

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.403>

Sistema de entrenamiento para la aplicación de sensores de nivel basado en realidad virtual

Training System for the Application of Level Sensors Based on Virtual Reality

José Ezequiel Naranjo Robalino

jose.naranjo0463@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2884-1667>

Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)
Ecuador – Latacunga

Erika Cristina Lozada Martínez

erikacristina.lozada@alumni.urv.cat

<https://orcid.org/0000-0001-8819-2366>

Universitat Rovira i Virgili
Tarragona – España

Marcelo Vladimir García Sánchez

mv.garcia@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7138-3913>

Universidad Técnica de Ambato
Ambato – Ecuador

Artículo recibido: 20 octubre 2024 -

Aceptado para publicación: 25 noviembre 2024

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

La realidad virtual (VR) se ha establecido como una herramienta fundamental para optimizar las interacciones entre los recursos humanos y los equipos en entornos industriales, especialmente en procesos complejos que requieren la comunicación entre múltiples dispositivos. Su capacidad para crear entornos simulados permite a los operarios familiarizarse de manera tangible con los espacios de trabajo y los procesos, preparándolos para manejar contingencias y comprender el contexto operativo antes de su inmersión en situaciones reales. En este estudio, se presenta un módulo de entrenamiento no inmersivo diseñado específicamente para enseñar el conocimiento y el ensamblaje de sensores de nivel, destacándose como una alternativa eficiente a los métodos de enseñanza tradicionales. Los resultados obtenidos en las pruebas demostraron que el uso de la tecnología VR optimizó el tiempo del proceso de enseñanza-aprendizaje en un 50%, lo que representa una ventaja significativa en términos de eficiencia. Este hallazgo fue respaldado por análisis estadísticos, donde un valor de p inferior al nivel alfa seleccionado confirmó que la metodología basada en VR supera en efectividad a los enfoques de capacitación convencionales. Además, se evaluó la usabilidad del sistema utilizando métricas estándar, concluyendo que, aunque existen áreas susceptibles de mejora, la propuesta es altamente beneficiosa para su aplicación en procesos educativos e industriales. Este estudio subraya el potencial de la realidad virtual como una solución innovadora para abordar las necesidades de capacitación técnica en la

Industria 4.0, permitiendo un aprendizaje más rápido, dinámico y alineado con los requerimientos del entorno laboral moderno.

Palabras clave: realidad virtual, interfaz de entrenamiento, sensor de nivel, sus, optimización industrial

ABSTRACT

Virtual reality (VR) has established itself as a fundamental tool for optimizing interactions between human resources and equipment in industrial environments, particularly in complex processes requiring communication between multiple devices. Its ability to create simulated environments allows operators to tangibly familiarize themselves with workspaces and processes, preparing them to handle contingencies and understand the operational context before engaging in real-world situations. This study presents a non-immersive training module specifically designed to teach knowledge and assembly of level sensors, highlighting it as an efficient alternative to traditional teaching methods. The results obtained from the tests demonstrated that the use of VR technology optimized the teaching-learning process time by 50%, representing a significant advantage in terms of efficiency. This finding was supported by statistical analyses, where a p-value lower than the selected alpha level confirmed that the VR-based methodology outperforms conventional training approaches. Additionally, the system's usability was evaluated using standard metrics, concluding that, although there are areas for improvement, the proposal is highly beneficial for application in educational and industrial processes. This study emphasizes the potential of virtual reality as an innovative solution to address technical training needs in Industry 4.0, enabling faster, more dynamic learning aligned with the demands of the modern workplace.

Keywords: virtual reality, training interface, level sensor, sus, industrial optimization

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons

INTRODUCCIÓN

En un mundo en constante cambio, el avance de la tecnología, tanto en hardware como en software, se ha convertido en un elemento indispensable para el monitoreo, control y optimización de procesos industriales (Hajipour et al., 2025). La eficiencia y la continuidad operativa son pilares fundamentales en cualquier industria, no solo para garantizar una producción óptima, sino también para salvaguardar la maquinaria y proteger la integridad de los operadores. Estos avances requieren una formación técnica en recursos humanos que esté alineada con las necesidades tecnológicas actuales y futuras (Fabio et al., 2025).

La formación en el ámbito industrial enfrenta el desafío de mantenerse al ritmo del progreso tecnológico. Esta capacitación, esencial para optimizar la cadena productiva, debe ser efectiva, escalable y accesible (Di Pasquale et al., 2024). En este contexto, la inclusión de mecanismos virtuales en la formación profesional representa una innovación clave, ofreciendo la posibilidad de reducir costos, minimizar riesgos y garantizar un aprendizaje efectivo. Las plataformas de formación virtual tienen como objetivo principal proporcionar soluciones accesibles y altamente funcionales para el desarrollo de competencias en los recursos humanos (Chu et al., 2025).

