiendo de su proximidad al sistema físico real y en función de la latencia necesaria para el control de los procesos implicados. Las aplicaciones creadas con el MRTK deben considerar todas las alternativas tanto de acceso a los datos como de posibilidades de realizar la computación implicada. El objetivo fundamental del proyecto es establecer los niveles de acceso, crear las pasarelas de datos necesarias, y establecer los centros de computación para cada tarea potencialmente implicada en la misión.

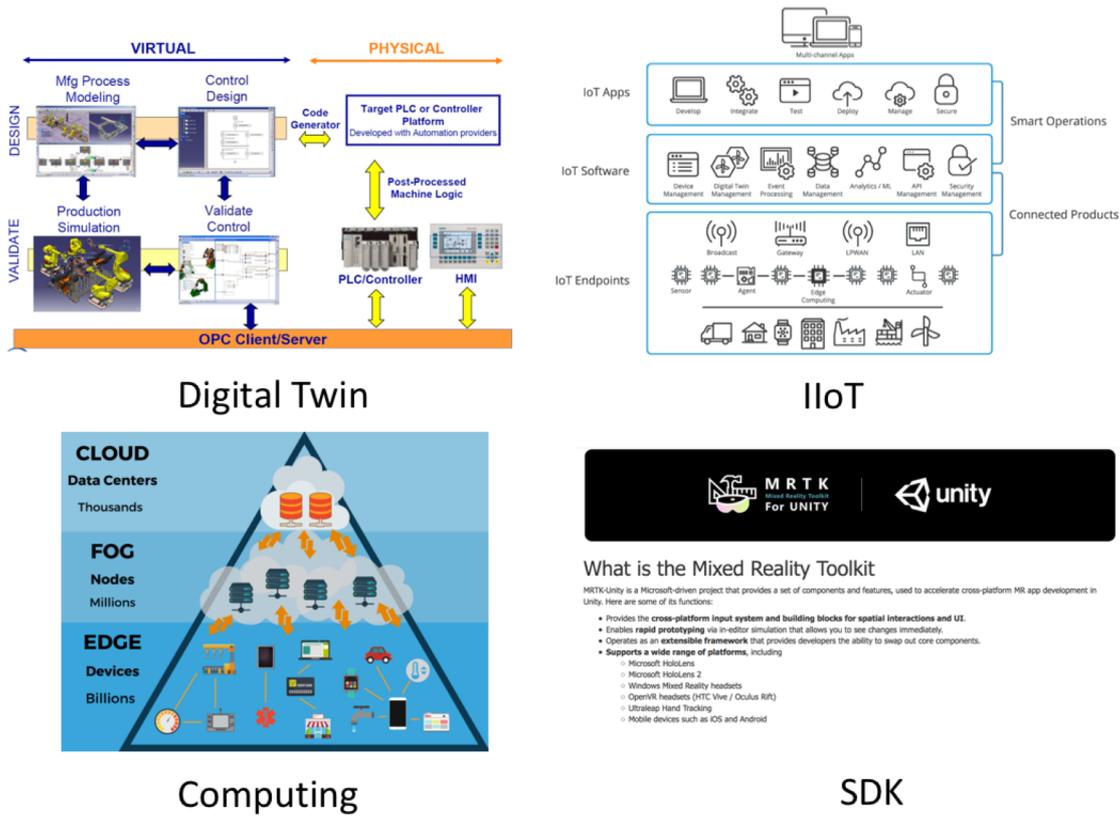


Figura 2. Tecnologías relacionadas con la MR para la Industria 4.0

4. Metodología empleada

En primer lugar se respasan las características del dispositivo MS Hololens 2, para poner de manifiesto su potencial y su capacidad para este tipo de aplicaciones. El dispositivo está equipado con una lente holográfica transparente que permite proyectar las imágenes superponiéndolas sobre un contexto real, 4 cámaras de luz visible, 2 de infrarrojos, Sensor de profundidad, acelerómetro, giroscopio, y magnetómetro, configuran la sesorización para recrear el espacio tridimensional virtual superponiéndolo a la imagen real. Lo que permite al dispositivo generar un mallado virtual del entorno en tiempo real. Y por tanto permite detectar interacciones con objetos reales y suporponer objetos virtuales sobre superficies reales. El dispositivo permite el seguimiento y trayectoria de las manos, detección de la interacción de las mismas con objetos reales y virtuales, y seguimiento ocular del usuario en todo momento. Por último el dispositivo permite la utilización de sonido espacial integrado.

