

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

Tema: “PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE ENTRENAMIENTO PARA COMISIONAMIENTO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL.”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Producción y Operaciones Industriales.

Modalidad De Titulación Proyecto De Desarrollo

Autor: Ingeniero José Ezequiel Naranjo Robalino

Director: Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez, PhD

Ambato-Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

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

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster, e integrado por los señores: Ingeniero Fernando Urrutia Urrutia, Magíster, e Ingeniera Jéssica Paola López Arboleda, Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE ENTRENAMIENTO PARA COMISIONAMIENTO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL”, elaborado y presentado por el Señor Ingeniero José Ezequiel Naranjo Robalino, para optar por el Grado Académico de Magíster en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidenta y Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Fernando Urrutia Urrutia, Mg.

Miembro Del Tribunal de Defensa

Ing. Jéssica Paola López Arboleda, Mg.

Miembro Del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE ENTRENAMIENTO PARA COMISIONAMIENTO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero José Ezequiel Naranjo Robalino, Autor bajo la Dirección de Ingeniero Marcelo Vladimir García Sánchez, PhD, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

AUTOR

Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez, PhD,

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

C.C. 1804710463

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
EXECUTIVE SUMMARY	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
2.1. Estado del arte.....	4
2.2. Marco teórico.....	12
2.2.1. Industria 4.0.....	13
2.2.2. Realidad Virtual.....	13
2.2.3. Comunicador de campo TREX.....	14
2.2.4. Transmisor de presión Rosemount 2088.....	15
2.2.5. Transmisor inalámbrico de temperatura Rosemount 648	16
CAPÍTULO III.....	18
3.1. Ubicación.....	18
3.2. Equipos y materiales.....	18
3.2.1. Hardware de realidad virtual	18
3.2.2. Motores gráficos para realidad virtual.....	21
3.2.3. Software de diseño y animación	22
3.3. Tipo de investigación.....	25
3.4. Prueba de Hipótesis	25
3.4.1. Variable independiente	25

3.4.2.	Variables dependientes	25
3.4.3.	Alcance	26
3.4.4.	Hipótesis de investigación.....	26
3.4.5.	Hipótesis nulas.....	26
3.5.	Población o muestra.....	26
3.5.1.	Población.....	26
3.5.2.	Muestra	26
3.6.	Recolección de información	27
3.6.1.	Encuesta.....	27
3.6.2.	Prueba	27
3.7.	Procesamiento de la información y análisis estadístico	27
3.7.1.	Tau-b de Kendall.....	27
3.7.2.	T-Student.....	28
3.7.3.	Media aritmética	29
3.7.4.	Desviación estándar.....	29
3.7.5.	Alfa de Cronbach	29
3.8.	Variables respuesta o resultados alcanzados	30
3.8.1.	Caso de estudio.....	30
3.8.2.	Arquitectura software	31
3.8.3.	Diseño de interfaces	42
3.8.4.	VRUSE	49
3.8.5.	Escenario experimental.....	50
CAPÍTULO IV		52
4.1.	Entrenamiento RV vs entrenamiento convencional.....	52
4.1.1.	Aplicación de la evaluación	52
4.1.2.	Tiempos de entrenamiento	56
4.2.	Usabilidad	57
4.3.	Propuesta de entrenamiento RV.....	59
CAPÍTULO V		62
5.1.	Conclusiones y trabajos futuros	62
5.2.	Recomendaciones.....	63
5.3.	BIBLIOGRAFÍA	64
5.4.	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del comunicador de campo TREX.....	15
Tabla 2. Dispositivos RV.....	18
Tabla 3. Matriz de selección de dispositivos RV.....	20
Tabla 4. Motores gráficos RV.....	21
Tabla 5. Matriz de selección de software RV.....	22
Tabla 6. Software de diseño y animación usado en RV.....	23
Tabla 7. Matriz de selección de software de diseño y animación.....	24
Tabla 8. Caso de uso-Inicio de la aplicación.....	32
Tabla 9. Caso de uso-Familiarización.....	32
Tabla 10. Caso de uso-Entrenamiento.....	33
Tabla 11. Caso de uso-Evaluación.....	33
Tabla 12. Descripción módulo de reconocimiento.....	36
Tabla 13. Descripción del módulo de entrenamiento-conexión.....	37
Tabla 14. Descripción del módulo de entrenamiento-manual.....	40
Tabla 15. Descripción del módulo de evaluación.....	41
Tabla 16. Factores VRUSE.....	50
Tabla 17. Prueba de normalidad.....	54
Tabla 18. Prueba de Levene.....	54
Tabla 19. Resultado T-student.....	55
Tabla 20. Tau-b de Kendall.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Continuo de la realidad.	14
Fig. 2. Rosemount 2088	16
Fig. 3. Rosemount 648	17
Fig. 4. Nivel de correlación Tau-b de Kendall.	28
Fig. 5. Metodología 1: convencional.....	31
Fig. 6. Metodología 2: Sistema RV.....	31
Fig. 7. Diagrama de casos de uso del usuario.....	34
Fig. 8. Diagrama de componentes.....	35
Fig. 9. Diagrama de clases-módulo de reconocimiento.....	36
Fig. 10. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento conexión.	37
Fig. 11. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento manual.....	39
Fig. 12. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento guiado.....	39
Fig. 13. Diagrama de clase-módulo de evaluación.	41
Fig. 14. Diagrama de actividades.....	43
Fig. 15. Menú de opciones.....	44
Fig. 16. Familiarización de dispositivos.....	44
Fig. 17. Video instructivo.	45
Fig. 18. Entrenamiento de conexión de dispositivos HART.....	45
Fig. 19. Entrenamiento de configuración de dispositivos HART.....	46
Fig. 20. Configuración guiada.....	47
Fig. 21. Configuración guiada de unidades.....	47
Fig. 22. Finalización de configuración guiada.	48
Fig. 23. Módulo de evaluación.....	49
Fig. 24. Lazo de control RV.....	49
Fig. 25. Transmisor de temperatura: resultados de la evaluación.....	53
Fig. 26. Transmisor de presión: resultados de la evaluación	53
Fig. 27. Diagrama de cajas y bigotes entrenamiento C vs entrenamiento RV.	55
Fig. 28. Capacitación convencional.	56
Fig. 29. Capacitación RV.....	56
Fig. 30. Comparación de tiempos.	57
Fig. 31. Estadísticas descriptivas de los factores VRUSE.	59
Fig. 32. Propuesta de sistema RV para entrenamiento industrial.	61

AGRADECIMIENTO

A Dios por su amor incondicional y por su protección. En estas épocas tan complicadas,
me ha permitido disfrutar de toda mi familia.

A la Universidad Técnica de Ambato que, con sus autoridades, personal administrativo
y docentes, me brindan esta oportunidad de poder alcanzar el título de Ingeniero
Industrial en Procesos de Automatización.

A Marcelo García, un gran amigo. Su conocimiento, guía y seguridad como tutor, han
permitido el crecimiento de mi vida académica y profesional.

DEDICATORIA

A mi madre Mercedes, por ser ella quien me apoya en cada decisión que tomo, por ser esa persona incondicional que, a pesar de mis defectos, me apoya en todo lo que emprendo.

A mi hermana Andrea y a mi sobrina Valeria, por ser esa alegría y complicidad en mi vida, a ellas por ser el hombro en donde arrimarme en momentos difíciles.

A mi padre José, quien, con su empuje y ganas de comerse al mundo, me ha logrado demostrar que las personas pueden conseguir siempre lo que se proponen.

A mi compañera de vida Érika, quien con su amor y entendimiento me siguen ayudando a mejorar como persona. Ella con su esfuerzo, tesón y dedicación han demostrado a todos que se puede lograr hasta los objetivos más complicados.

A mis compañeros de maestría, especialmente a una persona que, a pesar que no llegué a conocer a fondo, demostró su valentía y alegría ante las adversidades de la vida. Mayrita[†], se con firmeza que en donde te encuentras, no hay penurias, dolor ni tristezas y que estás cuidando de la mejor manera a tus seres queridos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

TEMA:

“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE ENTRENAMIENTO PARA COMISIONAMIENTO INDUSTRIAL A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL.”

AUTOR: Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

DIRECTOR: Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez, PhD

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Diseño, materiales y producción

FECHA: 30 de enero, 2021

RESUMEN EJECUTIVO

La rápida evolución tecnológica, así como la crisis sanitaria que actualmente estamos enfrentando, han obligado a las empresas a reestructurar sus procesos logísticos, de producción y capacitación. El entendimiento de que actualmente nos encontramos en una cuarta revolución industrial, ha empujado a la industria a aplicar nuevas herramientas digitales con la finalidad de que, sus trabajadores y colaboradores tengan las destrezas necesarias para enfrentarse a ambientes dinámicos. Este trabajo de investigación, presenta la comparación entre el uso de un sistema de realidad virtual y un sistema convencional para entrenamiento en el comisionamiento de transmisores industriales. Se empleó una muestra de 40 personas, divididas en dos grupos, uno experimental y otro de control. A través del motor gráfico Unity 3D, se crearon y programaron las interfaces correspondientes a tres módulos de capacitación: reconocimiento, entrenamiento y evaluación. Los resultados mostraron un p-valor de 0.0000097 manifestando que el entrenamiento virtual es una mejor alternativa que los métodos convencionales. Por otra parte, al comparar ambas metodologías, se notó que, usando herramientas digitales para capacitación, el tiempo de entrenamiento se redujo en 46.7%. Finalmente, se llevó a cabo

la evaluación de usabilidad del sistema a través del método VRUSE. Se reveló que los factores inherentes a este método, tienen un alto nivel de correlación entre ellos, obteniendo valores de significancia inferiores a 0.05.

Descriptor: Comisionamiento, entrenamiento, HART, optimización, realidad virtual, Unity 3D, VRUSE.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

THEME:

“PROPOSAL TO OPTIMIZE TRAINING TIMES FOR INDUSTRIAL COMMISSIONING THROUGH VIRTUAL REALITY.”

AUTHOR: Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino

DIRECTED BY: Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez, PhD

LINE OF RESEARCH:

- Design, materials and production.

DATE: January 30, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

Rapid technological evolution and the health crisis we are currently facing have forced companies to restructure their logistics, production, and training processes. The understanding that the world is immersed in a fourth industrial revolution has pushed the industry to apply new digital tools to aim that its workers and collaborators have the necessary skills to face dynamic environments. This research work presents the comparison between the use of a virtual reality system and a conventional system for training in the commissioning of industrial transmitters. A sample of 40 people was used, divided into an experimental group and a control group. Through the Unity 3D graphics engine, the interfaces corresponding to three training modules were created and programmed: recognition, training, and evaluation. The results showed a p-value of 0.0000097, stating that virtual training is a better alternative than conventional methods.

On the other hand, when comparing both methodologies, it was noted that using digital tools helped reduce the training time by 46.7%. Finally, the usability evaluation of the system was carried out through the VRUSE method. It was revealed that the factors

inherent in this method have a high level of correlation between them, obtaining significance values lower than 0.05.

Keywords: Commissioning, HART, optimization, training, Unity 3D, virtual reality, VRUSE.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La capacitación del personal es un proceso continuo que debe ser enfocado según las necesidades de cada empresa, además, es vital para el buen desarrollo de las instituciones. A nivel industrial sucede exactamente lo mismo, la correcta instrucción de los trabajadores, ayuda a lograr los objetivos estratégicos planteados y a establecer su valor productivo. Sin embargo, a pesar de ser tan necesaria, la capacitación continua es poco valorada por parte de los altos mandos, generando recurso humano desactualizado y por ende productos/servicios de baja calidad [1].

En muchos casos, el aprendizaje durante el desempeño del trabajo afecta la estabilidad de los procesos. Es por esta razón, que se debe decidir si el aprendizaje y capacitación del personal se debe llevar a cabo durante la operación real, con posibles pérdidas de tiempo; o en una fase previa sin comprometer la eficiencia del proceso. Las oportunidades de aprendizaje en la cadena de valor están limitadas debido a la variabilidad de su entorno, es decir, es complejo implementar cambios durante la ejecución de la producción. En este punto, poner en riesgo la calidad, seguridad y eficiencia de la línea de producción y trabajadores, es inaceptable [2].

Para solucionar estos problemas, en los últimos años ha surgido la industria 4.0, cuyo objetivo es mejorar los procesos y aumentar la productividad de las industrias. Entre las tecnologías que han sido empleadas para cumplir este propósito, se puede mencionar al internet industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés), inteligencia y visión artificial, realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) [3].

La realidad virtual, objeto de este estudio, se la puede definir como una recreación virtual del mundo real y cuyo objetivo es transportar al usuario a escenarios completamente digitalizados e interactivos. Esta tecnología, fue concebida en un inicio para videojuegos, sin embargo, se ha extendido a varios campos como la industria, medicina, milicia, educación y turismo [4].

La RV, ha permitido crear entornos de simulación para procesos y situaciones reales. Además, ha demostrado ser una forma adecuada de reducir tiempos de entrenamiento, prevenir errores o incluso mejorar la calidad de los productos [5]. La motivación para implementar esta tecnología, surge del hecho que, se presenta como una alternativa de

bajo costo cuando se trata de entrenamiento y capacitación para uso de equipo especializado. La RV, brinda al usuario un proceso aprendizaje inmersivo, interactivo e innovador, en contraste con la enseñanza tradicional, cuya monotonía genera rechazo y aburrimiento [6,7].

Uno de los softwares más utilizados para desarrollar realidad virtual, es Unity 3D, motor gráfico que en conjunto con dispositivos como Oculus Rift y HTC (visualizadores montados en cabeza o HMD por sus siglas en inglés), brinda un entorno de programación intuitivo y amigable, además de que permite un alto grado de inmersión para sus usuarios [5].

En Ecuador, a pesar de que existen varios estudios sobre capacitación virtual en diferentes industrias [8-10], todavía nos encontramos relegados y renuentes al cambio tecnológico. Sin embargo, como se ha visto en párrafos anteriores, el correcto uso de tecnologías nuevas, como la realidad virtual, ofrece una ventaja competitiva, reduce costos y mejora la imagen de cualquier empresa.

Para dar solución a la problemática antes descrita, esta investigación presenta el desarrollo de una aplicación, basada en realidad virtual, para la capacitación en la conexión, configuración y puesta en marcha de transmisores HART tanto de presión como de temperatura. El objetivo principal de este estudio, se basa en la comparación de tiempos de entrenamiento entre una capacitación convencional y una capacitación a través del uso de nuevos sistemas tecnológicos, que permiten aumentar la productividad de los trabajadores, mantener la estabilidad de los procesos y brindar un mejor entendimiento de los equipos que se están utilizando.

1.2. Justificación

La industria del siglo XXI enfrenta el reto de adaptarse a nuevas tecnologías, natural para profesionales jóvenes, pero ajena a trabajadores que, a pesar de tener años de experiencia, no poseen las aptitudes necesarias para alinearse con el mundo tecnológico en el que vivimos. La brecha generacional existente, obliga a que los altos mandos capaciten de forma continua a todo su personal, además de que inviertan en innovación y nuevas herramientas digitales.

Esta investigación, se realizó principalmente para dar a conocer las nuevas tendencias por las cuales se está decantando la industria 4.0, específicamente la realidad virtual, la cual ayuda a mejorar la productividad de los trabajadores y procesos mediante la reducción de

tiempos de entrenamiento, optimización en costos de mantenimiento de equipos, incremento de los niveles de retención de conocimiento y mejoramiento en el desarrollo de habilidades y competencias.

El desarrollo de este estudio fue posible, debido a que, en Ecuador existen pocos trabajos que involucran al entrenamiento de operarios y optimización de tiempos a través de tecnologías actuales. Se ha dejado un precedente de que, en nuestra región, existe el conocimiento y recursos necesarios para competir con industrias de renombre mundial.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Diseñar un modelo de optimización de tiempos de entrenamiento para el comisionamiento de instrumentación industrial a través de la creación de una aplicación de realidad virtual.

1.3.2. Específicos

- Diseñar transmisores HART tanto de presión como de temperatura a través de un software de modelamiento 3D.
- Desarrollar una aplicación de realidad virtual inmersiva e interactiva que implique la animación de los transmisores industriales HART.
- Evaluar los atributos de la aplicación de realidad virtual desarrollada, a través de un método de usabilidad, con la finalidad de determinar si los entornos diseñados son adecuados para entrenamiento industrial.
- Proponer una alternativa de optimización de entrenamiento industrial, mediante la aplicación de realidad virtual desarrollada, para el uso de transmisores HART.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

2.1. Estado del arte

Debido a que esta investigación se encuentra dirigida al desarrollo de un sistema RV para optimización de tiempos de entrenamiento dentro de la industria, a continuación, se muestra un compendio de trabajos relacionados, de los últimos cinco años, los cuales han sido revisados tomando en cuenta varias perspectivas, i) entrenamiento no industrial basado en realidad virtual, ii) entrenamiento industrial, y iii) entrenamiento industrial basado en realidad virtual.