Con la llegada de la Revolución Industrial 4.0, se ha acelerado la integración de tecnologías avanzadas en la formación y los procesos productivos. Herramientas como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han demostrado ser esenciales para la capacitación en entornos industriales (Zhang et al., 2025). Estas tecnologías permiten un aprendizaje inmersivo, reduciendo significativamente los errores en la operación y mejorando la comprensión de los procesos complejos. Las aplicaciones de estas tecnologías van más allá del ámbito industrial, extendiéndose a sectores como la educación, la medicina y el ámbito militar, lo que evidencia su versatilidad y alcance (Istiono & Wira Pratama, 2025).

La emergencia sanitaria global y las crisis económicas recientes han subrayado la importancia de implementar soluciones tecnológicas que permitan superar limitaciones logísticas y garantizar la continuidad operativa. En el sector industrial, estas soluciones no solo han ayudado a reducir el contacto físico, salvaguardando la salud de los trabajadores, sino que también han impulsado la automatización y la digitalización de procesos. Las plataformas virtuales han surgido como una herramienta esencial para la capacitación y el mantenimiento, proporcionando alternativas efectivas frente a los métodos tradicionales (Ali & Darwish, 2025; Ohueri et al., 2025).

La integración de la realidad virtual en entornos industriales ha transformado significativamente las dinámicas laborales y las relaciones interpersonales, ofreciendo una alternativa tecnológica que protege la integridad de los trabajadores y evita riesgos asociados al entorno industrial (Bennett et al., 2025). Esta herramienta no solo mejora la seguridad, sino que también contribuye a la reducción de tiempos de capacitación y a la estandarización de los procedimientos. Además, la formación virtual basada en RV permite a las empresas mantener una

ventaja competitiva al implementar modelos de mejora continua en sus procesos (Divya et al., 2025).

El desarrollo continuo de la tecnología ha ampliado el alcance de los campos virtuales, permitiendo su aplicación en todos los ámbitos de la vida cotidiana, incluidos los sectores más complejos de la industria (Yasin Yiğit & Uysal, 2025). Una de las principales ventajas de estas herramientas es la capacidad de simular escenarios críticos, reduciendo la probabilidad de accidentes y optimizando el rendimiento operativo. Este enfoque no solo es un beneficio económico, sino también un avance estratégico para las organizaciones que buscan destacar en un mercado cada vez más competitivo (Kim et al., 2025).

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de realidad virtual diseñado específicamente para el entrenamiento en la detección de fallos en sensores de nivel, destacando su comparación con un sistema de entrenamiento convencional. El sistema se ha desarrollado utilizando el motor gráfico Unity 3D, una herramienta robusta y ampliamente utilizada para la creación de entornos virtuales interactivos. A través de esta investigación, se busca demostrar la eficacia de la realidad virtual como una metodología de formación innovadora que contribuye a la mejora continua y a la sostenibilidad de los procesos productivos en el contexto de la Industria 4.0.

Caso De Estudio

En un entorno empresarial caracterizado por su constante transformación, las empresas, tanto locales como internacionales, deben adaptarse a un panorama competitivo mediante el desarrollo de estrategias tecnológicas que ofrezcan ventajas significativas. La velocidad con la que avanza la tecnología ha cambiado de manera radical la dinámica de las organizaciones, obligándolas a renovarse continuamente para impulsar su crecimiento, mejorar su desempeño y alcanzar mejores resultados. En este contexto, la Industria 4.0 se posiciona como un motor de innovación, combinando métodos avanzados de producción y operaciones con tecnologías inteligentes que redefinen la manera en que se desarrollan los procesos industriales.

La Industria 4.0 no solo impulsa la eficiencia operativa, sino que también introduce metodologías de aprendizaje y capacitación más avanzadas y dinámicas. Estas metodologías son fundamentales para la implementación de nuevos sistemas y para la adaptación a un mercado globalizado y tecnológicamente exigente. Entre las tecnologías emergentes, la realidad virtual (RV) se destaca por su capacidad de transformar procesos de enseñanza al proporcionar entornos inmersivos que facilitan la comprensión y aplicación de conceptos complejos.