En la Figura 3 se muestra el dispositivo empleado para el proyecto donde pueden apreciarse las características descritas, el dispositivo resultante es una diadema, de fácil adaptación.



Figura 3. Dispositivo de MR empleado. Hololens 2

El entorno de desarrollo de aplicaciones para el dispositivo Hololens 2, ha sido Unity 3D, conocido por su aplicación en el desarrollo de videojuegos, en su aplicación en el dispositivo sirve para la creación del entorno virtual, que será superpuesto sobre el sistema real. El entorno virtual se crea mediante la programación de código en scripts escritos en lenguaje C#, para desarrollar el código se emplea en el entorno de programación Visual Studio, donde se codifican los scripts y pueden ser compilados. Finalmente se emplea un emulador de Unity 3D que permite observar el resultado del script en el entorno virtual, antes de ser transferido al dispositivo Hololens.

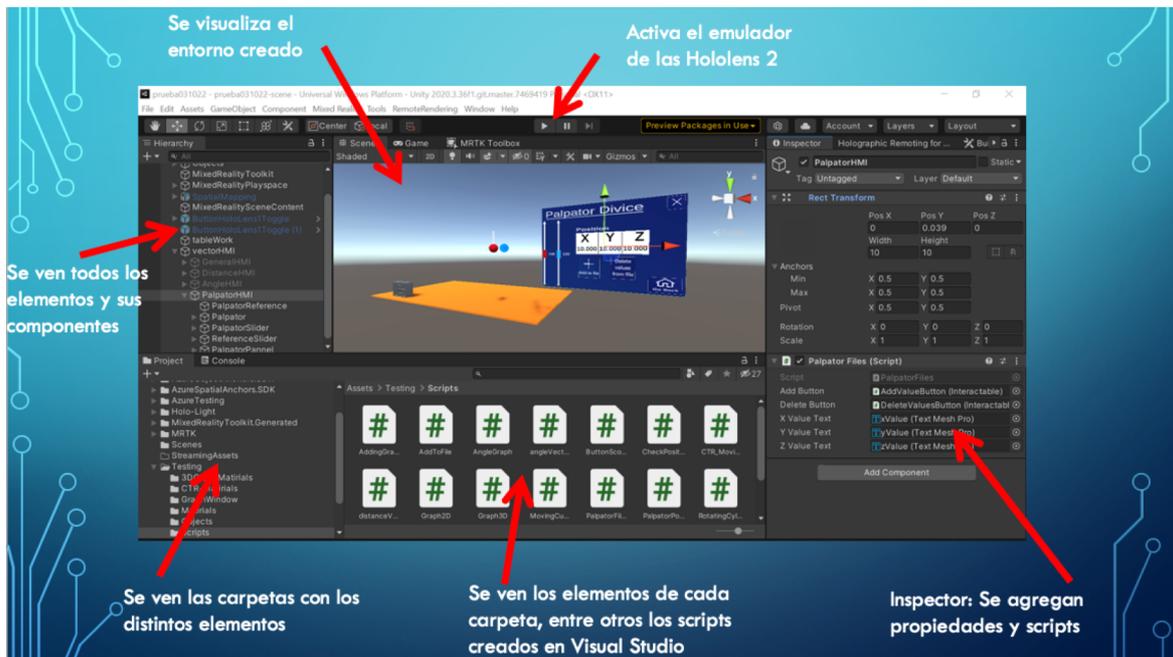


Figura 4. Entorno de Unity 3D para el desarrollo del entorno virtual en las Holens

En la Figura 4 se muestra el entorno de Unity 3D que permite emular y poner a punto los entornos virtuales y las aplicaciones que pueden ejecutarse posteriormente en el dispositivo HoloLens. MRTK (Mixed Reality Tool Kit) es un conjunto de objetos y aplicaciones desarrollado por Microsoft para el entorno Unity que permite acelerar el desarrollo de aplicaciones sobre dispositivos HoloLens.

5. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos pueden agruparse en tres categorías, acceso y representación de datos del gemelo digital en contexto, manipulación de objetos virtuales en contexto real y obtención de datos en contexto real derivados de la interacción con objetos virtuales.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de la primera de las opciones como es el acceso y la representación en contexto de datos pertenecientes al gemelo digital del sistema real, en el dispositivo MR puede integrarse un cliente que acceda a los servidores de datos de planta disponibles en la red, y puede desplegar los mismos utilizando objetos que permitan su representación. Este tipo de aplicación es muy apreciada en operaciones de mantenimiento, donde el acceso a datos del sistema real que observamos en tiempo real y su despliegue en contexto, puede aumentar de forma considerable la eficiencia en este tipo de operaciones. En la figura 6 se representan dos escenas de objetos virtuales integrados en un contexto real. En la parte de la izquierda se observa una cinta de transporte superpuesta sobre el

espacio real que se quedado libre en una parte de la planta, este tipo de utilización permite el planteamiento fácil y sin coste para ensayar alternativas de despliegue de nuevos medios de fabricación en planta, por lo que se convierte en una herramienta de gran eficacia en la puesta en marcha virtual de la planta. En la figura de la parte de la derecha se observa una pieza virtual que puede ser manipulada en contexto, este tipo de utilización va a permitir emplear este tipo de sistemas como entrenadores o en labores de planificación virtual de operaciones de montaje o desmontaje, con la consiguiente mejora de eficiencia en la preparación de las mismas. Por último y de gran interés para aplicaciones de puesta en marcha virtual de inspección y manipulación, está el ejemplo recogido en la figura 7, en este ejemplo se representa un espacio de trabajo real con una pieza colocada en la mesa de un máquina tridimensional de medida. En este caso el dispositivo MR después de crear un escaneo tridimensional del espacio de trabajo permite calcular coordenadas de objetos tridimensionales virtuales en el mencionado espacio. Se ha definido un palpador virtual que puede interactuar con la pieza real y establecer con el mismo un plan de inspección por coordenadas sin necesidad de mover la máquina para crearlo, el fichero de coordenadas creado, podría servir como fichero de apoyo en el plan de inspección, aumentando la eficiencia del proceso de preparación del plan de inspección. Esta misma estrategia podría muy fácilmente adaptarse a la preparación de la programación de sistemas robotizados o autoguiados en tareas de manipulación o de pick and place, consiguiendo una considerable mejora de eficiencia.