1. Entrenamiento no industrial basado en realidad virtual

La realidad virtual se ha convertido en una herramienta de mucha utilidad en los últimos años, ha pasado de ser un sistema exclusivo para videojuegos a una opción dentro de la educación medicina, entre otros. A continuación, se describen los enfoques no industriales más destacados de esta tecnología.

Koumaditis et al. [11], presentan un experimento exploratorio de dos fases, en el cual concatenan la excitación y rendimiento físico de varios participantes durante el uso de un rompecabezas virtual. Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación, se estableció un cuestionario, en el cual los colaboradores consintieron su intervención en el experimento y llenaron datos sobre su perfil personal. Por otra parte, se utilizaron sensores para medir la conductancia de su piel y ritmo cardiaco.

Las observaciones iniciales señalaron que los participantes tuvieron un mejor desempeño después de haber sido entrenados con el sistema propuesto, obteniendo un número mínimo de fallas, realizando las tareas de forma más eficiente y llevando su ritmo cardiaco a niveles más altos de lo normal. Con esto se concluyó que la aplicación de sistemas RV logra estimular los sentidos de los usuarios brindándoles una experiencia de aprendizaje mucho más significativa.

Zou et al. [12], proponen un sistema de bateo de béisbol basado en realidad virtual, cuyo objetivo es proporcionar de manera inmediata retroalimentación sobre el desempeño del usuario. Esto permite al jugador no solo basarse en conjeturas subjetivas sobre su técnica de bateo, sino también ayudarlo a través de datos reales como la ubicación exacta del

impacto de la bola, ángulo de llegada, velocidad y tiempo de bateo, a ajustar de manera cuantitativa su swing.

De las 5 personas seleccionadas para formar parte de este experimento, 4 bateadores mejoraron de forma considerable su rendimiento, sin embargo, se observó un desempeño por debajo del promedio en el último participante. Esto puede ser atribuido a que este individuo no se adaptó a la tecnología inmersiva planteada. El estudio concluye con la propuesta de realizar muestreos más grandes, con períodos de tiempo más largos, para así determinar, de forma correcta, la utilidad del sistema RV.

Por otra parte, la realidad virtual ha sido un eje importante cuando de entrenamiento en el campo médico se trata, así lo demuestran Rajeswaran et al. [13], quienes han desarrollado un sistema denominado “AirwayVR”, enfocado al entrenamiento de intubación endotraqueal. Este sistema RV, fue destinado para dos propósitos diferentes, el primero se enfocó en la práctica y entrenamiento de estudiantes principiantes, mientras que su segundo objetivo fue usar esta tecnología como una plataforma de capacitación para profesionales médicos. En esta última etapa, también se implementó la metodología Justo-a-Tiempo, con la finalidad de que, expertos en el campo de la intubación endotraqueal, se capaciten para casos complejos y especiales.

De esta misma forma, Mathur [14], exponen un sistema de realidad virtual de bajo costo destinado a la capacitación e instrucción médica de actividades rutinarias. Han hecho uso del dispositivo montado en cabeza Oculus Rift y de los controles Razer Hydra para ofrecer una experiencia inmersiva e interactiva. Las tareas propuestas para la práctica en estos entornos van desde la identificación de ciertos órganos hasta la realización de incisiones complejas. Este prototipo ilustra de manera práctica, que la implementación de sistemas de entrenamiento, no necesariamente deben ser costosos y complejos.

Finalmente, Shi et al. [15], detallan una alternativa diferente a los métodos de rehabilitación convencionales para accidentes cerebrovasculares. En esta investigación, se combina el uso de un exoesqueleto y varios entornos de realidad virtual, conectados a través de comunicación serial y el protocolo Modbus, para generar ejercicios de rehabilitación desinados a pacientes con disfunción motora en sus extremidades superiores. Entre las ventajas que posee este sistema, se puede mencionar su tiempo de respuesta que, en comparación con sistemas dependientes de cámaras para capturar la información del paciente, es mucho más eficiente.

2. Entrenamiento industrial

La capacitación en la industria debe ser un proceso continuo y actualizado, eficiente para obtener a trabajadores con las destrezas necesarias para sacar adelante a una empresa. En esta sección, se presentan los trabajos enfocados al entrenamiento industrial sin la intervención de la realidad virtual. Efanntyo et al. [16], han desarrollado un sistema de entrenamiento para el archivo de información a través de inteligencia artificial (IA) en JAVA. El propósito de esta investigación, se centra en facilitar la impresión de archivos y clasificar a cada trabajador según su rango en la empresa, con la finalidad de que su ingreso a la base de datos, donde se encuentra la información, sea eficiente. Como resultado, de manera sorprendente, se recalca que el sistema propuesto opera de manera perfecta, es decir sin ningún error.

Mechlih [17], propone un método que emplea simulaciones en 3D para la capacitación de nuevos empleados, reducción de costos y tiempo del procesos de inducción. Los procesos seleccionados para aplicar esta metodología, han sido minuciosamente valorados, tomando en cuenta la dificultad y precisión que requieren. Estas áreas incluyen a robótica, mantenimiento y manufactura. Por otra parte, esta nueva metodología consta de diferentes etapas, las cuales permiten al operario organizar el conocimiento que va adquiriendo y ponerlo en práctica de acuerdo a los requerimientos de la empresa.

Phakphonhamin et al. [18], enfocó su investigación en el desarrollo de un curso para capacitación sobre el sistema de producción Toyota (TPS, por sus siglas en inglés). Este entrenamiento fue direccionado para todo el personal de producción, lo que representó una muestra de 30 personas. Cabe mencionar que a los participantes se les tomó una prueba sobre sus conocimientos de TPS antes y después de esta capacitación. Finalmente, este trabajo obtuvo como resultados que, basados en las evaluaciones realizadas, el personal de producción, mejoró en un 37.5% sus conocimientos y habilidades sobre el sistema de producción Toyota.

Cuando se habla de entrenamiento industrial, es imprescindible mencionar a los avances tecnológicos de los últimos años, cuyos resultados han permitido crear modelos cada vez más eficientes de capacitación, bajo este contexto, Martin et al [19], proponen el uso de realidad aumentada como herramienta de entrenamiento para adquirir destrezas en el campo de la automatización industrial. La solución presentada, se basa en una plataforma de código abierto, por lo cual el costo del sistema es se considera asequible. El uso de la

herramienta web A-Frame en combinación con el proyecto JavaScript denominado AR.js permitió desarrollar interfaces para monitorear, en tiempo real, el nivel de la línea de producción AFB diseñada por Festo Didactics.

Como descripción final de esta sección, se detalla el trabajo realizado por Thomay et al.[20], quienes abordan el concepto de aprendizaje electrónico en una estación de entrenamiento, con el objetivo de enseñar a trabajadores nuevos o novatos, los pasos necesarios a seguir para ensamblar un esquí sin la necesidad de supervisión humana frecuente. La técnica de entrenamiento desarrollada, permite, basado en las necesidades y comportamiento del usuario, la entrega de la información e instrucciones necesarias para completar su tarea. El sistema de entrenamiento, consta de un banco de trabajo, necesario para el montaje y soporte de los esquís, además de estantes que almacenan las piezas esenciales para completar el ensamblaje. Por otra parte, también se hace uso de una cámara RGB y dos sensores de profundidad para captar e interpretar de la manera más precisa los movimientos del operario. Una vez que el usuario ha concluido con su turno de trabajo, el sistema despliega una evaluación general de su desempeño, mostrando sus falencias y aciertos que le permitirán tomar acciones correctivas para mejorar su proceso de operativo.

3. Entrenamiento industrial basado en realidad virtual

La industria 4.0 denominada también como la cuarta revolución industrial, ha crecido de manera exponencial en los últimos años, elevando el nivel de desarrollo de tecnologías como la realidad virtual y permitiendo que este tipo de herramientas digitales se destinen a la capacitación y creación de recursos humanos calificados. Dado que el enfoque de la presente investigación es proponer un modelo que permita ahorrar tiempo y costos en el entrenamiento de nuevos operarios, este apartado describe los trabajos relacionados que han servido como base para el desarrollo del sistema propuesto. Wolfartsberger et al. [21], formularon un prototipo de capacitación RV para tareas de ensamblaje. La parte principal de este estudio se centra en que, dentro de varios entornos de realidad virtual previamente programados, un profesional experto realice un determinado procedimiento de trabajo con el que se encuentre familiarizado. Estas acciones son grabadas para poder reproducirse en la siguiente etapa del experimento.

En la fase dos, interviene un operario o profesional sin conocimientos en el área de ensamblaje. Aquí, este usuario denominado alumno, observa y sigue paso a paso la

grabación del experto, dando una orientación de “autoría práctica” al estudio. Este concepto presenta un gran potencial dentro de áreas industriales como i) planeación de procesos, ya que a través de inspección remota se puede verificar la forma en la cual se están llevando a cabo los procedimientos de ensamblaje, ii) revisiones de diseño, para registrar, controlar y cuidar la calidad del producto final; y, iii) mantenimiento, con la finalidad de llevar un registro de instrucciones para situaciones que sean complejas o muy pocas comunes, y de esta manera evitar el desperdicio de recurso humano y económico.

Chrysoulas et al. [22], enuncian un marco para enseñar conceptos complejos de automatización industrial. Hacen uso de tecnologías de la industria 4.0 como realidad virtual y realidad aumentada para construir, de manera fácil e intuitiva, sistemas a través de la norma IEC 61499, permitiéndoles parametrizar los bloques de función empleados.

La arquitectura propuesta incluye cuatro componentes principales, i) FORTE, proyecto de código abierto, que simula y ejecuta aplicaciones a través de bloques de función, ii) 4DIAC, entorno de desarrollo integrado, también de código abierto, que proporciona un ambiente de programación basado en Programadores lógicos controlables (PLC) que combina el estándar antes mencionado con el estándar IEC 61131-3, iii) Entornos de realidad virtual y realidad aumentada, desarrollados en Unity 3D, debido a que es de uso gratuito y presenta grandes ventajas en el desarrollo, portabilidad, soporte entre usuarios y en diseños CAD pre elaborados para su inmediata importación y utilización. Además, cuentan con un conjunto de dispositivos destinados a este tipo de tecnologías como las gafas y controles hápticos de HTC, conjuntamente con cámaras de seguimiento infrarrojas; y, iv) casos de estudio, desarrollados dentro del contexto de la automatización de tanques de líquidos y cintas transportadoras. Es necesario mencionar que para esta sección los autores han optado por construir sus propios modelos 3D de los elementos ya descritos, esto con la finalidad de brindar flexibilidad a la hora de desarrollar el programa de entrenamiento.

Lacko [23], describe el desarrollo de un sistema de realidad virtual, en primera y tercera persona, para capacitar y evaluar a trabajadores industriales en el campo de salud y seguridad. Para cumplir este propósito, se crearon varios escenarios cuyo objetivo es mostrar prácticas correctas, así como las posibles fallas que un operario, dentro del ámbito industrial, puede tener.

Estos escenarios fueron divididos en tres categorías principales, i) minimización de riesgos durante la operación normal de maquinaria, simulación de fallo de máquinas así como del flujo de trabajo, tomando en cuenta procedimientos incorrectos que expondrían la integridad física del trabajador, ii) minimización de riesgos en el área de producción, aquí se han simulado los riesgos provenientes del movimiento de equipos dentro de instalaciones industriales, superación de obstáculos como escaleras o espacios cortos, además el uso de pasillos y iii) minimización de riesgos en emergencias, evaluación del comportamiento de trabajadores durante situaciones de peligro como conatos de incendio, explosiones, detonación de alarmas, entre otros.

En este experimento, se seleccionaron dos grupos de prueba, grupo A y grupo B. En el primer grupo, 37 trabajadores fueron capacitados de forma convencional, es decir sin el uso de tecnologías inmersivas, siguiendo un plan de videos y charlas por parte de su supervisor. En el último grupo, que constaba de 32 trabajadores, se aplicó los sistemas de realidad virtual. Para comparar a estos dos grupos, se realizó una encuesta de 20 preguntas, la cual se llevó a cabo, de forma inmediata, en cada grupo después de su entrenamiento. Los resultados, mostraron que el grupo A obtuvo 87% de efectividad en su evaluación, mientras que el grupo B, obtuvo un 97% de respuestas correctas. Este mismo cuestionario fue aplicado a la misma muestra después de un mes, obteniendo un 68% de respuestas correctas para el primer grupo y un 87% para el segundo grupo.

Finalmente, se concluyó en este estudio que los sistemas inmersivos de realidad virtual ayudan, de manera significativa, a entrenar de una manera eficiente y novedosa a operarios. Además, se demostró que el uso de este tipo de tecnologías es apropiado cuando se requiere la comprensión y almacenamiento de información a largo plazo, manifestando ser una herramienta digital útil dentro del ámbito de salud y seguridad industrial.

Silva et al. [24], explican que el costo de capacitación presencial para manejar maquinaria especializada es alto, además de que implica un riesgo latente para los trabajadores. Debido a esto, muestran un simulador virtual para entrenamiento en el uso y manejo de montacargas, desarrollado con interfaces de control háptico, es decir, con el uso de joysticks para obtener retroalimentación táctil.

El sistema de RV constó de dos módulos, en el primero se evaluó la capacidad de inspección del operador, así como su familiaridad con los instrumentos y controles de los

montacargas. Aquí, se presentó al usuario, de forma interactiva y didáctica, un cuestionario con múltiples opciones. El objetivo se centró en asegurarse de la seguridad del procedimiento. Por otro lado, en el segundo módulo se capacitó en el correcto apilamiento de material a través del montacarga, esto se lo hizo mediante la instrucción en cómo usar componentes esenciales como las torres y horquillas de la grúa.

Como último punto en esta investigación, se aplicó una encuesta a los participantes, en la cual se consideró parámetros para conocer el nivel de dificultad e inmersión percibidos. De este análisis, se concluyó que los participantes consideran a la realidad virtual como una herramienta dinámica, inmersiva y de alta utilidad para el entrenamiento de maquinaria pesada.

Mas et al. [25], exponen que el trabajar en instalaciones industriales complejas, requiere habilidades especiales de navegación espacial por parte de los operarios, las cuales solo se obtienen solo a través del tiempo y la experiencia. Las sesiones de capacitación convencionales para adquirir este tipo de habilidades, se encuentran limitadas debido a que tienen destinado un tiempo determinado, solo se pueden experimentar una vez y, en la mayoría de ocasiones, existe escasa disponibilidad. Debido a esto, los autores de esta investigación han desarrollado un sistema de realidad virtual, que consiste en un juego colaborativo de búsqueda del tesoro, denominado “Indy”.

Esta propuesta, cuenta con varias ventajas como el hecho de que enfoca la atención de los alumnos a las tareas de navegación, los compromete a cumplir su objetivo de manera activa y además, les proporciona retroalimentación sobre sus logros. Indy, fue desarrollado con Unity 3D, funciona como una aplicación de red y proporciona 3 roles de participación, i) entrenador, muestra los mapas de las instalaciones industriales y ofrece vistas y controles más amplios sobre los entornos, ii) aprendiz 1, muestra el modelo 3D de las instalaciones a través del HMD HTC Vive; y, iii) aprendiz 2, el cual no tiene características inmersivas, sin embargo, muestra los mapas mediante fotos de 360 °. El desplazamiento en este rol se lo hace con el teclado y ratón.

Como conclusión y resultados de este trabajo, se puede mencionar que, al ofrecer una variedad de entornos y escenarios, los usuarios pueden adaptarse de forma correcta un perfil de trabajo específico. Además, al convertir la experiencia de aprendizaje en un proceso colaborativo y entretenido, se mejora la atención por parte de los operarios, desembocando en conocimientos y experiencias mejor cimentadas.

Andaluz et al. [8], desarrolla la virtualización de un proceso industrial de curtido, con el objetivo de capacitar a operadores nuevos para que adquieran las destrezas necesarias sobre este proceso. El enfoque de este trabajo, se centró en la capacitación de operarios para evitar su exposición a riesgos químicos, biológicos ergonómicos y psicológicos que son muy comunes en esta industria.