El presente estudio se centra en comparar dos enfoques tecnológicos utilizados en la capacitación para la aplicación de sensores de nivel: los métodos convencionales y la tecnología basada en realidad virtual. En los métodos convencionales, la capacitación se lleva a cabo mediante recursos tradicionales como videos educativos, documentos en línea y prácticas físicas en entornos controlados. Por otro lado, la tecnología de realidad virtual, desarrollada en este caso

con el motor gráfico Unity 3D, utiliza aplicaciones inmersivas que incluyen comandos intuitivos, contenido interactivo y una experiencia de aprendizaje más dinámica para el usuario. Este enfoque no solo moderniza la capacitación, sino que también optimiza los recursos y mejora la retención de conocimientos.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar un sistema de capacitación basado en RV para informar y entrenar sobre la aplicación de sensores de nivel, y analizar su impacto en la optimización de recursos, la reducción del tiempo de entrenamiento y la mejora en la calidad del aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales. La RV ofrece la ventaja de recrear entornos virtuales donde los usuarios pueden interactuar directamente con los componentes del sensor y simular escenarios reales sin los riesgos asociados a un entorno físico.

Existen múltiples tipos de sensores de nivel con aplicaciones diversas. Para este estudio, se seleccionaron sensores básicos que incluyen transistores, resistencias y diodos LED. Estos sensores son capaces de emitir notificaciones visuales a través de LEDs al alcanzar niveles predeterminados, como bajo, medio o máximo. Este sistema permite optimizar procesos al proporcionar alertas precisas para el control y monitoreo de líquidos en recipientes como tolvas, silos, tanques y pozos. Estas capacidades son esenciales en aplicaciones industriales donde la eficiencia y el control son primordiales.

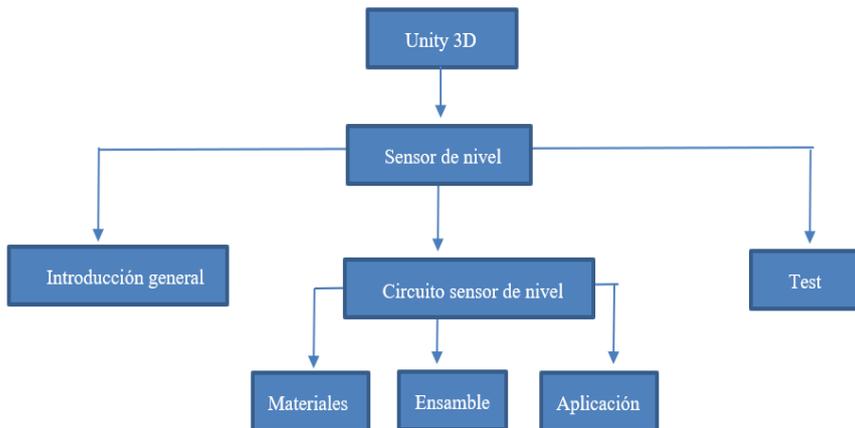
La simulación desarrollada en este estudio busca enseñar la funcionalidad, el ensamblaje y la aplicación de los sensores de nivel. A través de la experiencia inmersiva, se espera optimizar los recursos, particularmente el tiempo necesario para adquirir conocimientos técnicos sobre el funcionamiento y ensamblaje del sensor, en comparación con los métodos tradicionales. Además, se propone que la tecnología de realidad virtual no solo mejore el proceso de aprendizaje, sino que también facilite una transición hacia metodologías de capacitación más efectivas y sostenibles en el sector industrial.

Este enfoque innovador no solo representa un avance en la capacitación técnica, sino que también contribuye a la transformación digital de las industrias, alineándose con las demandas de la Industria 4.0 y fortaleciendo la competitividad en un entorno global.

Descripción del Sistema

La simulación desarrollada para el entrenamiento en sensores de nivel se implementó utilizando el motor gráfico Unity 3D, conocido por su capacidad para generar entornos virtuales inmersivos e interactivos que facilitan el aprendizaje práctico. Esta simulación se compone de tres módulos fundamentales, diseñados para proporcionar una experiencia educativa progresiva y completa. La interfaz está diseñada para ser intuitiva, con botones claramente identificados que facilitan la navegación.

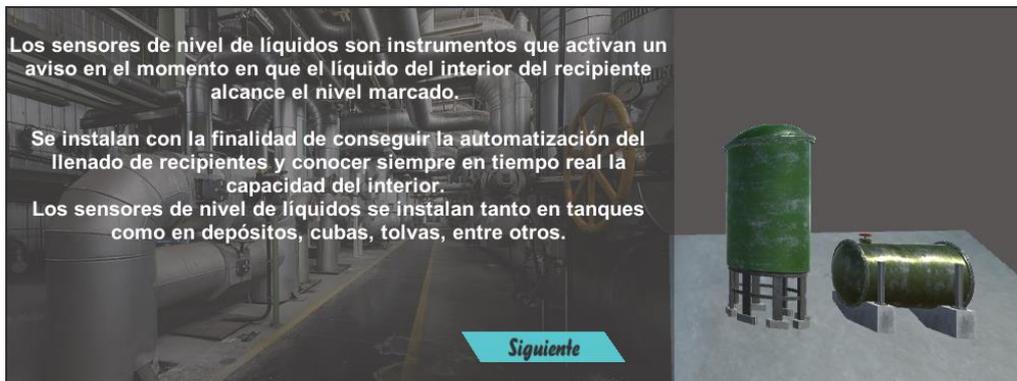
Figura 1
Componentes del sistema



Introducción general

Al iniciar el entrenamiento se despliega una pantalla introductoria que proporciona una breve explicación del funcionamiento y propósito del sensor y un ejemplo práctico de su uso en la detección de niveles de líquido en recipientes. En la figura 2 se visualiza un ejemplo de pantalla introductoria.