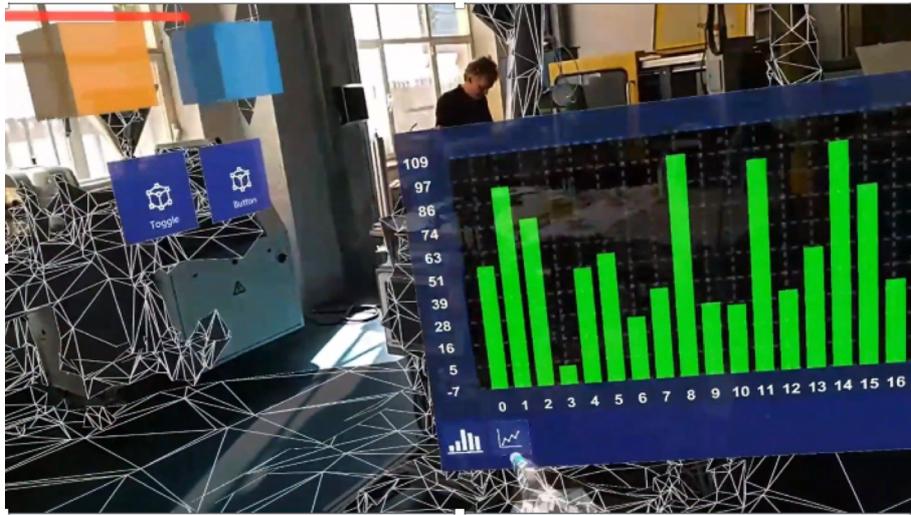


Figura 5. Acceso y representación de datos del gemelo digital en contexto

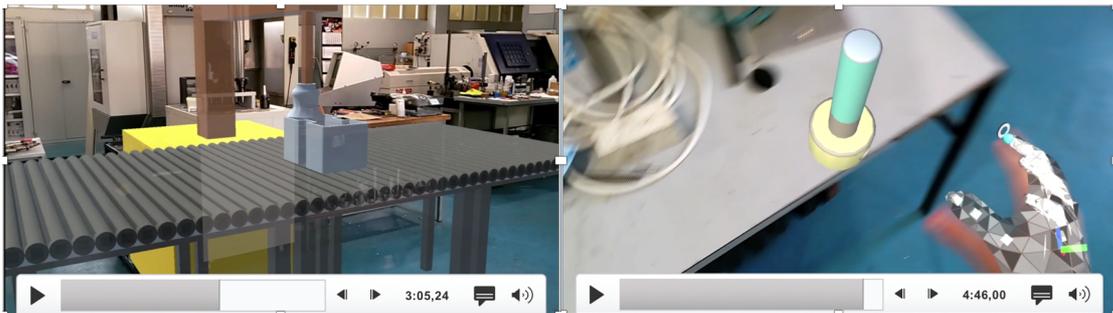


Figura 6. Manipulación de objetos virtuales en contexto real

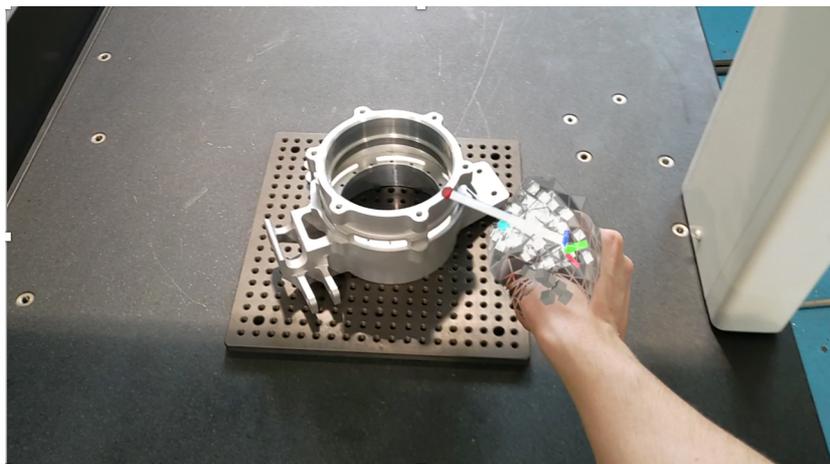


Figura 7. Obtención de datos en contexto real derivados de interacción con objetos virtuales

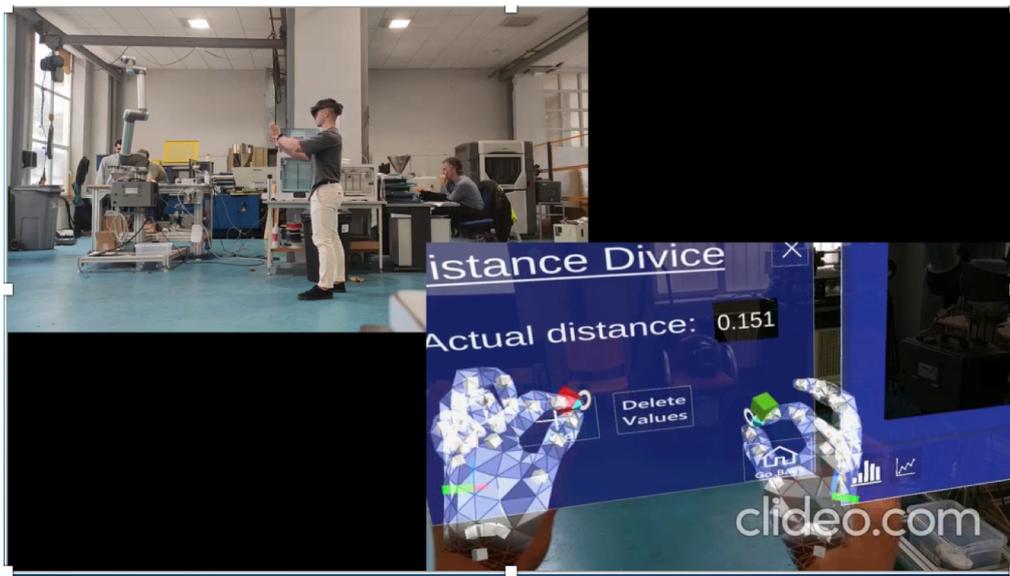


Figura 8. Nuevas formas de HMI para la Industria 4.0

6. Conclusiones

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos derivados de la utilización de un dispositivo de Realidad Mixta, una forma evolucionada de Realidad Aumentada, que permite la integración de objetos virtuales y datos del gemelo digital de planta, y que permite su despliegue en contexto del sistema real, el empleo de estos dispositivos va a aumentar de manera significativa la eficiencia en tareas como la puesta en marcha virtual, el mantenimiento asistido, el entrenamiento en operaciones de planta, y la planificación y programación de operaciones de inspección y manipulación. La labor desarrollada ha sido enfocada a realizar una serie de demostradores fácilmente reproducibles por los estudiantes que les permita familiarizarse con esta nueva forma de interfaz hombre-máquina en el contexto de la Industria 4.0. Los demostradores han sido desarrollados en el entorno de Unity 3D, en lenguaje de programación C#, el entorno Unity permite su puesta a punto y emulación, y finalmente su despliegue en el dispositivo MR empleado (MS Hololens 2). Los dispositivos de Realidad Mixta, van a cambiar la forma en como habitualmente nos hemos venido relacionando con las máquinas, la exposición de nuestros estudiantes de ingeniería a esta nueva forma de HMI (figura 8), va a permitir que nuevas aplicaciones y modelos de negocio surgan en este contexto de digitalización creciente de la industria manufacturera.