Los pasos que se han seguido en esta investigación incluyen la colecta de información, identificación del sistema de producción, distribución de planta y verificación de la cadena de suministro. Por otra parte, se ha utilizado el software SolidWorks para el diseño 3D de la planta de trabajo y maquinaria, posterior a esto, Blender fue el sistema adecuado para texturizar los elementos 3D, además de servir como medio para exportar estos diseños a Unity 3D.

Herrera et al. [2], detalla el uso de un sistema de realidad virtual inmersivo orientado al aprendizaje de suelda eléctrica en el contexto de la industria de ensamble de vehículos. Se ha aplicado un proceso de enseñanza-aprendizaje para obtener operarios capacitados en el área de soldadura, reducir accidentes laborales y reducir la mayor cantidad de residuos.

El caso de estudio presentado, detalla el uso del HMD y controles hápticos HTC Vive en conjunto con Unity 3D, cuya funcionalidad permite llevar de manera correcta los procesos de transformación de un chasis a un bus funcional a través de su ensamblaje, soldado y pintura. Los resultados obtenidos, muestran un sistema eficiente orientado a la interacción hombre-máquina, que, a través del desarrollo de habilidades psicosomáticas, permite mejorar las habilidades de operarios en la industria carrocería.

Gonzalez et al. [26], proponen la planificación y diseño de una planta de energía voltaica a través de un mundo virtual. Los aprendices pueden interactuar con el sistema inmersivo diseñado aprendiendo sus características técnicas y detalles de instalación mientras aprenden con actividades didácticas visuales, auditivas y kinestésicas.

Para comparar esta metodología de enseñanza con una tradicional, se llevó a cabo una evaluación a la quinta semana de uso de la herramienta de entrenamiento. Los resultados mostraron diferencias significativas, i) el tiempo de entrenamiento convencional fue 3 veces superior al de realidad virtual, y ii) los resultados de la evaluación mostraron un desempeño promedio de 8.7/10 con la herramienta RV, mientras que el grupo de entrenamiento tradicional obtuvo una calificación de 7.35/10.

Chiluisa et al. [27], describe la aplicación de entornos virtuales para el entrenamiento de profesionales en sistemas de energía híbridos. Se ha desarrollado un sistema basado en Unity 3D dividido en tres modos de capacitación, i) inmersión, ii) interacción y modos de falla y iii) operación de procesos eléctricos. Para complementar esta propuesta, se ha determinado los modelos matemáticos de una turbina eólica y panel fotovoltaico, con la finalidad de que la capacitación sea un reflejo de situaciones industriales cotidianas.

Como evaluación del experimento, se ha determinado la eficiencia de la aplicación a través de una encuesta a los participantes. Se concluyó que la interactividad, entornos desarrollados y retroalimentación de fallos, contribuyen al proceso de aprendizaje y desarrollo de habilidades para el entendimiento y manejo de sistemas energéticos.

Finalmente, Kang et al. [28], proporciona un estudio sobre cursos educativos enlazados con realidad virtual. Esta investigación identifica el estado actual de la RV dentro de la industria y evalúa los contenidos RV impartidos por instituciones de prestigio. Como resultado de estos análisis, se diseñó un modelo educativo combinando las necesidades del mundo industrial con el conocimiento y herramientas del mundo académico. Este modelo, se implementó en un curso especializado para desarrolladores de realidad virtual, cuyo lanzamiento fue en el año 2018 con apoyo de instituciones dedicadas a las tecnologías de la información. La capacitación constaba de 960 horas para 27 aprendices, de los cuales 21 eran hombres y 6 eran mujeres.

Este criterio de selección se usó tomando en cuenta la tasa de empleo y emprendimiento que esta tecnología ofrece, además, se consideró el interés de las personas en el desarrollo de herramientas digitales y su capacidad de comprensión en la rama de software. Posteriormente, para evaluar la satisfacción de los participantes, se llevó a cabo una encuesta de 13 preguntas, que proporcionó una calificación promedio de 4.4 en la escala de Likert, concluyendo que los contenidos, metodología e instructores fueron apropiados.

2.2. Marco teórico

El desarrollo de un sistema de realidad virtual, para entrenamiento en el manejo de instrumentos HART, incluye la comprensión y análisis de conceptos inherentes a esta herramienta digital. A continuación, se detalla la base conceptual de este trabajo de investigación.

2.2.1. Industria 4.0

Este término surgió en Alemania alrededor del año 2010. Su principio se basó en la mejora de la productividad de la industria manufacturera. Así, estas palabras se convirtieron en un concepto disruptivo. La industria 4.0, también denominada como la cuarta revolución industrial, ha cambiado la forma en que los negocios compiten y manejan sus procesos.

Esta revolución, se encuentra marcada por la inclusión de tecnologías como la robótica, IA, RV, RA, nanotecnología, internet de las cosas (IoT), IIoT, entre otros. Mediante la aplicación de las herramientas ya mencionadas, se ha logrado trasladar un mundo completamente físico a espacios digitales, llegando así, a capturar información importante para cada proceso en tiempo real.

Es necesario entender que la correcta aplicación de este concepto a nivel industrial, tiene el potencial de, no solo afectar a los procesos de producción, sino también de alcanzar a mejorar las operaciones de los negocios, ayudar a que los ingresos crezcan de manera significativa, transformar la cadena de valor y, superar las expectativas de los clientes [29].

2.2.2. Realidad Virtual

Cuando se habla de RV, la primera idea que se tiene es la de relacionarla con ciencia ficción y películas. Sin embargo, esta tecnología es utilizada de manera diaria y es más común de lo que parece. Desde juegos de video, pasando por campos como la medicina y educación, hasta llegar al entrenamiento de recurso humano, la RV, en los últimos cinco años, ha generado un gran impacto en la vida de las industrias y personas [30].

La RV, se la puede definir como la recreación de entornos reales, a través de un ordenador, generando una sensación de inmersión para el usuario. Existen varios dispositivos que generan este sentido de inmersión, HMD`s, guantes y sensores hápticos son solo algunos ejemplos de los dispositivos utilizados dentro de esta herramienta digital [31].

Por otra parte, cuando se habla de esta tecnología, es necesario mencionar a los motores gráficos más conocidos que hacen posible su uso, Unreal y Unity3D. Debido a que, en el desarrollo de este trabajo se ha empleado este último, se lo describe a continuación.

Unity 3D es un motor gráfico multiplataforma, que fue creado en un principio solo para videojuegos. En los últimos años, este software se ha transformado en una de las herramientas más poderosas para desarrollar realidad virtual y realidad aumentada [32]. Su versatilidad e interfaz intuitiva, han sido aprovechadas para realizar entornos inmersivos y no inmersivos para capacitación industrial, enseñanza de ciencias exactas e incluso medicina.

Uno de los puntos fuertes de Unity 3D es el hecho de que, a nivel mundial, tiene una gran comunidad de usuarios. Esto permite acceder, de forma inmediata, a documentación y guías de cómo utilizarlo. Por otra parte, como otra ventaja de Unity 3D, se puede mencionar que, trabaja con hojas de programación basadas en C#, permitiendo de esta manera, modificar o brindar un comportamiento deseado a los objetos virtuales con los que se está trabajando [33].

Para poder entender de mejor manera a la RV, se presenta a continuación el continuo de la realidad propuesto por Paul Miligram y Fumio Kuishino [30]. Aquí se puede apreciar la oscilación que existe entre lo que se puede definir como completamente virtual y lo que es completamente realidad. Ver Fig. 1.

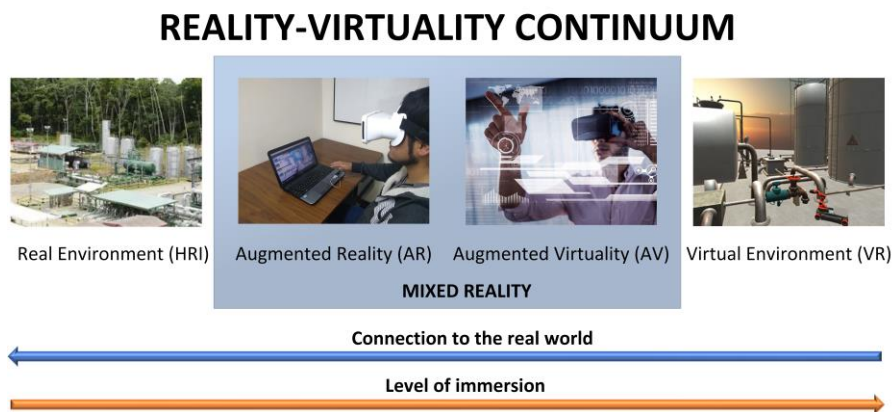


Fig. 1. Continuo de la realidad.

2.2.3. Comunicador de campo TREX

Este comunicador, mejora la línea de equipos portátiles pertenecientes a la marca Emerson, ya que agrega características que mejoran las expectativas de los clientes y aumenta de manera significativa la funcionalidad del dispositivo.

Entre las características más importantes de este comunicador de campo, se encuentra el ahorro de tiempo para técnicos industriales. Esto debido a que no hará falta que lleven los dispositivos dañados a su fabricante para una nueva configuración. Los problemas o

contratiempos de los dispositivos HART, se pueden identificar en tiempo real a través del comunicador de campo TREX, es decir, realizar diagnósticos de campo evitando paro de procesos e investigaciones potencialmente invasivas.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta el ahorro económico que este dispositivo brinda. Con un margen alto de precisión a la hora de detectar problemas, el personal de mantenimiento no tendrá que utilizar recursos extra, solventando fallas correctamente desde la primera vez. En la tabla 1, se encuentran las especificaciones técnicas de este equipo [34].

Tabla 1.
Especificaciones del comunicador de campo TREX.

Nota: Se puede visualizar las especificaciones de software y hardware del comunicador [34].

Procesador, memoria y sistema operativo	
Microprocesador	800 MHz ARM Cortex A8 / NXP
Memoria Interna	Memoria expansible de 2 GB NAND y de 32 GB
Sistema Operativo	Windows Embedded Compact 2013
RAM	512 MB DDR3 SDRAM
Características físicas	
Peso	2.9 libras (1330 gramos)
Pantalla	Pantalla táctil, resistente, a colores VGA, 5.7 pulgadas (14.5 centímetros). 640 x 480 pixel
Teclado	4 botones de flecha para navegar en los menús Marca de verificación- similar a una tecla de Enter.

2.2.4. Transmisor de presión Rosemount 2088

Este transmisor permite mediciones de presión manométricas y de presión absoluta a través de sensores piezoresistivos. Los componentes principales que conforman al Rosemount 2088 son el módulo sensor y su carcasa. El primero, contiene el sistema de sensor lleno de aceite (diafragmas aislantes, sistema de llenado de aceite y sensor) y la parte electrónica. Una característica especial de la electrónica es que incluye, un sensor de temperatura, un módulo de memoria y un convertidor de señales analógicas a digitales.

Por otra parte, la carcasa abarca al tablero electrónico, botones de configuración y los terminales [35].

- La forma de funcionamiento de este transmisor se lo describe a continuación:
- La presión es aplicada al diafragma.
- El sensor cambia su capacitancia una vez que es desviado por el aceite.
- Se procesa la señal, pasando de ser analógica a digital.
- Se calcula la salida correcta del transmisor.
- La señal se convierte nuevamente a analógica, para luego superponer la señal HART a la salida de 4 a 20 mA.

En la Fig. 2, se presenta una descripción general, funcionamiento y diseño, del transmisor de presión Rosemount 2088.

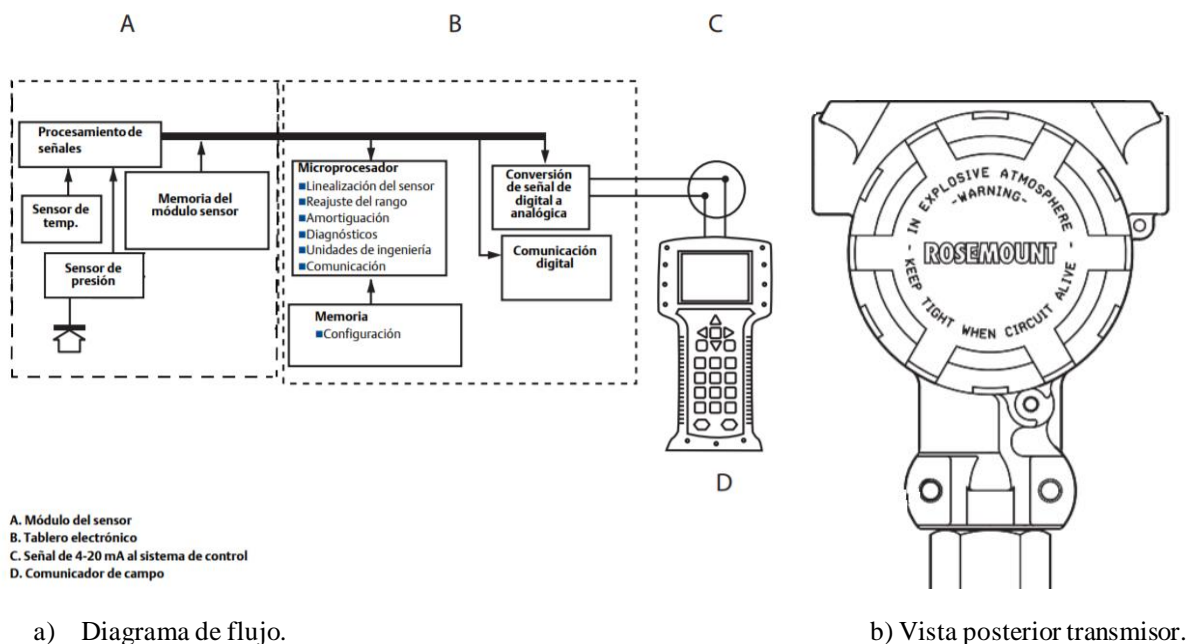


Fig. 2. Rosemount 2088 [35].

2.2.5. Transmisor inalámbrico de temperatura Rosemount 648

El Transmisor de temperatura inalámbrico Rosemount 648, se caracteriza porque brinda estabilidad y precisión para el monitoreo de procesos en ambientes simples como en ambientes complejos. Su parte externa está diseñada de tal manera que le permite resistir cualquier ambiente hostil en el que se desenvuelva. Está diseñado con una carcasa de dos compartimentos. Cuando se combina con otros dispositivos y tecnologías como Rosemount X-well, se puede obtener medidas precisas de la temperatura de un proceso a

un algoritmo de conductividad térmica del transmisor, evitando la necesidad de invadir abruptamente el proceso.

Con la finalidad de obtener la mejor experiencia en cuanto a su tecnología inalámbrica, la antena debe colocarse de manera vertical, de preferencia hacia arriba, manteniéndose alejada un metro de cualquier estructura o superficie conductora que imposibilite la comunicación eficiente con los demás equipos [36].

En la Fig. 3, se puede apreciar una descripción general, conexión y diseño, del transmisor de inalámbrico de temperatura Rosemount 648.

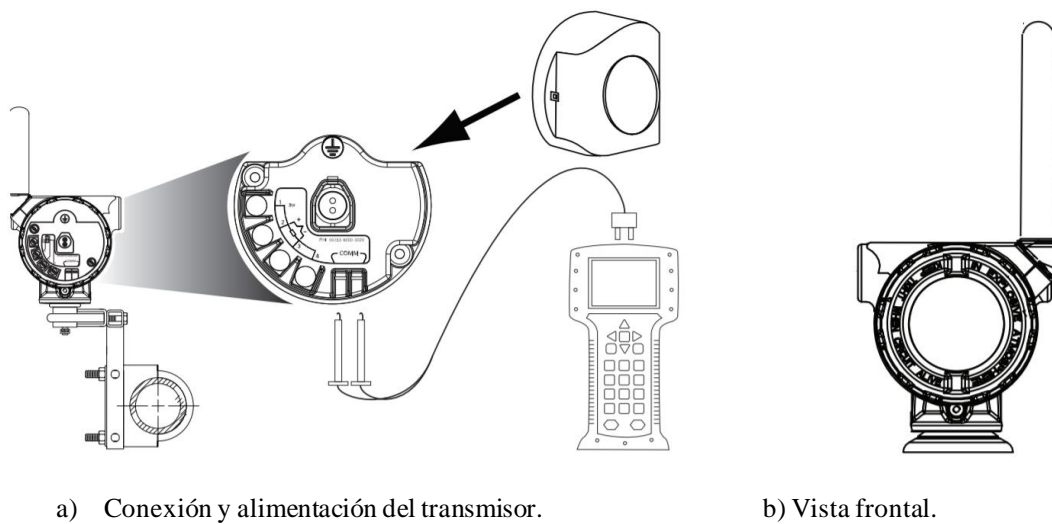


Fig. 3. Rosemount 648 [36].