Figura 2
Introducción general



Circuito sensor de nivel

La figura 3, muestra una interfaz con los materiales que se utilizará para el montaje del circuito de sensor de nivel. En esta pantalla, además, están presente botones en cada material para que el usuario pueda entrar e informarse con algunas características de los materiales del circuito que se quiere ensamblar.

Figura 3
Escena con los materiales



Posteriormente se presentan las escenas de ensamble del circuito, en donde se irá poniendo todos los componentes para el montaje del circuito con ayuda de botones e interacciones en las interfaces. Ver figuras 4 y 5.

Figura 4
Colocación de transistores y resistencias

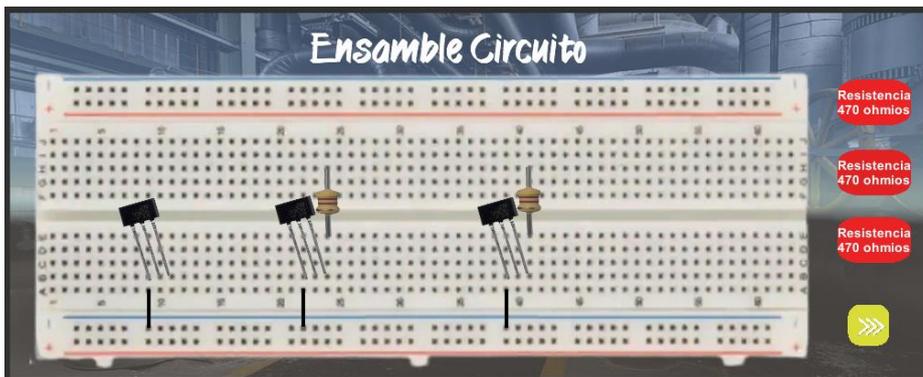
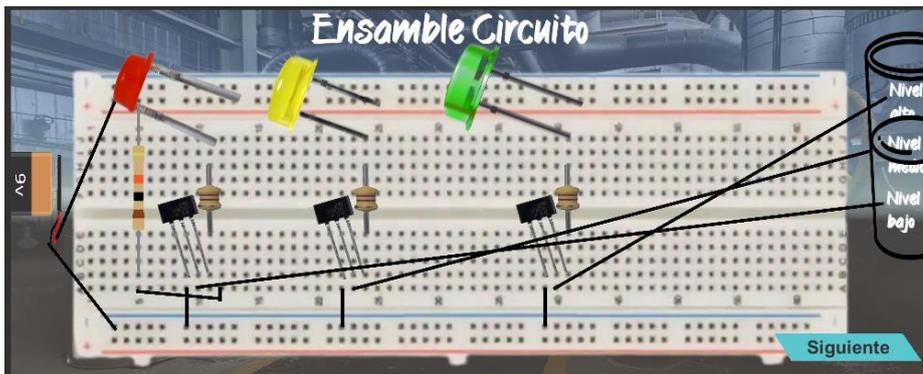


Figura 5
Colocación de leds y resistencias



En las últimas escenas se puede evidenciar, la aplicación del sensor de nivel, en el que se detalla escenas con cada nivel de líquido en un recipiente, haciendo que el led correspondiente que está en el circuito se prenda. Esto es manejado mediante un botón que aumenta y disminuye el nivel del líquido. La figura 6 presenta la escena de la aplicación del sensor de nivel.

Figura 6

Aplicación del sensor de nivel



Evaluación Final

Para medir el aprendizaje del usuario, se implementó un cuestionario interactivo que evalúa los conocimientos adquiridos durante la simulación. Este módulo garantiza que los usuarios puedan demostrar su comprensión de los conceptos y habilidades adquiridos, cerrando el ciclo de aprendizaje de manera efectiva. El cuestionario consistió en ocho preguntas relacionadas con el sistema de entrenamiento, incluyendo materiales, ensamblaje del circuito y funcionamiento del sensor. Cada pregunta tiene tres opciones de respuesta, de las cuales solo una es correcta. Al seleccionar la respuesta correcta, se activa un botón que permite continuar a la siguiente pregunta. El sistema proporciona retroalimentación sobre las respuestas para reforzar el aprendizaje. La figura 7 presenta la pregunta 1 de la evaluación final.