7. Agradecimientos

El presente trabajo no hubiera sido posible sin los fondos propios de la Universidad Politécnica de

Madrid desde su Vicerrectorado de Innovación Educativa en sendos proyectos financiados “Aula del Futuro en la ETSII-UPM” y “Mantenimiento en la Industria 4.0 basado en Realidad Aumentada”.

8. Referencias

- [1] Thomas Moser, Markus Hohlagschwandtner, Gerhard Kormann-Hainzl “Mixed Reality Applications in Industry: Challenges and Research Areas” Software Quality: The Complexity and Challenges of Software Engineering and Software Quality in the Cloud, 2019, Volume 338 ISBN : 978-3-030-05766-4
- [2] Anthes, C., Garcia-Hernandez, R.J., Wiedemann, M., Kranzlmuller, D.: “State of the art of virtual reality technology”. In: 2016 IEEE Aerospace Conference, pp. 1–19. IEEE, March 2016. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500674>. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7500674/>
- [3] Billinghamurst, M., Clark, A., Lee, G.: “A survey of augmented reality”. *Found. Trends® Hum. Comput. Interact.* 8(2), 73–272 (2015). <https://doi.org/10.1561/1100000049>. <http://www.nowpublishers.com/article/Details/HCI-049>
- [4] Agostino G. Bruzzone, Gianfranco Fancello, Mariangela Daga, Bruno Leban, Marina Massei “Mixed reality for industrial applications: interactions in human-machine system and modelling in immersive virtual environment” Published Online: May 17, 2019pp 165-177 <https://doi.org/10.1504/IJSPM.2019.099910>

- [5] M Juraschek, L Büth, G Posselt, C Herrmann – “Mixed reality in learning factories” *Procedia Manufacturing*, 2018 - Elsevier
- [6] João Neves, Diogo Serrario, J. Norberto Pires “Application of mixed reality in robot manipulator programming” *Industrial Robot* 2018 ISSN: 0143-991x
- [7] F Quint, K Sebastian, D Gorecky "A mixed-reality learning environment"- *Procedia Computer Science*, 2015 – Elsevier
- [8] JJK Chai, C O'Sullivan, AA Gowen, B Rooney “Augmented/mixed reality technologies for food: A review” - *Trends in Food Science & ...*, 2022 – Elsevier
- [9] J Wolfartsberger, J Zenisek, N Wild “Data-driven maintenance: combining predictive maintenance and mixed reality-supported remote assistance” - *Procedia Manufacturing*, 2020 – Elsevier
- [10] DB Espíndola, L Fumagalli, M Garetti, CE Pereira "A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality" ... - *Computers in ...*, 2013 – Elsevier
- [11] A Siyaev, GS Jo “Towards aircraft maintenance metaverse using speech interactions with virtual objects in mixed reality”- *Sensors*, 2021 - mdpi.com
- [12] D Mourtzis, J Angelopoulos... “Intelligent predictive maintenance and remote monitoring framework for industrial equipment based on mixed reality”- *Frontiers in Mechanical ...*, 2020 - frontiersin.org
- [13] AD Kaplan, J Cruik, M Endsley, SM Beers... - *Human ...*, “The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: A meta-analysis” 2021 - journals.sagepub.com
- [14] M Filipenko, A Poeppel, A Hoffmann... “Virtual commissioning with mixed reality for next-generation robot-based mechanical component testing”- *ISR 2020; 52th ...*, 2020 - ieeexplore.ieee.org
- [15] L Dammacco, R Carli, V Lazizzera, M Fiorentino... - “Designing complex manufacturing systems by virtual reality: A novel approach and its application to the virtual commissioning of a production line” *Computers in ...*, 2022 – Elsevier
- [16] N Piero, M Schmitt “Virtual commissioning of camera-based quality assurance systems for mixed model assembly lines” - *Procedia Manufacturing*, 2017 - Elsevier
- [17] KSD Ravi, JM Ibáñez, DM Hall “Real-time Digital Twin of On-site Robotic Construction Processes in Mixed Reality”- *ISARC. Proceedings of the ...*, 2021 - researchgate.net