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El proceso de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua-Ecuador. Debido a la crisis sanitaria que está atravesando el país, este proyecto contó con la ayuda, de forma virtual y presencial, de estudiantes y profesionales de varias universidades.

3.2. Equipos y materiales

3.2.1. Hardware de realidad virtual

Al momento de desarrollar un sistema de RV, es necesario tomar en cuenta los equipos a utilizarse, ya que, decidir de forma adecuada en esta fase del proyecto, permitirá que el sistema trabaje de manera eficiente. Si se considera la versatilidad de esta tecnología, existen varios dispositivos que varían desde gafas de realidad virtual, controles hápticos, tabletas hasta teléfonos móviles con procesadores gráficos realmente potentes. Por este motivo, en la tabla 2 se presenta diferentes dispositivos aptos para el desarrollo de la presente investigación [37].

Tabla 2.

Dispositivos RV.

Nota: Se han tomado en cuenta los cinco dispositivos RV más accesibles [37].

	Valve Index	Oculus Rift S	HTC Vive	HTC Vive Pro	Lenovo Explorer
Pantalla	2 pantallas LCD	LCD	OLED	AMOLED dual 3.5 "	LCD
Resolución	2K (1.440 x 1.600 píxeles)	2560 x 1440 px	2.160 x 1.200 px	(1440 x 1600 pixels por ojo) 615 ppi	2880 x 1440
Tasa de refresco	120 Hz	80Hz	90Hz	90Hz	90Hz
Plataforma	Steam	Oculus Home	Steam VR	Steam VR	Windows Mixed Reality
Campo de visión	130 grados	-	110 grados	110 grados	110 grados
Área de seguimiento	7 x 7 metros	-	4,5 x 4,5 m	3,5 x 3,5 m	3,5 x 3,5 m

Tabla 2. Continuación.

	Valve Index	Oculus Rift S	HTC Vive	HTC Vive Pro	Lenovo Explorer
Audio integrado	Sí, 2 altavoces y jack	Sí, Sistema estéreo passthrough+	Sí, conector minijack	Sí, auriculares Hi-Res integrados	Sí, audio espacial
Micrófono integrado	Sí	Sí	Sí	Sí	-
Mandos para juegos	2 controladores (opcional)	Oculus Touch Xbox One	Mandos HTC Vive (incluidos) Mando SteamVR	Mandos HTC Vive Pro (no incluidos)	2 mandos, Xbox One o teclado y ratón
Sensores	2 cámaras RGB, láser, 87 sensores en los mandos para registrar posición, movimiento, colocación de la mano y presión.	5 sensores	Acelerómetro, giróscopo, doble sistema de posición láser (36 sensores gafas, 24 sensores cada mando), cámara frontal	SteamVR Tracking, G-sensor, giróscopo, proximidad, IPD sensor	2 cámaras de seguimiento de movimiento de dentro hacia afuera, Sensor de proximidad, Giroscopio, Acelerómetro Magnetómetro
Conexiones	USB 3.0, DisplayPort	Displayport de 5 metros, conector de jack 3.5mm y USB 3.0	HDMI, USB 2.0, USB 3.0	USB-C 3.0, DP 1.2, Bluetooth	Conector de vídeo y audio, USB 3.0, jack 3,5 mm, Bluetooth 4.0
Requisitos mínimos	Dual Core con Hyper-Threading Gráfica NVIDIA 970, AMD RX480 8 GB RAM Salida de Vídeo de DisplayPort USB: 3.0+ Windows 10, SteamOS, Linux	NVIDIA GTX 970 / AMD 290 Intel i5-4590 o superior 8GB RAM Salida de vídeo HDMI 1.3 2 x puertos USB 3.0 Windows 7 SP1 o posterior	NVIDIA GTX 1050 Ti/AMD Radeon RX 470, NVIDIA GTX 960/AMD Radeon R9 290 Intel i3-6100/AMD Ryzen 3 1200, FX4350 8GB de RAM DisplayPort 1.2	Intel Core i5-4590 o AMD FX 8350 4GB RAM NVIDIA GeForce GTX 970 o AMD Radeon R9 290 DisplayPort 1.2 USB 3.0 Windows 7 o posterior	Core i5 de doble núcleo, gráfica Intel 620, 8 GB de RAM y un conector HDMI 1.4.
Precio (\$)	1282,97	533,88	759,80	1045,17	236,62

Actualmente, el mercado de la tecnología ofrece una amplia variedad de dispositivos de realidad virtual. Sin embargo, no todos tienen las mismas características o utilidad, es decir, existen grandes diferencias en funcionalidad, portabilidad y precio. Por ello, se ha visto que, para funciones de formación industrial, los equipos más utilizados son HTC VIVE y Oculus Rift.

HTC Vive permite que los usuarios tengan una experiencia totalmente inmersiva con reconocimiento de movimientos físicos, además permite que las manos del usuario sean parte del juego, viendo así sus acciones reflejadas en tiempo real. También tiene controles hápticos que mejoran la experiencia del usuario, proporcionando información sobre la posición y el giro dentro de los entornos programados.

Por otro lado, Oculus Rift presenta una arquitectura similar al conjunto HTC VIVE. Sin embargo, su precisión de movimiento es menor, ya que tiene un seguimiento de campo máximo de 1,5 a 3,3 m. Las estaciones de seguimiento de Oculus Rift solo pueden percibir lo que el usuario está haciendo desde un ángulo frontal, por lo que la precisión en la detección de movimiento es menos precisa [38].

Con base en la información expuesta, a continuación, se presenta una matriz de selección determinada por una escala aritmética sencilla: 1=bajo, 2=medio, 3=alto. Aquí, se puede apreciar que, el dispositivo que permitirá llevar a cabo un sistema RV totalmente inmersivo, con la retroalimentación adecuada y con desenvolvimiento eficiente, es el dispositivo HTC Vive. Ver tabla 3.

Tabla 3.

Matriz de selección de dispositivos RV.

Nota: Comparación entre HTC VIVE y Oculus Rift S.

Criterio	Dispositivos	
	HTC Vive	Oculus Rift S
Facilidad de uso	3	2
Inmersión	3	3
Costo	2	3
Disponibilidad	3	1
Usabilidad de mandos	3	2
TOTAL	14	11

3.2.2. Motores gráficos para realidad virtual

La realidad virtual encuentra su espacio en la prueba de nuevas configuraciones de la cadena de producción, acortando y acelerando la puesta en marcha de nuevas líneas de montaje e incluso fábricas enteras, trabajando directamente en su modelo virtual. De esta forma, se asegura el correcto funcionamiento de todos los sistemas de producción antes de la puesta en marcha, evitando así retrasos en la producción, errores de planificación y la programación ineficiente de los sistemas automatizados [38].

El rápido crecimiento vendrá debido a las innovaciones de los gigantes tecnológicos líderes, con avances y mejoras en los motores gráficos empleados. Debido a esto, es necesario escoger el software adecuado para el desarrollo del sistema RV propuesto. Ver tabla 4 [39].

Tabla 4.
Motores gráficos RV.

Nota: Se han tomado en cuenta los 3 motores gráficos más accesibles [39].

	Unity 3D	Unreal	Godot
Precio (suscripción)	115\$/mes	5% de ingresos a partir de los 3000\$.	Gratuito
Documentación	Desglose de interfaz, manual de usuario, ejemplos y características en línea. Estructuración sencilla.	Desglose de interfaz, manual de usuario, ejemplos y características en línea. Estructuración compleja.	Desglose de interfaz, manual de usuario, ejemplos y características en línea. Se encuentra también, parte dedicada al desarrollo del motor. Estructuración sencilla.
Plataformas soportadas	Más de 25	18	6
Lenguaje de programación	C#, JS	C++, Blueprints	Visual Scripting, C#, C++
Curva de aprendizaje	Baja-media	Alta	Baja-media
Recursos adicionales	Asset Store	Marketplace	-

Unity 3D, al igual en Unreal, son los softwares más utilizados para desarrollar aplicaciones RV industriales, motores gráficos que, junto con HMD's, proporcionan un

entorno de programación intuitivo y amigable, además de permitir un alto grado de inmersión para sus usuarios. Con base en la información expuesta, a continuación, se presenta una matriz de selección determinada por una escala aritmética sencilla: 1= no factible, 2= parcialmente factible, 3= factible. Aquí, se puede apreciar que, el motor gráfico que permitirá llevar a cabo un sistema RV totalmente inmersivo, con la retroalimentación adecuada y con desenvolvimiento eficiente, es Unity 3D. Ver tabla 5.

Tabla 5.

Matriz de selección de software RV.

Nota: Comparación entre Unity 3D y Unreal.

Criterio	Dispositivos	
	Unity 3D	Unreal
Facilidad de uso gráfico	3	1
Inmersión	3	3
Costo	3	3
Disponibilidad	3	3
Curva de aprendizaje	3	1
Facilidad de programación	3	1
Apoyo de comunidad RV	3	2
TOTAL	21	14

3.2.3. Software de diseño y animación

Con la finalidad de llevar a cabo un sistema RV eficiente, es necesario desarrollar o diseñar los elementos necesarios para que los entornos sean una fiel copia de la realidad. Debido a esto, se puede encontrar varios programas aptos para dicha función, así como con extensiones compatibles con Unity 3D. En la tabla 6, se muestra la descripción de los softwares que más se adaptan a las necesidades del presente proyecto [40].

Tabla 6.

Software de diseño y animación usado en RV.

Nota: Se han tomado en cuenta los 3 software de diseño más accesibles [40].

	Maya	Max	Blender
Descripción	Maya es un software de AutoDesk, diseñado principalmente para animación y texturizado.	Max es un software de AutoDesk diseñado principalmente para modelado, diseños de arquitectura, ingeniería y construcción.	Es un software diseñado por Blender Foundation, principalmente para animación y efectos visuales.
Compatibilidad	Es compatible tanto con Windows como con Mac.	Es compatible tanto con Windows como con Mac.	Es compatible con diferentes plataformas como Windows, Linux, Mac, etc.
Interfaz	La interfaz es complicada, es posible que necesite una guía experimentada para manejar sin problemas el vasto campo de herramientas disponibles.	En comparación con Maya, la interfaz de Max es relativamente fácil. Si sabes cómo actuar con Maya, manejar a Max no será tan difícil.	Blender también, como Maya, es un poco complicado de aprender. Tiene su propia forma de funcionamiento y es necesario conocer esas formas exactas para obtener el resultado deseado.
Experiencia de usuario	Difícil de aprender, pero una vez que conoces a Maya dentro y fuera, no hay nada mejor para el modelado y la animación 3D.	Aprender a Max no es tan difícil porque, a diferencia de Maya, comienza a mostrar resultados automatizados después de unos pocos pasos.	Los diseñadores que no se sienten muy cómodos y no tienen mucha experiencia trabajando con Maya probablemente optarían por Blender.

Tabla 6. Continuación.

	Maya	Max	Blender
Características	Tiene más funciones de animación y texturizado 3D.	Tiene más funciones de modelado, adecuadas para diseños arquitectónicos 3D, modelos, modelos de ingeniería, etc.	Blender tiene más funciones de animación y efectos visuales, principalmente para los sectores de películas y entretenimiento.
Disponibilidad	Maya es un software con licencia.	Max también es un software con licencia.	Blender está disponible de forma gratuita.
Uso	Los grandes estudios de producción de prefieren mayoritariamente Maya.	Max es sobre todo útil para el desarrollo de juegos y diseños de arquitectura.	Principalmente apto para pequeñas empresas emergentes, en animación 3D y efectos visuales.

Con base en la información expuesta, a continuación, se presenta una matriz de selección determinada por una escala aritmética sencilla: 1= no factible, 2= parcialmente factible, 3= factible. Aquí, se puede apreciar que, el software de diseño que permitirá llevar a cabo la creación de los elementos HART para un sistema RV totalmente inmersivo, con la retroalimentación adecuada y con desenvolvimiento eficiente, es Blender. Ver tabla 7.

Tabla 7.

Matriz de selección de software de diseño y animación.

Nota: Comparación entre Maya, Max y Blender.

Criterio	Software		
	Maya	Max	Blender
Facilidad de uso.	1	1	2
Costo	1	1	3
Curva de aprendizaje	1	2	3
Apoyo de comunidad	2	2	3
Características para diseñar elementos HART	2	2	3
TOTAL	7	8	14

3.3. Tipo de investigación

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó una investigación experimental con enfoque cualitativo-cuantitativo. Se seleccionó la parte experimental debido a que, se cuenta con diferentes variables manipulables dentro de la aplicación de realidad virtual. A través del desarrollo de entornos, interactividad, idioma, nivel de inmersión, claridad de instrucciones, usabilidad, nivel de experticia, entre otros, se pudo apreciar el cambio de tiempos de entrenamiento con respecto a un entrenamiento convencional.

Por otra parte, para el enfoque mixto, se detalla a continuación cada una de los segmentos de la investigación en las que se aplicó, ya sea un análisis cualitativo o cuantitativo: i) Capítulo I, se empleó un enfoque cuantitativo debido a que el problema identificado, es específico, se centra las deficiencias del entrenamiento en la industria del gas y petróleo, ii) Capítulo II, la revisión de literatura fue centrada y concisa con un análisis de más de 20 artículos académicos, justificando de esta manera la necesidad del estudio. Esto demuestra el uso de un enfoque cuantitativo. iii) Población y muestra, se realizó un muestreo por conveniencia, haciendo uso de un enfoque cualitativo. Aquí se pudo haber empleado un enfoque cuantitativo, sin embargo, debido a la crisis sanitaria que el país y el mundo se encuentra viviendo actualmente, se imposibilitó el uso de técnicas concretas-numéricas para obtener el grupo de control y experimental. iv) Procesamiento de la información, se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo. El uso de varias herramientas estadísticas permitió el correcto análisis, y comparación de tiempos de entrenamiento. Finalmente, v) reporte de resultados, aquí se determinó que tipo de entrenamiento es mejor, el convencional o el desarrollado a través de la realidad virtual. Es un resultado objetivo sin tendencias y nada flexible, por lo que se hace uso de un enfoque cuantitativo.

3.4. Prueba de Hipótesis

3.4.1. Variable independiente

Comisionamiento industrial a través de realidad virtual.

3.4.2. Variables dependientes

Optimización de tiempos de entrenamiento.

Mejor entendimiento de procedimientos.

3.4.3. Alcance

La presente investigación tiene un alcance correlacional. Esto se debe a que se está asociando el uso de herramientas digitales con el tiempo que un operario se demora en capacitarse y con su entendimiento de instrucciones. Es decir, al desarrollar una aplicación de realidad virtual enfocada al entrenamiento (diseños 3D, entornos, interactividad, idioma, nivel de inmersión, claridad de instrucciones, usabilidad, nivel de experticia etc.), se puede realizar dos comparaciones, i) el tiempo que se demora una persona en aprender a utilizar instrumentos HART con tecnologías inmersivas vs el tiempo necesario para capacitarse con metodologías convencionales, y ii) el conocimiento adquirido con entrenamiento tradicional vs las habilidades o destrezas alcanzadas con entrenamiento 4.0.

3.4.4. Hipótesis de investigación

H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de calificaciones del grupo entrenado con metodologías convencionales y la media de calificaciones del grupo capacitado con realidad virtual.

3.4.5. Hipótesis nulas

H₀: No Existe una diferencia significativa entre la media de calificaciones del grupo entrenado con metodologías convencionales y la media de calificaciones del grupo capacitado con realidad virtual.

3.5. Población o muestra

3.5.1. Población

De acuerdo al propósito de esta investigación, la población se ha enfocado en estudiantes de último nivel (noveno semestre), egresados y recién graduados con conocimientos básico de electrónica y automatización de varias universidades de la ciudad de Ambato.

3.5.2. Muestra

En el contexto de la crisis sanitaria que está viviendo el país; y como ya se mencionó en puntos anteriores, se ha realizado un muestreo por conveniencia.

40 alumnos aceptaron de manera voluntaria la invitación a participar en el estudio y se los dividió en dos grupos de 20 estudiantes cada uno, estableciendo de esta forma un grupo de control y un grupo experimental ($n_c=20$, $n_e=20$). Por otra parte, se puede observar que la muestra seleccionada coincide con varios artículos científicos publicados referentes a esta temática [41]–[43].

3.6. Recolección de información

3.6.1. Encuesta

Hace referencia a una técnica de investigación aplicada al grupo muestral previamente calculado o seleccionado. Se emplean procedimientos jerarquizados y estandarizados con el fin de obtener resultados cuantitativos de características objetivas y subjetivas de la población. A través de la encuesta, se puede llegar a conclusiones significativas dentro del problema de estudio, interactuando de manera mínima con los sujetos de estudio para que no exista sesgo en los resultados [44].