Figura 7

Evaluación final



Sistema de Escala de Usabilidad (SUS)

El System Usability Scale (SUS) es un procedimiento ampliamente reconocido y utilizado para medir la usabilidad de sistemas técnicos y plataformas interactivas. Fue desarrollado por John Brooke en 1986 con el objetivo de proporcionar una herramienta estandarizada y efectiva para evaluar la experiencia del usuario en sistemas de diversa índole (Li et al., 2024). La metodología se basa en un cuestionario compuesto por diez afirmaciones que exploran diferentes aspectos del sistema, desde su funcionalidad hasta la satisfacción general del usuario. Los participantes responden utilizando una escala de Likert, que varía de 1 (completamente en

desacuerdo) a 5 (completamente de acuerdo), permitiendo capturar la percepción subjetiva del usuario respecto al sistema evaluado (Daoudi et al., 2024).

El SUS se emplea para identificar fortalezas y debilidades en el diseño y la funcionalidad de un sistema, determinando su eficacia en función de las necesidades del usuario. Una de sus principales características es la generación de una puntuación global en una escala de 0 a 100, lo que permite clasificar los sistemas evaluados en diferentes niveles de calidad. Las puntuaciones más altas reflejan una usabilidad sobresaliente, mientras que las puntuaciones bajas indican áreas significativas de mejora (Casal-Moldes et al., 2024).

La simplicidad y versatilidad del SUS lo convierten en una herramienta esencial para evaluar la usabilidad de sistemas en una amplia variedad de contextos. Puede ser aplicado a interfaces gráficas, aplicaciones móviles, sistemas industriales y plataformas de realidad virtual, entre otros. Además, su diseño intuitivo facilita la implementación y permite obtener resultados rápidamente, lo que lo hace ideal para estudios que requieren evaluar múltiples sistemas o iteraciones (Zhao et al., 2024).

En el caso de sistemas de realidad virtual, el SUS resulta particularmente útil para medir aspectos como la navegación, la interacción y la claridad de las instrucciones. Estas métricas son fundamentales para garantizar que la plataforma proporcione una experiencia satisfactoria, eficiente y alineada con las expectativas de los usuarios. La implementación del SUS en este contexto permite identificar no solo las fortalezas del sistema, sino también las áreas que requieren ajustes para mejorar su aceptación y funcionalidad.

Los sistemas que alcanzan puntuaciones superiores a 90 son considerados productos excepcionales, con características sobresalientes y pocas necesidades de ajuste. Un sistema que se sitúa entre 80 y 90 se clasifica como excelente, destacándose por sus funcionalidades representativas y su diseño intuitivo. Los sistemas que logran puntuaciones entre 70 y 80 son catalogados como muy buenos, aunque con potencial de mejora en ciertos aspectos. En el rango de 50 a 70, los sistemas son considerados buenos, cumpliendo con los estándares básicos de usabilidad, pero con oportunidades claras de optimización. Aquellos con puntuaciones entre 25 y 50 son considerados pobres, con limitaciones evidentes que afectan la experiencia del usuario. Finalmente, los sistemas con puntuaciones por debajo de 25 son clasificados como inaceptables, indicando fallas graves que requieren una reestructuración significativa. Ver tabla 1.

Tabla 1

Puntuación SUS

SUS Puntuación	Adjetivo
>90	Inigualable
80-90	Excelente
70-80	Muy buena
50-70	Buena
25-50	Pobre
0-25	Muy pobre

El cálculo de la puntuación SUS se realiza siguiendo un procedimiento bien definido que garantiza la objetividad y precisión de los resultados. Para cada afirmación del cuestionario, se ajusta la puntuación asignada por el encuestado dependiendo de si la afirmación es impar o par. En el caso de las preguntas impares (1, 3, 5, 7 y 9), se toma el valor asignado y se le resta 1. Por otro lado, para las preguntas pares (2, 4, 6, 8 y 10), se calcula como 5 menos el valor asignado. Una vez realizados estos ajustes, se suman las puntuaciones ajustadas y el resultado final se multiplica por un factor de 2.5 para obtener un puntaje en la escala de 0 a 100. La fórmula para realizar este cálculo se presenta en la fórmula 1.

Fórmula 1

Cálculo de Puntuación SUS

$$S = 2.5 \left[\sum_{i=1}^5 (X_{2i-1} - 1 + 5 - X_{2i}) \right]$$

Montaje del Experimento

Se diseñó un experimento estructurado que evaluó la usabilidad y aceptabilidad del sistema de entrenamiento basado en realidad virtual (VR) para la aplicación de sensores de nivel. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Técnica de Ambato con la aprobación del ingeniero encargado del módulo académico en la ciudad de Ambato, Ecuador. A continuación, se describen los aspectos clave del diseño y ejecución del experimento.