Para la presente investigación, ha sido necesario llevar a cabo esta técnica ya que, como se explicará en el punto 3.8, es necesario evaluar la aceptación del sistema de realidad virtual desarrollado. Esto se lo aplicará mediante un cuestionario de 10 preguntas.

3.6.2. Prueba

De vital importancia porque permite recoger información de las destrezas cognitivas adquiridas por el grupo muestral. Esta técnica será aplicada tanto al grupo experimental como al grupo de control.

El instrumento a utilizarse será una prueba objetiva igual para ambos grupos, con la finalidad de comparar el conocimiento adquirido en cada caso. Se ha optado por este instrumento, debido a que los usuarios no necesitan construir o redactar la respuesta, sino leer la pregunta, identificar la respuesta y simplemente seleccionarla. Su ventaja radica en el hecho de eliminar la subjetividad y variabilidad mediante el establecimiento de criterios precisos e invariables.

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico

Con la finalidad de procesar los resultados y analizarlos de forma correcta, se empleará el software IBM SPSS. A continuación, se muestra las herramientas estadísticas que serán necesarias para llevar a cabo esta investigación.

3.7.1. Tau-b de Kendall

Es una prueba de hipótesis de relación. Se la conoce como una medida de dependencia no paramétrica que reconoce las concordancias y discordancias entre dos variables ordinales, es decir, se asigna una clasificación a las observaciones de cada variable y se analiza su nivel de dependencia. A diferencia de otras pruebas de correlación, no es necesario que las variables cumplan con el criterio de normalidad.

Se la utiliza mediante tablas cuadradas (mismo número de filas y columnas), posee dos niveles de correlación: ii) Correlación positiva, ambas variables van el mismo sentido, y; iii) Correlación negativa, una variable aumenta y la otra disminuye. El rango que define a esta prueba de hipótesis se la muestra en la Fig. 4. Esta herramienta se la empleará para analizar la correlación existente entre los factores que componen el método de experiencia de usuario a emplearse [45].

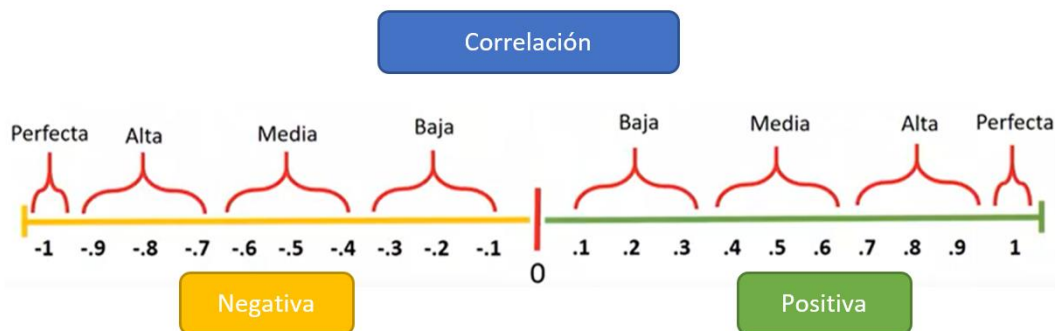


Fig. 4. Nivel de correlación Tau-b de Kendall.

3.7.2. T-Student

Esta prueba se empleará para comprobar la hipótesis H_2 . Es una prueba estadística que se fundamenta en dos principios, la distribución de normalidad y la independencia de muestras. En principio, esta muestra se basó en comparar dos muestras de tamaño menor o igual a 30. T-student de común uso, pero poderosa aplicación, permite comparar dos variables, aun cuando una de ellas no cumpla el criterio de normalidad. Los pasos a seguir, se detallan a continuación [46].

- Probar que las muestras tienen una distribución normal.
- Obtener el tamaño de muestras.
- Calcular las medias de cada muestra.
- Obtener las varianzas de cada muestra.
- Probar que las varianzas sean homogéneas.
- En caso de homogeneidad, se debe establecer la diferencia entre las medias y calcular la varianza común de ambas muestras.
- En caso de realizar un cálculo manual, se aplica la fórmula de esta prueba; caso contrario, se utiliza cualquier paquete estadístico digital para automatizar su cálculo.

- Se interpretan los resultados.

3.7.3. Media aritmética

Se basa en el resultado que se genera al realizar una división con la sumatoria de cantidades específicas para el dígito que las represente en su totalidad. A través de esta herramienta simple estadística, se compararán los tiempos de entrenamiento del método convencional y del método RV.

3.7.4. Desviación estándar

Es una medida de dispersión que indica que tan lejanos o dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras más grande sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. Su representación es diferente cuando se habla de población y muestra, σ (*sigma*) se usa para la primera, mientras que para la segunda se utiliza *s*.

Generalmente, se establece que en el intervalo comprendido entre la media aritmética menos una desviación estándar y la media aritmética más una desviación estándar se encuentran agrupados el 68% central de los datos. Por otra parte, en el intervalo comprendido entre la media menos 1.96 y más 1.96 se encuentran agrupados el 95% central de los datos [47]. Esta medida será empleada, conjuntamente con la media aritmética para interpretar los resultados provenientes de los tiempos de entrenamiento.

3.7.5. Alfa de Cronbach

Este coeficiente, cuyo uso se enfoca en la medición de fiabilidad de la consistencia interna de una escala, fue empleado por primera vez en 1951 por Lee J Cronbach. Sirve para evaluar la correlación entre los ítems de un instrumento, es decir, es el promedio de las correlaciones de dichos ítems. Es una de las herramientas estadísticas más famosas para validación, generalmente, de encuestas. Esto se debe a la practicidad de su uso, ya que se la debe administrar una sola vez.

El valor mínimo para el Alfa de Cronbach es 0.70, ya que por debajo de este umbral se entiende que la consistencia interna del instrumento que se está midiendo es deficiente. Por otra parte, el valor máximo esperado en este coeficiente corresponde a 0.90. Se podría pensar que valores superiores a 0.90 o muy cercanos a 1 corresponden a una correlación de ítems eficiente y extremadamente buena, sin embargo, si se supera el límite máximo antes mencionado, se interpreta que existe redundancia y duplicación. Debido a esto, es recomendable aceptar instrumentos con coeficientes entre 0.80 y 0.90 [48].

3.8. Variables respuesta o resultados alcanzados

3.8.1. Caso de estudio

En el cambiante y frenético mundo industrial en el que vivimos, la adquisición de habilidades, permite que los trabajadores se adapten de manera rápida a las exigencias de su puesto de trabajo. Existen varios estudios econométricos que indican que el entrenamiento o capacitación tiene un efecto positivo en la productividad de las empresas, de hecho, se ha demostrado que las compañías que capacitan son un 30% más productivas que las que no lo hacen [49].

La realidad virtual ha dejado de ser un proyecto de futuro para convertirse en una realidad a la que estamos intentando adaptarnos. La mayoría de las principales industrias del mundo han comenzado a competir en este ámbito, con una clara inclinación a acostumbrarse plenamente a la cuarta revolución industrial.

Desde mejorar el servicio al cliente o la seguridad en el lugar de trabajo hasta acelerar el desarrollo de productos, existe una multitud de aplicaciones eficientes. Habrá una mayor asignación de fondos a este sector con el fin de desarrollar e implementar soluciones de hardware, es decir, adaptar equipos e infraestructuras para realizar procesos más eficientes.

El proceso de transformación digital es crucial en la industria, ya que tendrá que adaptarse a las demandas de los consumidores que necesitarán productos de calidad, fabricados de manera responsable, personalizados e integrados en un todo digital. Además, todo ello se entregará de forma más cómoda y en menos tiempo. Toda la cadena de producción se verá afectada por esta herramienta en la próxima década.

El objetivo de este estudio de caso es, comparar dos formas de capacitación o entrenamiento en la instrumentación de transmisores HART de presión y temperatura. i) Metodología 1, se basa en la enseñanza adoptada como convencional en esta “nueva normalidad” (ocasionada por el COVID-19), es decir, el uso de software de videollamadas y reuniones virtuales como Zoom, Skype o Microsoft Teams, para que, conjuntamente con aulas virtuales como Moodle o Google Classroom, el capacitador pueda impartir su conocimiento y evaluar al estudiante. Ver Fig. 5. ii) Metodología 2, aquí, se hace uso de una aplicación de RV inmersiva, con precisión y estabilidad, para que el usuario pueda adquirir eficientemente los conocimientos propuestos. Ver Fig. 6.

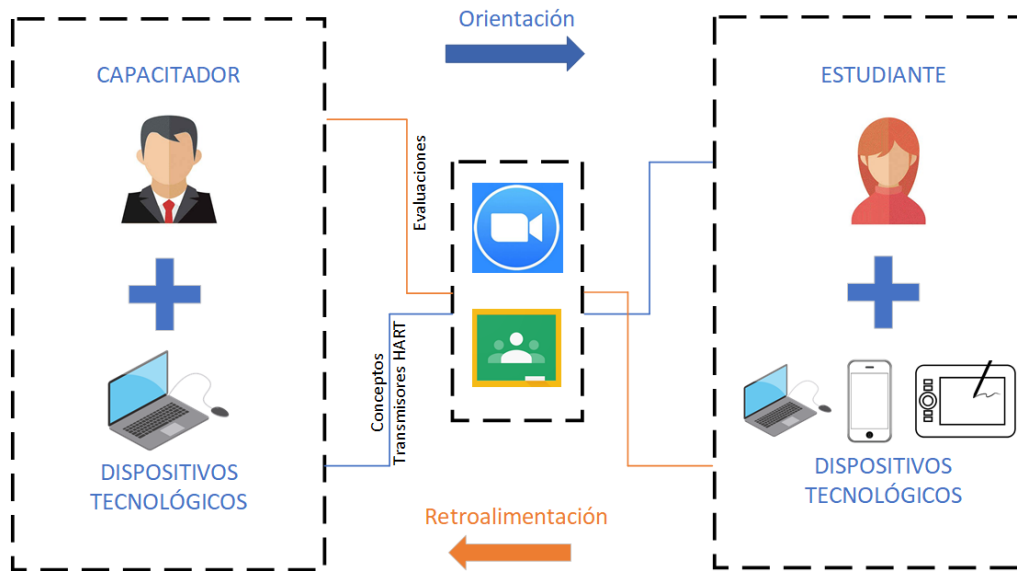


Fig. 5. Metodología 1: convencional.

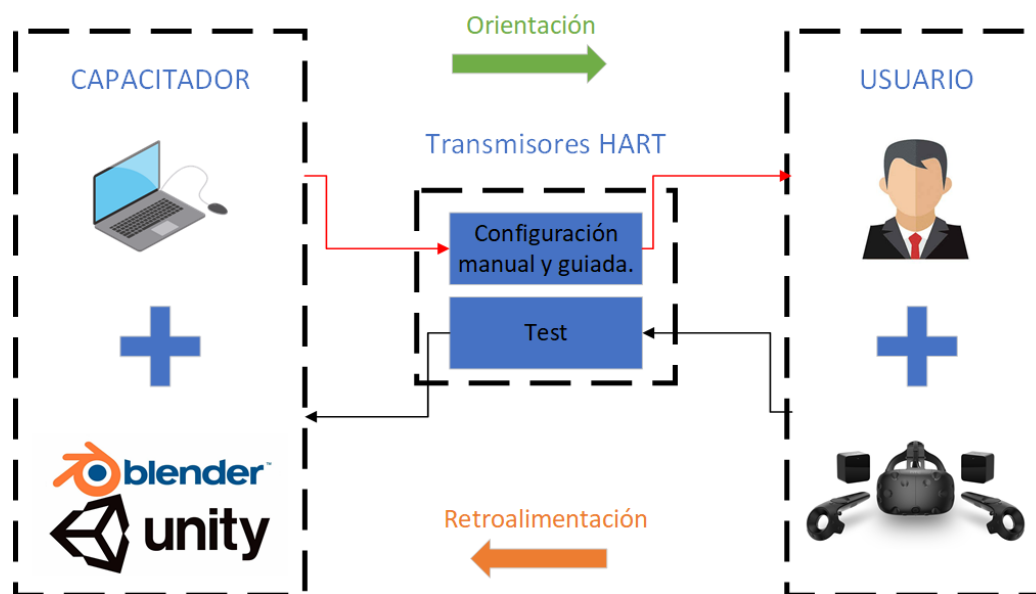


Fig. 6. Metodología 2: Sistema RV.

3.8.2. Arquitectura software

La arquitectura de software proporciona un marco de referencia general necesario para guiar la construcción del sistema de entrenamiento, permitiendo cubrir todos los objetivos y restricciones de la aplicación. De esta manera, es necesario enfocar la creación del sistema hacia los usuarios, los cuales, mediante descripciones cortas y simples, desde una perspectiva industrial y técnica, han definido las actividades necesarias para lograr tener una competencia eficiente dentro del comisionamiento HART.

Los módulos definidos fueron los siguientes: i) Módulo de reconocimiento, ii) Módulo de entrenamiento, que se divide en entrenamiento de conexión y entrenamiento de configuración; y, iii) Módulo de evaluación. Estos casos de uso, se las puede observar desde la tabla 8 a la tabla 11.

Tabla 8.

Caso de uso-Inicio de la aplicación.

Nota: Se muestra la descripción, flujo básico y precondiciones del inicio de la aplicación.

Caso de Uso: Inicio de la aplicación	
Actor	Usuario
Descripción	Caso de uso para iniciar la aplicación de realidad virtual.
Flujo básico	1) El usuario presiona el icono de inicio de la aplicación. 2) El sistema muestra la pantalla inicial de la aplicación.
Precondiciones	El HMD, el control HTC VIVE y los sensores deben estar conectados a la computadora.

Tabla 9.

Caso de uso-Familiarización.

Nota: Se muestra la descripción, flujo básico y precondiciones de la familiarización con los dispositivos.

Caso de Uso: Familiarización con los dispositivos HART	
Actor	Usuario
Descripción	Caso de uso para la familiarización con el transmisor de temperatura Rosemount 648 y el transmisor de presión Rosemount 2088 a fin de que puedan reconocer los detalles de los instrumentos.
Flujo básico	1) El estudiante a través de los controles HTC podrá escoger el elemento con el que desea familiarizarse. 2) El estudiante podrá observar al dispositivo seleccionado rotando para identificar todos sus detalles. 3) El estudiante podrá observar detalladamente las características físicas del dispositivo TREX. 4) El estudiante podrá visualizar los dos extremos de conexión del Cable.
Precondiciones	El usuario debe haber iniciado la aplicación.

Tabla 10.

Caso de uso-Entrenamiento

Nota: Se muestra la descripción, flujo básico y precondiciones del entrenamiento en conexión y configuración.

Caso de Uso: Entrenamiento en conexión y configuración de dispositivos HART	
Actor	Usuario
Descripción	Caso de uso para que el usuario adquiriera las habilidades en conexión y configuración de los transmisores.
Flujo básico	<ol style="list-style-type: none">1) El estudiante observará cómo se acomodan los elementos de energización de cada transmisor.2) En el transmisor de temperatura se conectará la batería en la parte trasera, y se mostrará la conexión de los cables.3) En el transmisor de presión se conectarán los cables en la parte posterior.4) Para ambos dispositivos, se indicará la forma de conexión del comunicador.5) El usuario tendrá que escoger la opción “comunicador de campo”. <ol style="list-style-type: none">2) El usuario debe visualizar la autodetección del comunicador de campo.3) Se podrá apreciar que el dispositivo ha sido conectado correctamente.
Precondiciones	El estudiante debe haber completado el reconocimiento de los dispositivos HART previamente.

Tabla 11.

Caso de uso-Evaluación.

Nota: Se muestra la descripción, flujo básico y precondiciones de la evaluación de conocimientos.

Caso de Uso: Evaluación del conocimiento adquirido por los usuarios.	
Actor	Usuario
Descripción	Caso de uso para determinar si el conocimiento adquirido durante el entrenamiento quedó cimentado en los usuarios.
Flujo básico	<ol style="list-style-type: none">1) El usuario podrá encontrar diez preguntas, cinco destinadas al transmisor de temperatura y cinco enfocadas en el transmisor de presión.2) Dos preguntas serán sobre la conexión y tres preguntas de la configuración del dispositivo.3) Cada pregunta constará de tres opciones, siendo solo una la correcta.4) Las respuestas serán almacenadas.5) Cuando se haya culminado la evaluación, el usuario podrá observar su puntaje.

Tabla 11. Continuación.

Precondiciones	El estudiante debe haber completado el entrenamiento de los dispositivos HART previamente.
-----------------------	--

Debido a que, representar las relaciones, procesos y objetos en un solo diagrama, resulta complicado, en la Fig. 7, se puede apreciar el diagrama de casos de uso del usuario. Aquí, se muestra, de manera general, el flujo del proceso real que tiene lugar al momento que se da la interacción con el usuario. Es decir, se presenta las acciones que lleva a cabo el sistema desde el punto de vista de la persona que lo utiliza.

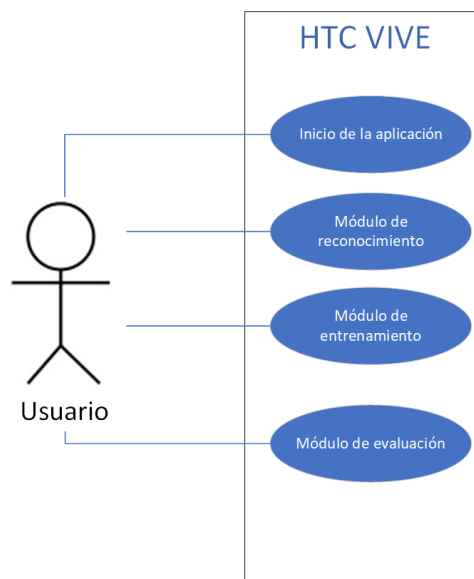


Fig. 7. Diagrama de casos de uso del usuario.

Diagrama de componentes

La aplicación de realidad virtual está formada por varios componentes que corresponden a los módulos que permiten el cumplimiento de las actividades. Los componentes se encuentran enlazados mediante relaciones de dependencia. En la Fig. 8, se observa que ambos transmisores, presentan los módulos de: i) Reconocimiento, en donde el usuario será capaz de identificar los elementos industriales con los que va a interactuar, ii) Entrenamiento, en donde se podrá guiar al usuario a través de las conexiones físicas necesarias, así como de la configuración de cada transmisor; y, iii) Evaluación o test, cuya finalidad es corroborar los conocimientos adquiridos por el usuario.

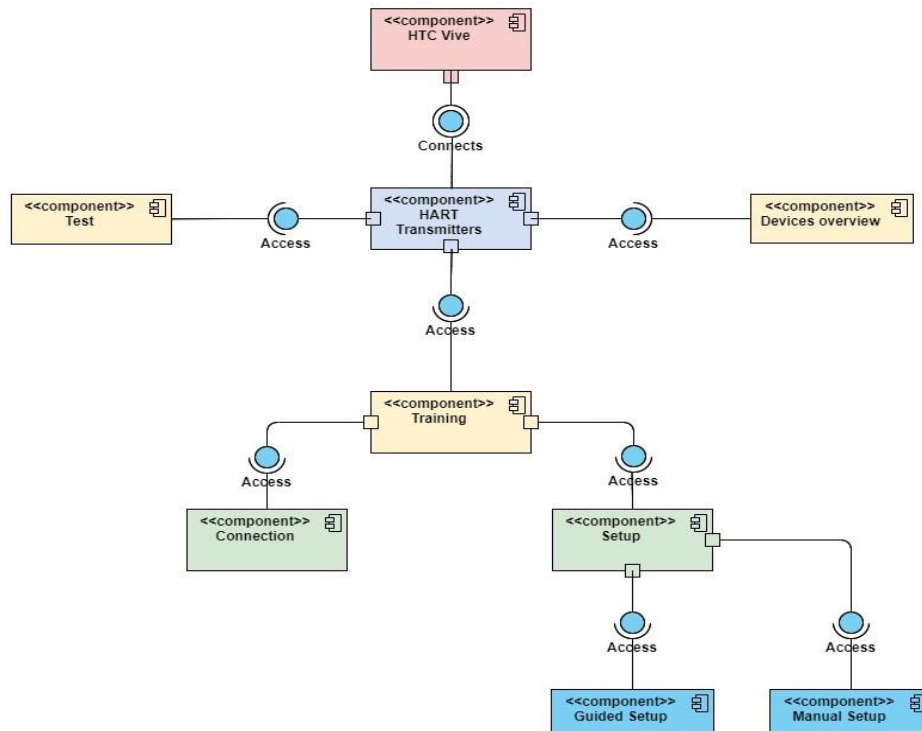


Fig. 8. Diagrama de componentes.

Diagramas de clase

Para la construcción de los diagramas de clase, es importante tener en cuenta las características del motor gráfico, que en este caso es Unity 3D. Esta herramienta se basa en la construcción de escenas a las cuales se les asigna funcionalidades mediante Scripts, que son clases programadas en lenguaje C#. Cada clase está formada por métodos y variables que se representan en los diagramas de clases como métodos y atributos correspondientemente. A continuación, se incluyen los diagramas de clases principales de la aplicación de realidad virtual.

En la Fig. 9, se presenta el diagrama de clases del módulo de reconocimiento, en él se pueden observar las clases que lo componen así mismo como los métodos, los atributos y las relaciones entre ellas. En este conjunto de clases existen únicamente relaciones de composición. Por otra parte, en la tabla 12 se puede observar la descripción de las clases que componen el módulo de reconocimiento.

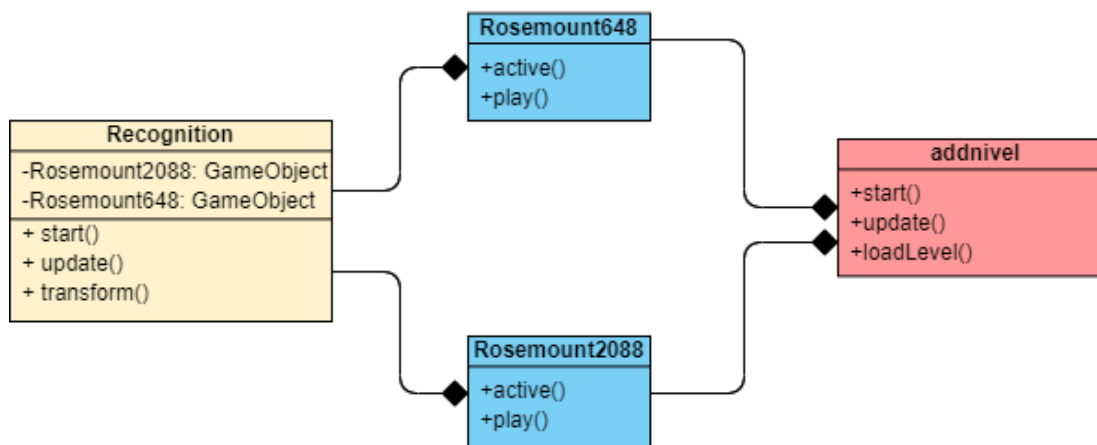


Fig. 9. Diagrama de clases-módulo de reconocimiento.

Tabla 12.

Descripción módulo de reconocimiento.

Nota: Se muestran las clases inherentes al módulo de reconocimiento.

Clase	Descripción
Recognition	Clase correspondiente a la escena donde se puede seleccionar uno de los dos dispositivos HART.
Rosemount648	Clase correspondiente a la escena creada para el dispositivo transmisor de temperatura Rosemount 648.
Rosemount2088	Clase correspondiente a la escena creada para el dispositivo transmisor de presión Rosemount 2088.
addnivel	Clase que contiene la funcionalidad para la navegación entre interfaces.

En la Fig. 10, se presenta el diagrama de clase del módulo de entrenamiento en su fase de conexión, en ellos se pueden observar las clases que lo componen así mismo como los métodos, los atributos y las relaciones entre ellas. En este conjunto de clases existen tanto relaciones de dependencia como de asociaciones. En la tabla 13, se puede observar una tabla descriptiva de las clases que componen el módulo de entrenamiento-conexión.

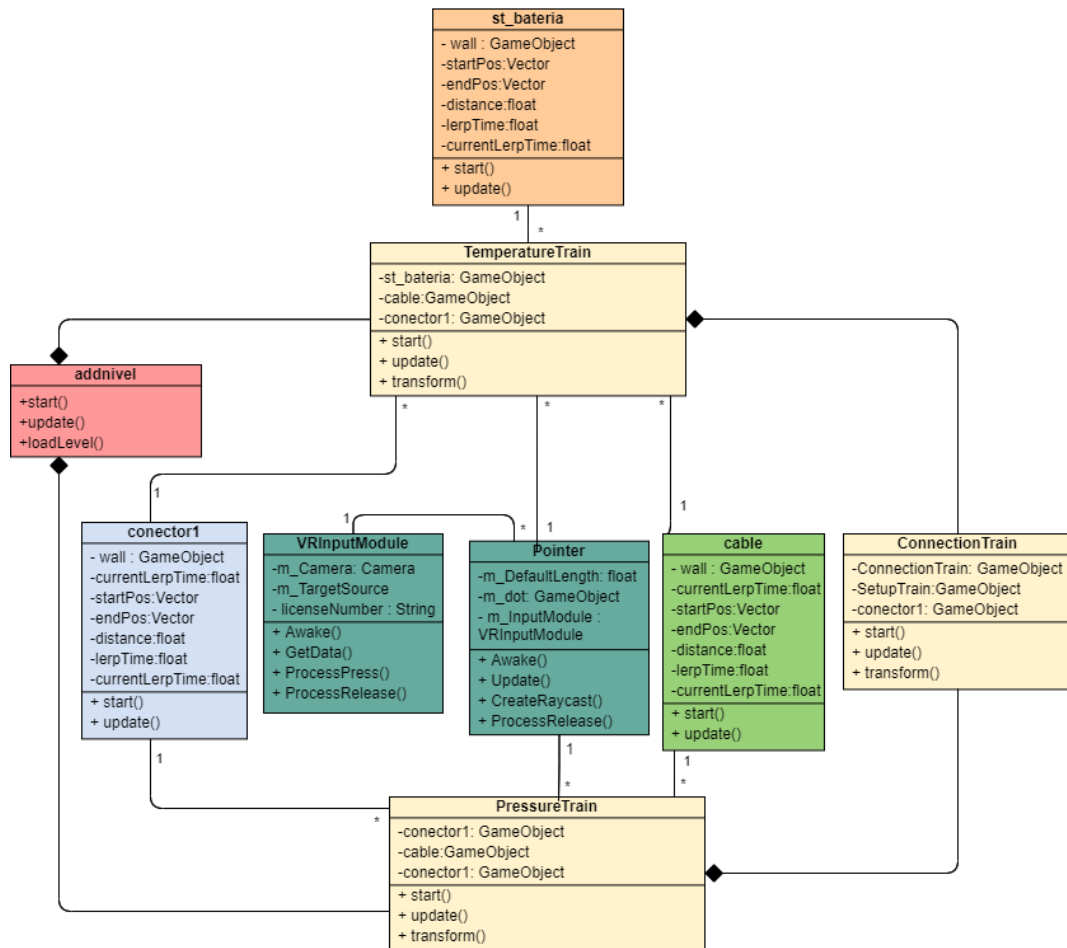


Fig. 10. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento conexión.

Tabla 13.

Descripción del módulo de entrenamiento-conexión.

Nota: Se muestran las clases inherentes al módulo de entrenamiento, fase de conexión.

Clase	Descripción
st_bateria	Clase que permite que la batería se conecte con el transmisor para el entrenamiento de conexión.
TemperatureTrain	Clase correspondiente a la escena creada para el transmisor de temperatura Rosemount 648.
conector1	Clase correspondiente a la escena creada para el transmisor de presión Rosemount 2088 Dirigido hacia el Trex.
Pointer	Clase que crea la parte grafica del control HTC para la interacción con las escenas.
VRInputModule	Clase que permite la interacción entre los controles del HTC con las escenas.

Tabla 13. Continuación.

cable	Clase que permite mover las conexiones hacia el transmisor para visualizar las conexiones guiadas.
ConnectionTrain	Clase correspondiente a la escena creada para entrenamiento de la conexión de dispositivos.
PressureTrain	Clase correspondiente a la escena creada para el transmisor de presión Rosemount 2088.

En la Fig. 11 y Fig. 12, se presentan los diagramas de clase del módulo de entrenamiento del transmisor de temperatura en su fase de configuración manual y guiada, en él se pueden observar las clases que lo componen, así como sus métodos, los atributos y las relaciones entre ellas. En este conjunto de clases existen tanto las relaciones de composición y de asociación.

Al igual que en las descripciones anteriores, en la tabla 14 se explica las clases que componen al módulo de entrenamiento- configuración manual. Se ha omitido la explicación de la configuración guiada ya que es similar a la configuración manual, con la excepción de que en estas interfaces se presentan animaciones que encaminan al usuario para que aprenda a configurar el transmisor. Es necesario también mencionar que, el módulo de entrenamiento del transmisor de presión, funciona con clases similares a las ya expuestas, por lo que su diagrama de clase no se consideró pertinente incluirlo.

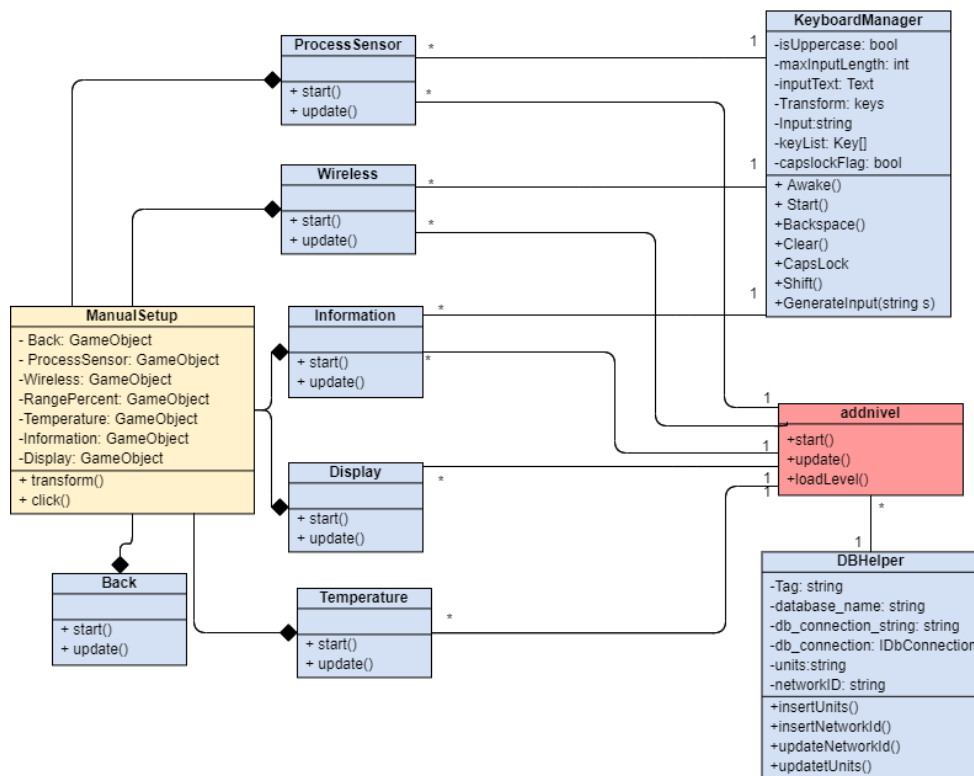


Fig. 11. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento manual.

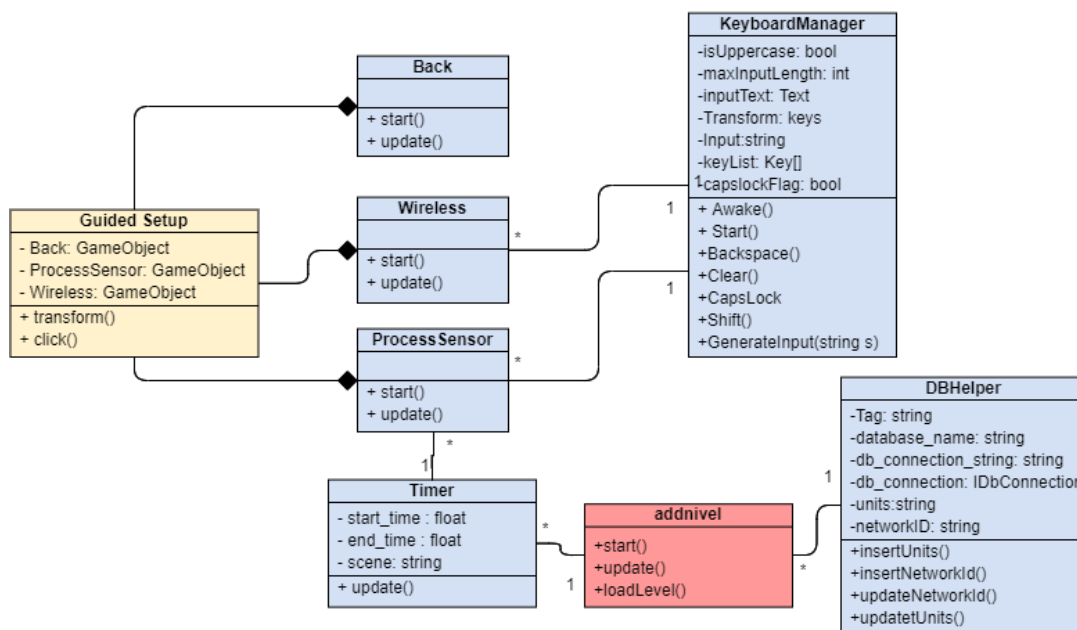


Fig. 12. Diagrama de clases-módulo de entrenamiento guiado.