Se eligió un grupo de 10 estudiantes como participantes del experimento. Este tamaño de muestra fue considerado adecuado para evaluar de manera preliminar la funcionalidad del sistema. Los participantes fueron seleccionados en función de su disposición para colaborar en el estudio y su familiaridad básica con sistemas tecnológicos, sin requerir experiencia previa en realidad virtual.

Se utilizó el System Usability Scale (SUS), un estándar ampliamente reconocido para evaluar la usabilidad de sistemas técnicos. Este instrumento fue seleccionado debido a su simplicidad, efectividad y capacidad para proporcionar resultados cuantitativos y cualitativos. El cuestionario para la evaluación SUS constó de 10 preguntas diseñadas para evaluar aspectos clave de la experiencia del usuario, como facilidad de uso, consistencia, funcionalidad e integración del sistema. Los participantes calificaron cada afirmación utilizando una escala de 5 puntos, donde 1 corresponde a totalmente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 imparcial, 4, de acuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

Las 10 preguntas del cuestionario abordaron temas específicos relacionados con la percepción del usuario sobre el sistema, incluyendo: Frecuencia potencial de uso de la aplicación, Complejidad percibida del sistema, Facilidad de uso, Necesidad de asistencia técnica para operar el sistema, Integración de funciones del sistema, Consistencia en el diseño del sistema, Velocidad

de aprendizaje, Dificultad percibida al utilizar el sistema, Nivel de confianza al interactuar con el sistema y Carga de aprendizaje necesaria para usar el sistema.

El procedimiento del experimento consistió en proporcionar a los participantes una breve introducción al sistema y sus funcionalidades, asegurando que comprendieran el propósito del experimento. Posteriormente los participantes utilizaron la herramienta de VR en un entorno controlado, completando actividades relacionadas con el ensamblaje y aplicación de sensores de nivel. Tras la interacción práctica, cada participante completó el cuestionario SUS, evaluando su experiencia personal con el sistema. Las respuestas fueron registradas y procesadas siguiendo el método estándar del SUS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de conocimientos prácticos adquiridos mediante el sistema de realidad virtual (VR) se realizó a través de un cuestionario diseñado para medir el entendimiento de conceptos relacionados con los sensores de nivel. Diez participantes completaron esta prueba, y los resultados reflejan una mejora significativa en el aprendizaje práctico gracias a la interacción inmersiva del sistema.

En la pregunta inicial, todos los participantes respondieron correctamente, alcanzando un 100% de aciertos, lo que demuestra una comprensión completa de los fundamentos básicos del sensor. La segunda pregunta tuvo un 89% de respuestas correctas, con solo un 11% de errores, lo que evidencia una adecuada retención de conceptos iniciales. Sin embargo, en la tercera pregunta, el porcentaje de aciertos bajó al 56%, destacando posibles áreas de mejora en la presentación de este contenido específico. La cuarta pregunta registró un 78% de aciertos, mientras que el 22% restante falló, reflejando una comprensión mayoritaria.

Para las preguntas cinco y siete, los participantes lograron nuevamente un 89% de aciertos, con solo un 11% de respuestas incorrectas, confirmando la efectividad del método para estos temas. En contraste, las preguntas tres y seis obtuvieron un 56% de respuestas correctas, lo que sugiere la necesidad de un enfoque más claro o detallado en esos aspectos específicos. Finalmente, en la octava pregunta, el 78% de los participantes respondió correctamente, mostrando un entendimiento adecuado al concluir la prueba.

En promedio, el 79% de las respuestas fueron correctas, lo que indica un nivel aceptable de aprendizaje práctico sobre sensores de nivel. Este resultado es especialmente significativo dado que el sistema incluye únicamente una breve introducción teórica antes de comenzar la simulación. Los datos sugieren que la metodología VR fomenta un aprendizaje eficiente, permitiendo que los participantes comprendan y apliquen los conceptos en un entorno práctico.

En el tiempo de capacitación se realizó un análisis comparativo para determinar la eficiencia temporal entre dos enfoques de capacitación: el método tradicional basado en el ensamblaje físico del circuito y el entrenamiento con simulación en VR desarrollado con Unity

3D. Los tiempos de ejecución de ambas metodologías fueron registrados cuidadosamente utilizando un cronómetro.

En el método tradicional, el proceso completo, que incluyó la preparación de materiales, el ensamblaje físico del circuito y su verificación, tomó un promedio de 10 minutos por participante. En contraste, el sistema de realidad virtual logró reducir este tiempo a 5 minutos, integrando en ese período una descripción interactiva del sensor, el ensamblaje virtual del circuito, su aplicación práctica y una evaluación final. Esto representa una reducción del 50% en el tiempo requerido para completar el entrenamiento.