Tabla 14.

Descripción del módulo de entrenamiento-manual.

Nota: Se muestran las clases inherentes al módulo de entrenamiento, configuración manual.

Clase	Descripción
ManualSetup	Clase correspondiente a la escena para la navegación entre las pantallas de configuración.
Back	Clase correspondiente al GameObject para regresar a la interfaz anterior.
ProcessSensor	Clase correspondiente a la escena que permite modificar y visualizar los parámetros del sensor.
Wireless	Clase correspondiente a la escena que permite modificar los parámetros necesarios para la configuración de la conexión inalámbrica.
Information	Clase correspondiente a la escena que despliega información general sobre el transmisor.
Display	Clase correspondiente a la escena que permite observar los datos en la pantalla del transmisor virtual.
Timer	Clase que permite controlar el temporizador dentro de la aplicación.
Temperature	Clase correspondiente a la escena que permite establecer las unidades y el punto máximo y mínimo de la variable temperatura.
KeyboardManager	Clase correspondiente a la escena que permite la interacción entre el control HTC y un teclado virtual para el ingreso de datos.
DBHelper	Clase que permite la conexión de la aplicación con la Base de datos en SQLite para almacenar los parámetros que el usuario modifica en la base de datos.
addnivel	Clase que contiene la funcionalidad para la navegación entre interfaces.

En la Fig. 13, se presenta el diagrama de clases del módulo de evaluación, en él se pueden observar las clases que lo componen así mismo como los métodos, los atributos y las relaciones entre ellas. En este conjunto de clases existen únicamente relaciones de composición. Finalmente, en la tabla 15 se puede observar la descripción de las clases que componen este módulo.

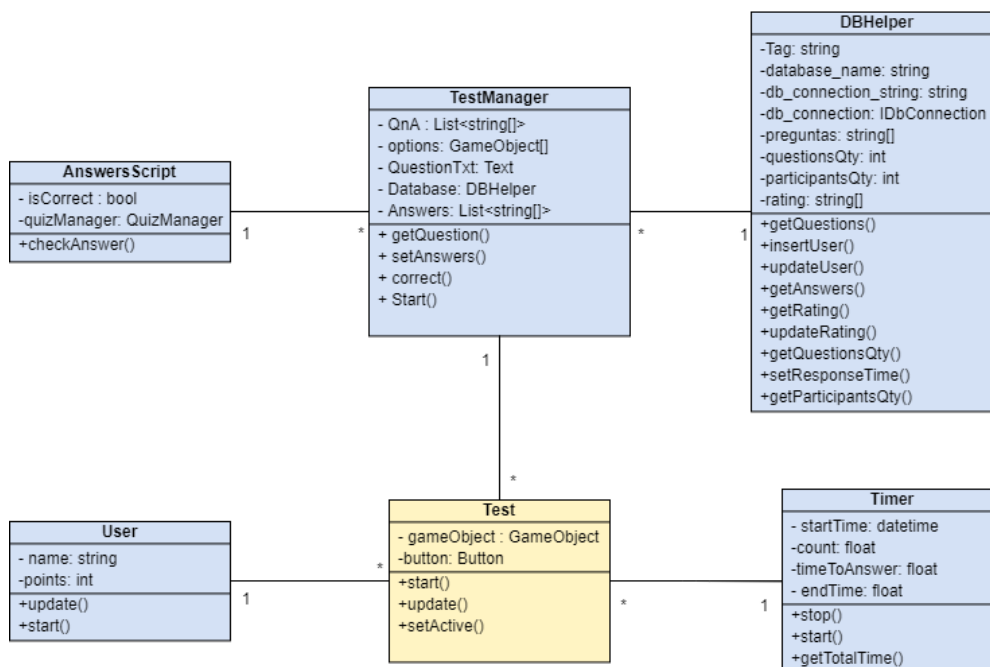


Fig. 13. Diagrama de clase-módulo de evaluación.

Tabla 15.

Descripción del módulo de evaluación.

Nota: Se muestran las clases inherentes al módulo de evaluación.

Clase	Descripción
TestManager	Clase que permite contiene la lógica para la consulta de preguntas de la base de datos.
Test	Clase correspondiente a la escena creada para la evaluación de los conocimientos adquiridos durante el entrenamiento.
AnswersScript	Clase que permite contiene la lógica la validación de respuestas.
Usser	Clase que mapea los atributos de un usuario para ser consumida en la escena Test y poder almacenar el usuario en la base de datos.
DBHelper	Clase que permite la conexión de la aplicación con la Base de datos en SQLite para almacenar los parámetros que el usuario modifica en la base de datos.

Diagrama de actividades

En la Fig. 14, se puede apreciar que este tipo de diagrama muestra la secuencia de las actividades que se deben llevar a cabo dentro de la aplicación de realidad virtual, de

manera que permite determinar el comportamiento del sistema. A continuación, se detalla la secuencia de actividades.

Tras el inicio de la aplicación el usuario puede elegir entre salir o seleccionar un dispositivo HART. Al elegir un dispositivo HART el usuario accede a la inspección del dispositivo Rosemount 648. Aquí va a tener la posibilidad de inspeccionar los elementos necesarios para su conexión, como por el ejemplo el comunicador de campo TREX, ver a detalle el transmisor de temperatura, entender la disposición del cable de conexión, así como aprender mediante un video las características y usos más sobresalientes de este transmisor.

Posterior a esto, se puede acceder a la opción de energizar el dispositivo e iniciar la conexión con el comunicador de campo TREX, para pasar a la configuración guiada. Una vez que el usuario haya entendido los pasos necesarios para configurar y manipular el transmisor, se le abre la opción de configuración manual, esta le permitirá explorar de manera libre cada una de los parámetros y características del transmisor. Cuando haya finalizado la inspección del transmisor 648 la aplicación le conduce al usuario a un flujo de actividades similar para el transmisor 2088, trasladándole finalmente a realizar la evaluación de conocimientos del sistema.

3.8.3. Diseño de interfaces

El entorno gráfico define el espacio virtual donde el usuario realizará el comisionamiento de los transmisores HART. El objetivo es lograr una interacción fluida e intuitiva con el sistema. Partiendo de relaciones visuales adecuadas, además de la funcionalidad y características de Unity 3D permitieron el desarrollo y programación de entornos inmersivos con un alto grado de detalle en sus elementos. Para lograr la interacción entre los dispositivos HTC y la interfaz gráfica, se ha usado los objetos: Pr_pointer y PR_VR_Inputmodule, cuya función es vincular estos elementos a través de al uso de la intersección rayo-superficie.

A continuación, se describe cada una de las interfaces desarrolladas:

Módulo de reconocimiento: menú de opciones

Una vez que el usuario inicia la aplicación, será dirigido a una pantalla principal, en donde podrá observar que se encuentra inmerso en una planta industrial de extracción de petróleo. En la parte frontal, encontrará un menú con dos opciones.

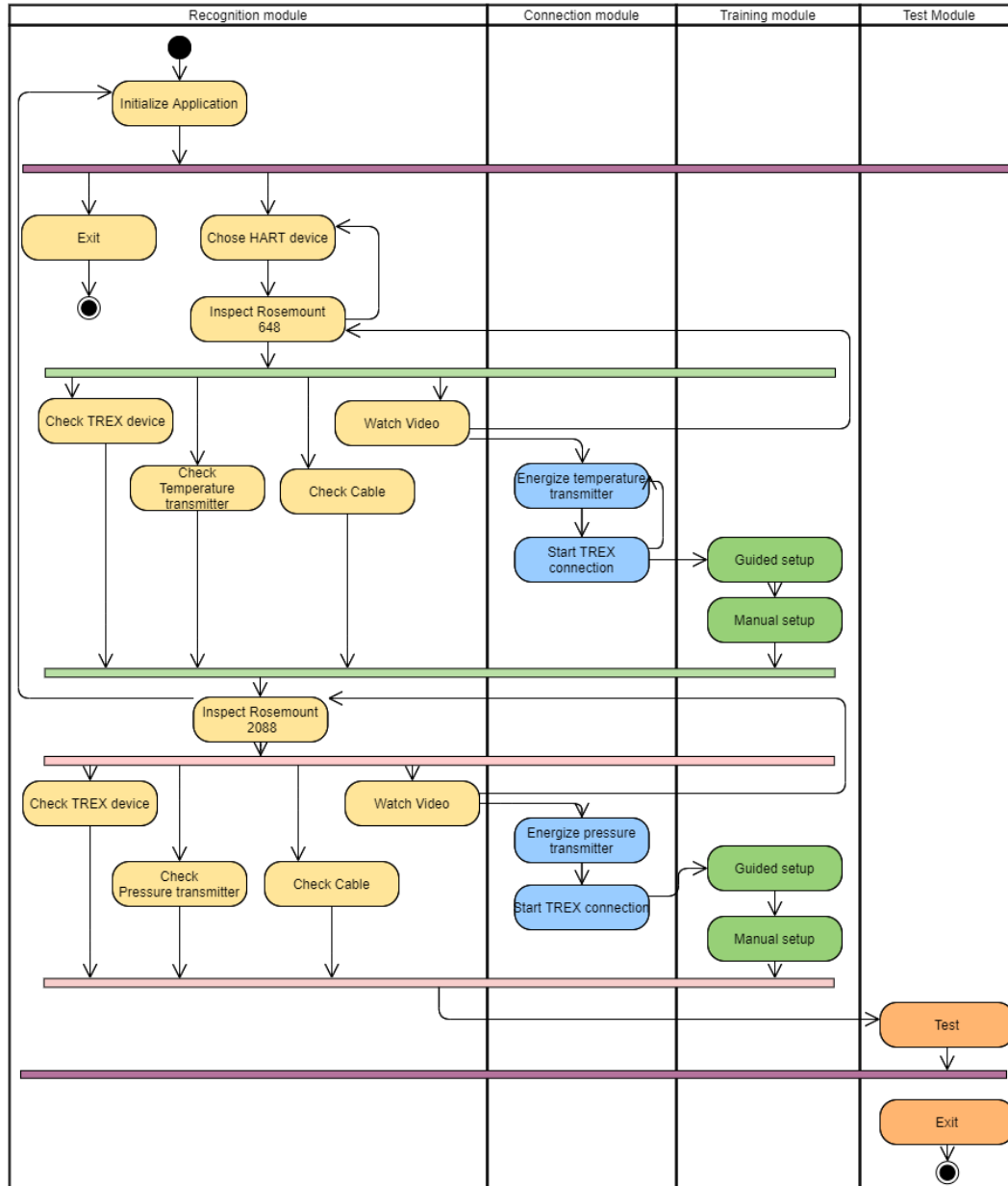
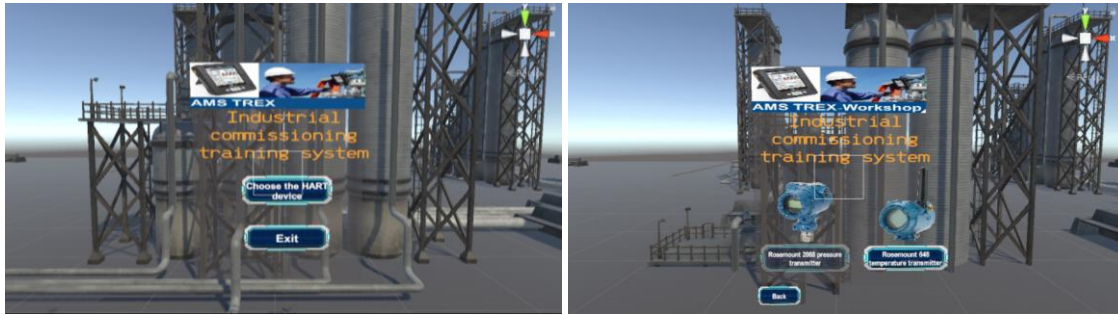


Fig. 14. Diagrama de actividades.

i) Escoger el dispositivo HART, botón que le llevará a seleccionar el equipo HART con el que desea trabajar. Aquí se debe mencionar que el usuario tendrá que iniciar su entrenamiento con el transmisor de temperatura, ya que, el transmisor de presión se encuentra desactivado. Una vez que complete el entrenamiento en este dispositivo, será capaz de continuar con el siguiente. ii) Salir, opción que le permitirá dar por terminado el entrenamiento. Ver Fig. 15.



a) Menú principal.

b) Selección de dispositivo HART.

Fig. 15. Menú de opciones.

Módulo de reconocimiento: familiarización de dispositivos

En esta interfaz, que es similar para el transmisor de temperatura y de presión, 1) el usuario será capaz de, a través de los controles HTC, ir escogiendo el elemento con el que desea familiarizarse: 2) Transmisor de temperatura Rosemount 648 o Transmisor de presión Rosemount 2088, aquí el usuario podrá observar al dispositivo seleccionado rotando para identificar todos sus detalles. 3) Dispositivo TREX, en donde el estudiante podrá observar detalladamente las características físicas de este comunicador de campo. 4) Cable, mostrará sus dos extremos de conexión. Ver Fig. 16.

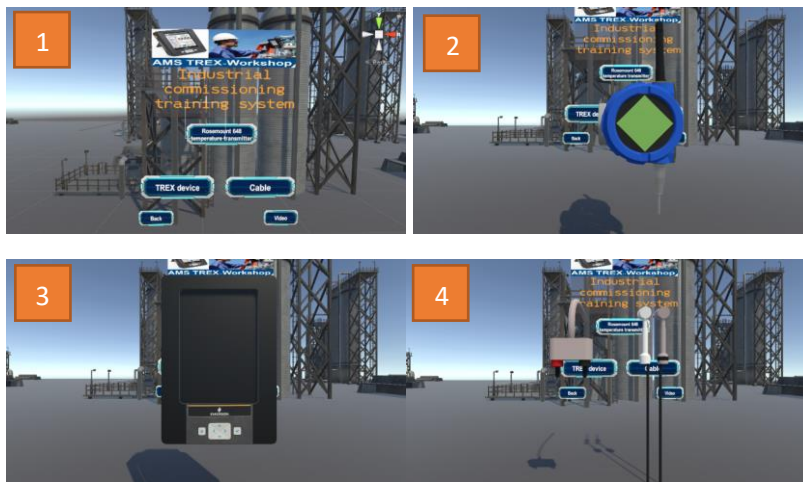


Fig. 16. Familiarización de dispositivos.

Módulo de reconocimiento: video

Esta interfaz, al igual que la descrita en el punto anterior, es similar para ambos transmisores HART. Aquí el usuario tendrá la opción de reproducir, pausar y adelantar

un video sobre la importancia y uso tanto del transmisor de temperatura como del transmisor de presión. Esto se lo puede apreciar en la Fig. 17.



Fig. 17. Video instructivo.

Módulo de entrenamiento: Entrenamiento de conexión

Aquí, el usuario se va a encontrar inmerso en un entorno donde va a ser capaz de observar cómo, de manera automática, se van acomodando los elementos de energización de cada transmisor. En el caso del transmisor de temperatura, se acomodará la batería en la parte trasera del dispositivo, además se indicará la forma en que los cables deben ser conectados (1).

Por otra parte, para el transmisor de presión, se acomodarán los cables en la parte posterior del dispositivo, siguiendo las instrucciones desplegadas en pantalla. Cabe recalcar que, para ambos dispositivos, se indicará también la forma de conexión del comunicador de campo TREX (2). Ver Fig. 18.