El análisis mostró que la simulación no solo optimiza el tiempo, sino que también proporciona un entorno más accesible y eficiente. Mientras que el método físico requiere la disponibilidad de materiales y espacio adecuado, el enfoque basado en VR elimina estas barreras, permitiendo la capacitación en cualquier momento y lugar. La reducción del tiempo no compromete la calidad del aprendizaje; al contrario, la metodología VR facilita la integración de teoría y práctica en un único entorno inmersivo, lo que resulta en una mayor retención de conocimientos en menos tiempo.

Esta eficiencia en el tiempo de capacitación es especialmente relevante en el contexto industrial, donde las demandas de productividad y formación continua requieren soluciones rápidas y efectivas. Los resultados sugieren que la realidad virtual es una herramienta poderosa para abordar estas necesidades, ofreciendo un entrenamiento técnico completo en un marco temporal significativamente reducido.

La usabilidad del sistema de entrenamiento basado en realidad virtual se evaluó utilizando el System Usability Scale (SUS), una metodología estándar propuesta por John Brooke para medir la aceptación y facilidad de uso de los sistemas tecnológicos. Diez participantes calificaron la experiencia utilizando una escala de Likert basada en diez afirmaciones relacionadas con la funcionalidad, accesibilidad y percepción general del sistema.

El puntaje promedio obtenido fue de 58.5 sobre 100, lo que sitúa al sistema dentro del rango de 50 a 70, considerado "bueno" según la metodología SUS. Nueve de los diez participantes calificaron la experiencia como satisfactoria, destacando aspectos positivos como la claridad de las instrucciones, la interacción fluida y la facilidad para completar las tareas. Sin embargo, un participante calificó el sistema como "pobre", señalando que ciertas características, como la personalización de la interfaz o la variedad en las interacciones, podrían mejorarse.

Los resultados indican que el sistema cumple con los requisitos básicos de usabilidad, proporcionando una experiencia aceptable para la mayoría de los usuarios. Sin embargo, también identifica áreas de mejora potencial que podrían aumentar la satisfacción del usuario y maximizar la efectividad del sistema. Estas mejoras podrían incluir la incorporación de elementos más interactivos, como retroalimentación en tiempo real o desafíos progresivos que adapten el nivel de dificultad según el desempeño del usuario.

El puntaje SUS obtenido respalda la viabilidad del sistema como una herramienta de capacitación técnica. La metodología utilizada permitió a los participantes interactuar con el sistema de manera eficiente, adquiriendo conocimientos prácticos en un entorno seguro y controlado. Sin embargo, futuras iteraciones del sistema podrían centrarse en perfeccionar su diseño y funcionalidades para elevar aún más la percepción de usabilidad y aceptación entre los usuarios.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha desarrollado y evaluado una propuesta innovadora para la capacitación en la aplicación de sensores de nivel mediante el uso de realidad virtual (VR). Este sistema ha permitido la creación de una herramienta didáctica interactiva que simplifica la comprensión y el aprendizaje técnico, proporcionando a los usuarios un entorno controlado y seguro para adquirir conocimientos prácticos.

El sistema se implementó utilizando el motor gráfico Unity 3D, reconocido por su capacidad para crear simulaciones inmersivas y altamente personalizables. Gracias a esta tecnología, se logró replicar escenarios industriales de manera precisa, permitiendo a los usuarios interactuar directamente con componentes virtuales del sensor de nivel, como transistores, resistencias y LEDs. Una de las principales ventajas del sistema es su capacidad para eliminar la dependencia de equipos físicos, lo que reduce significativamente los costos asociados a la capacitación técnica. Además, los usuarios pueden practicar el ensamblaje y la aplicación del sensor cuantas veces lo consideren necesario, incrementando su confianza y nivel de conocimiento sin riesgos ni gastos adicionales.

Otro aspecto destacado del sistema es la optimización de recursos y tiempo en el proceso de enseñanza. En comparación con la metodología convencional, que incluye manuales, videos y prácticas físicas, el entrenamiento basado en VR demostró ser más eficiente, logrando reducir el tiempo requerido para la capacitación en un 50%. Este enfoque combina teoría y práctica en un único entorno virtual interactivo, permitiendo a los usuarios adquirir habilidades técnicas de forma estructurada y en menos tiempo, sin comprometer la calidad del aprendizaje.

La herramienta propuesta no solo beneficia a los operadores individuales, sino que también representa una solución escalable para las organizaciones que buscan modernizar sus procesos de formación técnica. Este sistema está alineado con los principios de la Industria 4.0, integrando tecnologías inteligentes que contribuyen a la transformación digital en la educación técnica y profesional.

Finalmente, este estudio resalta la efectividad de la realidad virtual como una metodología innovadora en la capacitación técnica. La simulación en VR no solo facilita la comprensión de cómo funcionan y se ensamblan los sensores de nivel, sino que también proporciona un entorno flexible que puede adaptarse a las necesidades específicas de los usuarios y organizaciones. A

medida que se implementen y desarrollen más sistemas de este tipo, se espera que la realidad virtual se consolide como una herramienta esencial en la educación técnica, reduciendo costos, maximizando la eficiencia y preparando a los operadores para los desafíos de un entorno industrial cada vez más digitalizado y competitivo.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento a la red de investigación INTELIA, respaldada por REDU, por su invaluable apoyo y colaboración a lo largo del desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Ali, A. N., & Darwish, Y. N. (2025). *The Role of Metaverse in Interior Design-Built Environment* (pp. 491–501). https://doi.org/10.1007/978-3-031-71318-7_46
- Bennett, J. M., McGuckian, T. B., Healy, N., Lam, N., Lucas, R., Palmer, K., Crowther, R. G., Greene, D. A., Wilson, P., & Duckworth, J. (2025). Development of a virtual reality pedestrian street-crossing task: The examination of hazard perception and gap acceptance. *Safety Science*, 181, 106706. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106706>
- Casal-Moldes, Á., Campo-Prieto, P., Rodríguez-Fuentes, G., & Cancela-Carral, J. M. (2024). Multisensory Stimulation in Amyotrophic Lateral Sclerosis Disease: Case Report of an Innovative Proposal through Immersive Virtual Reality. *Applied Sciences*, 14(20), 9238. <https://doi.org/10.3390/app14209238>
- Chu, C.-H., Pan, J.-K., & Chen, Y.-W. (2025). Ergonomic workplace design based on real-time integration between virtual and augmented realities. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 92, 102859. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102859>
- Daoudi, A., Amrani, M. Z., & Achour, N. (2024). A Novel Stepper Motor Haptic Interface for Efficient Robotic Task Programming. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 57(5), 1369–1376. <https://doi.org/10.18280/jesa.570512>
- Di Pasquale, V., Digiesi, S., Ferretti, I., Padovano, A., Sammarco, C., & Suárez Savigne, J. E. (2024). Enhancing Industrial Operator Training through BIM-Enriched Virtual Reality Scenes. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19), 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.183>
- Divya, U. J., Hrishikesh, P., Sylesh, N., Menath, M. M., & Yadukrishnan. (2025). *Ground Plane Synchronization in VR Applications Using Indoor Robots for Enhancing Immersion* (pp. 759–768). https://doi.org/10.1007/978-981-97-8031-0_80
- Fabio, G., Giuditta, C., Margherita, P., & Raffaeli, R. (2025). A human-centric methodology for the co-evolution of operators' skills, digital tools and user interfaces to support the Operator 4.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 91, 102854. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102854>
- Hajipour, V., Di Caprio, D., Santos-Arteaga, F. J., Amirsahami, A., & Vazifeh Noshafagh, S. (2025). A two-stage stochastic programming model for comprehensive risk response action selection: A case study in Industry 4.0. *Expert Systems with Applications*, 261, 125565. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125565>
- Istiono, W., & Wira Pratama, A. N. (2025). Innovative virtual reality solutions for technical training in heavy construction equipment repair and maintenance. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 37(1), 627. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i1.pp627-635>

- Kim, M. J., Son, Y. G., Kim, Y. M., & Park, D. (2025). Comparing typing methods for uppercase input in virtual reality: Modifier Key vs. alternative approaches. *International Journal of Human-Computer Studies*, 193, 103385. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103385>
- Li, S., Yuan, Z., Peng, R., Leybourne, D., Xue, Q., Li, Y., & Yang, P. (2024). An effective farmer-centred mobile intelligence solution using lightweight deep learning for integrated wheat pest management. *Journal of Industrial Information Integration*, 42, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100705>
- Ohueri, C. C., Masrom, Md. A. N., & Lohana, S. (2025). Advances in Immersive Virtual Reality-Based Construction Management Student Learning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(1). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-15345>
- Yasin Yiğit, A., & Uysal, M. (2025). Virtual reality visualisation of automatic crack detection for bridge inspection from 3D digital twin generated by UAV photogrammetry. *Measurement*, 242, 115931. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115931>
- Zhang, Y., Kinatader, M., Huang, X., & Warren, W. H. (2025). Modeling competing guidance on evacuation choices under time pressure using virtual reality and machine learning. *Expert Systems with Applications*, 262, 125582. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125582>
- Zhao, X., Lu, Y., Huang, W., & Lin, G. (2024). Assessing and interpreting perceived park accessibility, usability and attractiveness through texts and images from social media. *Sustainable Cities and Society*, 112, 105619. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105619>