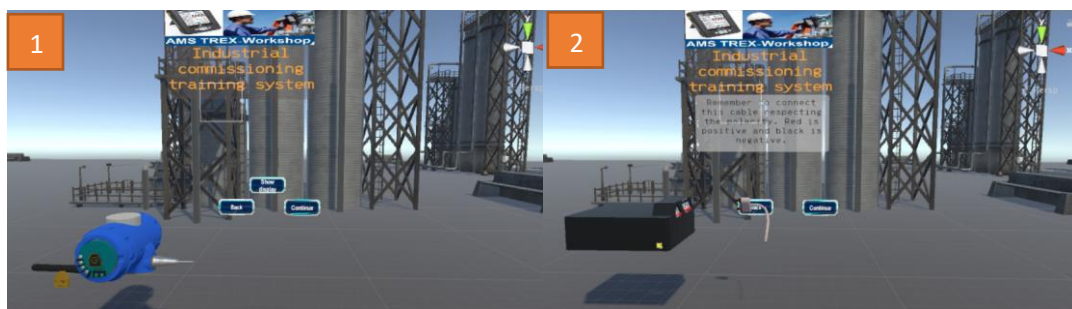


Fig. 18. Entrenamiento de conexión de dispositivos HART.

Módulo de entrenamiento: configuración del dispositivo

En la Fig. 19, se puede apreciar las principales pantallas que conforman el entrenamiento en términos de configuración del transmisor de temperatura. 1) Pantalla de inicio del comunicador de campo TREX, donde el usuario tendrá que escoger la opción “comunicador de campo”, en el caso de que se desee regresar a la interfaz anterior, también se ha añadido una opción para este fin. 2) Autodetección del comunicador de campo, donde, al igual que en el equipo real, el usuario tendrá que esperar el tiempo de reconocimiento del dispositivo, para luego pasar a, 3) Vista general, en donde se podrá apreciar que el dispositivo ha sido conectado correctamente, además de la medición de temperatura ambiente actual. Aquí, también se mostrará las opciones: Menú, Herramientas y 4) Configuración, alternativa que guiará al usuario a una configuración manual y guiada.



Fig. 19. Entrenamiento de configuración de dispositivos HART.

Debido a que este sistema se basa en el entrenamiento y guía de personal para manejo de transmisores HART, el usuario será dirigido primero a través de la configuración guiada. Aquí, se podrá establecer la opción Wireless del transmisor (1) a través de la identificación de red (2). Los valores serán ingresados mediante los controles hápticos HTC y a través de la mirada del usuario, es decir, se tendrá que, una vez desplegado el teclado, ir fijando la vista en cada uno de los números deseados (3). Ver Fig. 20.



Fig. 20. Configuración guiada.

Por otra parte, se podrá también cambiar la configuración del sensor del proceso (1). El usuario será direccionado a seleccionar la opción unidades (2). Aquí se puede modificar la unidad de temperatura requerida, enviando esta información a través de los controles HTC (3), esto se lo puede apreciar en la Fig. 21.



Fig. 21. Configuración guiada de unidades.

Una vez que se termine esta configuración, siguiendo el mismo modelo de guía para las demás opciones, se desplegará un mensaje de felicitación para el usuario, invitándole a que continúe con la configuración manual. Ver Fig. 22.



Fig. 22. Finalización de configuración guiada.

En la configuración manual, se tendrá la posibilidad de que el usuario explore de forma libre cada una de las opciones que presenta el transmisor. Esto permitirá que el conocimiento y habilidades adquiridas en el paso anterior sean reforzadas, para que, de esta manera, si se enfrenta a una situación real, puedan tomar la decisión adecuada, así como configurar eficientemente los parámetros deseados. Es necesario mencionar que estas pantallas, son similares en el transmisor de presión, el cual posee las mismas opciones de entrenamiento guiado y entrenamiento manual.

Módulo de Evaluación

Con la finalidad de evaluar los conocimientos adquiridos por cada usuario, se ha implementado una fase de evaluación sumativa, es decir, comprobar el nivel de comprensión del contenido presentado en cada interfaz.

Una vez que el usuario haya explorado con éxito ambos transmisores, será dirigido a esta etapa, en donde podrá encontrar diez preguntas, cinco destinadas al transmisor de temperatura (1) y cinco enfocadas en el transmisor de presión (2). De esta distribución, dos preguntas serán sobre el entrenamiento en términos de conexión; y tres preguntas acerca del entrenamiento en función de la configuración del dispositivo.

Cada pregunta consta de tres opciones, siendo solo una la correcta. Para garantizar la honestidad en esta evaluación, una vez que se responda una pregunta, la respuesta será almacenada y el usuario automáticamente se encontrará inmerso en la siguiente interrogación, es decir, no se dará la posibilidad de corregir su respuesta. Cuando se haya

culminado con este módulo, el usuario será capaz de observar su puntaje y obtener una retroalimentación adecuada (3). Todo esto se lo puede apreciar en la Fig. 23.

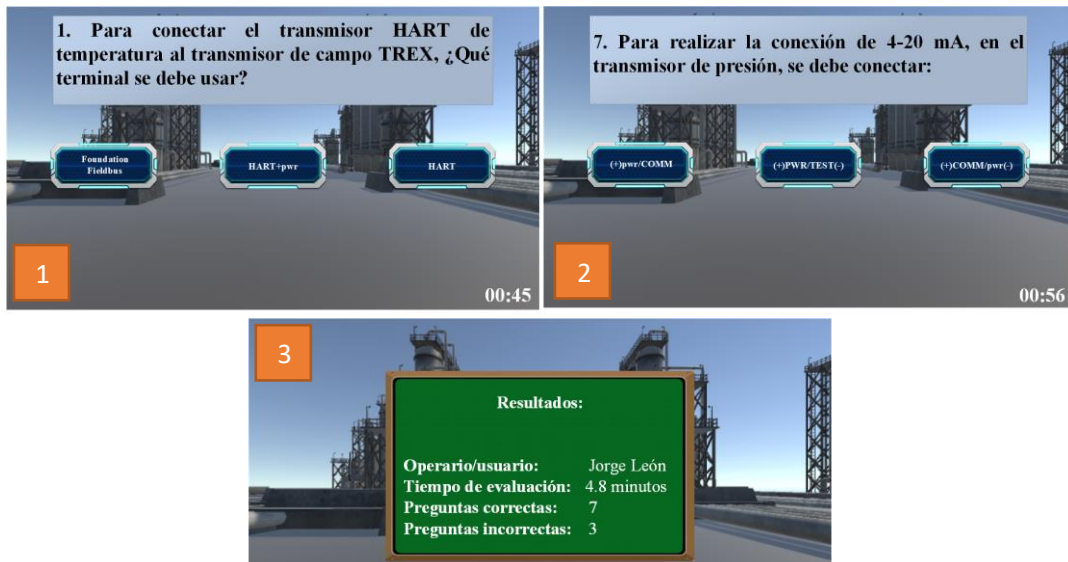


Fig. 23. Módulo de evaluación.

3.8.4. VRUSE

Para evaluar desde una perspectiva humana los atributos que debe tener un sistema de realidad virtual, se utilizó el método VRUSE. Esto fue creado por Roy Kalawsky [50] agregando componentes que se ajustan a la realidad virtual al modelo de Métricas para Estándares de Usabilidad en Computación (MUSiC). Kalawsky también enfatizó que, para la correcta usabilidad de un sistema de RV, su lazo de control debe consistir en: i) Modelo o simulación: primero debe establecerse el problema a resolver mediante RV, ii) Representación del entorno virtual: que debe simular fielmente el entorno real; y iii) Entradas y salidas: las necesarias para generar una correcta retroalimentación de los usuarios [51], [52]. Ver Fig. 24.

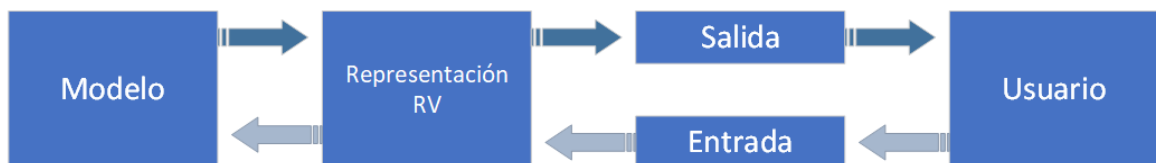


Fig. 24. Lazo de control RV.

VRUSE proporciona una herramienta de diagnóstico para investigadores que desarrollan o mejoran interfaces de realidad virtual. De esta forma, es posible recopilar información sobre la usabilidad de dichas interfaces directamente de los usuarios para evaluar la

usabilidad del sistema. La tabla 16 presenta cada factor a tener en cuenta dentro del método VRUSE.

Tabla 16.
Factores VRUSE.

Nota: Se muestra la descripción de cada factor VRUSE [53].

Código	Factor	Descripción
F1	Funcionalidad	El sistema RV debería permitir al usuario realizar tareas completas.
F2	Entrada del usuario	El sistema RV debería permitir al usuario interactuar con este de forma natural.
F3	Salida del sistema	El sistema RV debe proporcionar comentarios claros y comprensibles.
F4	Guía y ayuda	El sistema RV debe proporcionar ayuda y orientación al usuario.
F5	Consistencia	El sistema RV debe ser coherente con el usuario.
F6	Flexibilidad	El sistema RV debería permitir al usuario controlarlo de forma flexible.
F7	Fidelidad de la simulación	El sistema RV debe seguir un modelo que impulse al usuario sobre el entorno virtual.
F8	Corrección de errores/robustez	El sistema RV debería permitir al usuario corregir errores.
F9	Sensación de inmersión/presencia	El sistema RV debería permitir al usuario sentir que es parte de él.
F10	Usabilidad general del sistema	El sistema RV debe ser fácil de usar e intuitivo.

3.8.5. Escenario experimental

Para cumplir con el propósito de esta investigación, se diseñó un experimento con la participación de estudiantes de la ciudad de Ambato-Ecuador (ver población y muestra). En el grupo donde se aplicó la metodología 2 de entrenamiento, se incluyeron las siguientes preguntas:

- P1: ¿Los factores VRUSE tienen un impacto positivo en la intuición y la facilidad del sistema interactivo basado en realidad virtual para el comisionamiento de transmisores HART?

- P2: ¿Se puede utilizar el sistema basado en realidad virtual propuesto para el comisionamiento de transmisores HART?

El experimento constó de tres fases. La primera fase fue el uso del sistema basado en realidad virtual. La segunda fase consistió en evaluar la aceptación del sistema de RV propuesto. Finalmente, la tercera fase se enfocó en la comparación del entrenamiento RV propuesto con el entrenamiento convencional.

La evaluación de la aceptación, como en otros estudios de RV, se realizará mediante una encuesta [51], [53]. Para ello, se diseñó una encuesta siguiendo el método VRUSE. Existen algunos métodos para evaluar la usabilidad de los sistemas de realidad virtual, sin embargo, VRUSE ha sido ampliamente utilizado en la investigación de la realidad virtual, lo que demuestra la solidez y aceptación de este método.

Las respuestas de los participantes se establecieron siguiendo la escala Likert: (1) Totalmente en desacuerdo, (2) En desacuerdo, (3) Neutral, (4) De acuerdo, (5) Totalmente de acuerdo. Los siguientes elementos se incluyeron en la encuesta:

1. ¿El sistema RV propuesto permite a los usuarios realizar completamente las tareas que se propusieron?
2. ¿El sistema RV propuesto permite a los usuarios interactuar con las interfaces programadas de forma natural?
3. ¿El sistema RV propuesto proporciona retroalimentación interactiva durante las tareas propuestas?
4. ¿El sistema RV propuesto proporciona orientación y ayuda para realizar las tareas propuestas?
5. ¿El sistema RV propuesto responde de la forma que espera el usuario?
6. ¿El sistema RV propuesto permite un aprendizaje sencillo?
7. ¿El sistema RV propuesto refleja una alta similitud entre el entorno virtual y el entorno del mundo real?
8. ¿El sistema RV propuesto permite a los usuarios corregir errores?
9. ¿El sistema RV propuesto permite a los usuarios sentirse completamente parte del entorno virtual?
10. ¿El sistema RV propuesto, en su totalidad, es intuitivo y fácil de usar?

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Entrenamiento RV vs entrenamiento convencional

4.1.1. Aplicación de la evaluación

Una vez que ambos grupos (n_c y n_e) finalizaron el entrenamiento, procedieron a ser evaluados. Al grupo experimental se le incluyó el módulo de preguntas explicado en la sección 3.8.3 dentro del sistema RV, mientras que al grupo de control se lo evaluó mediante Google Forms. De esta forma, en la Fig. 25 se muestra los resultados alcanzados para el transmisor de temperatura. Aquí, se puede observar que, en la metodología de entrenamiento convencional, la pregunta 1 obtuvo 12 aciertos y 8 errores, representando el 60% y 40% respectivamente. En la pregunta 2, las respuestas correctas correspondieron al 70%, mientras que el 30% perteneció a las preguntas erradas. La pregunta 3 obtuvo un 55% de aciertos, denotando una clara dificultad por parte del grupo evaluado. Finalmente, las preguntas 4 y 5 obtuvieron un 75% y 55% de respuestas acertadas.

Por otra parte, los resultados mostrados por la metodología RV son alentadores. De manera general, se puede apreciar que este tipo de entrenamiento cimentó de mejor manera los conocimientos. En la pregunta 1, se obtuvo un 85% de respuestas correctas. La pregunta 2, muestra que, de los 20 usuarios evaluados, 18 contestaron de manera adecuada; mientras que en la pregunta 3, 15 usuarios fueron eficientes en sus respuestas. Finalmente, las preguntas 4 y 5 obtuvieron un 75% y 85% de resultados correctos respectivamente.

En la Fig. 26, se muestra los resultados alcanzados para el transmisor de presión. En esta parte de la evaluación, ocurre algo similar a lo descrito anteriormente. La metodología de entrenamiento convencional presenta un número de respuestas inferior al entrenamiento RV. En la pregunta 6, existen 15 respuestas correctas, mientras que en la pregunta 7 y 8 hay 14 y 10 respuestas acertadas respectivamente. Por otra parte, para la pregunta 9 existe un 75% de éxito; y, finalmente, para la pregunta 10, el porcentaje de aciertos fue del 65%.

Como se puede apreciar, la metodología RV es mucho más eficiente al momento de generar nuevos conocimientos en los participantes. La inmersión desarrollada, más la interacción y controles programados, permitieron que la muestra retenga y sepa utilizar dichos conocimientos de mejor manera. Al comparar ambas metodologías de manera

global, se entiende que, la primera modalidad de entrenamiento reporta un 65% de eficiencia, mientras que la modalidad propuesta presenta un 82.5% de validez.

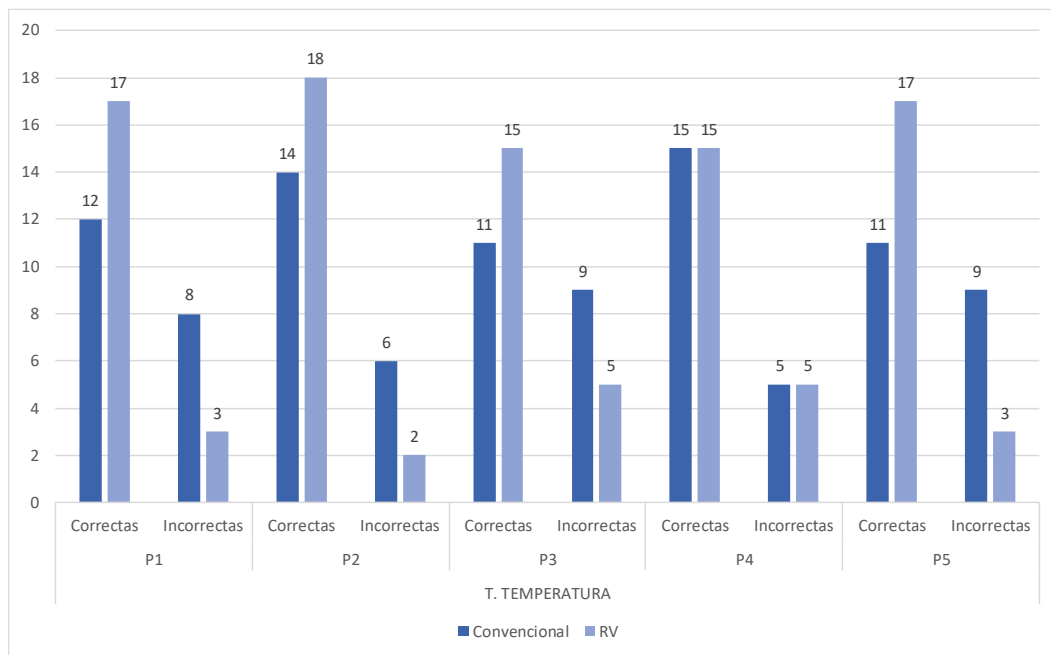


Fig. 25. Transmisor de temperatura: resultados de la evaluación.

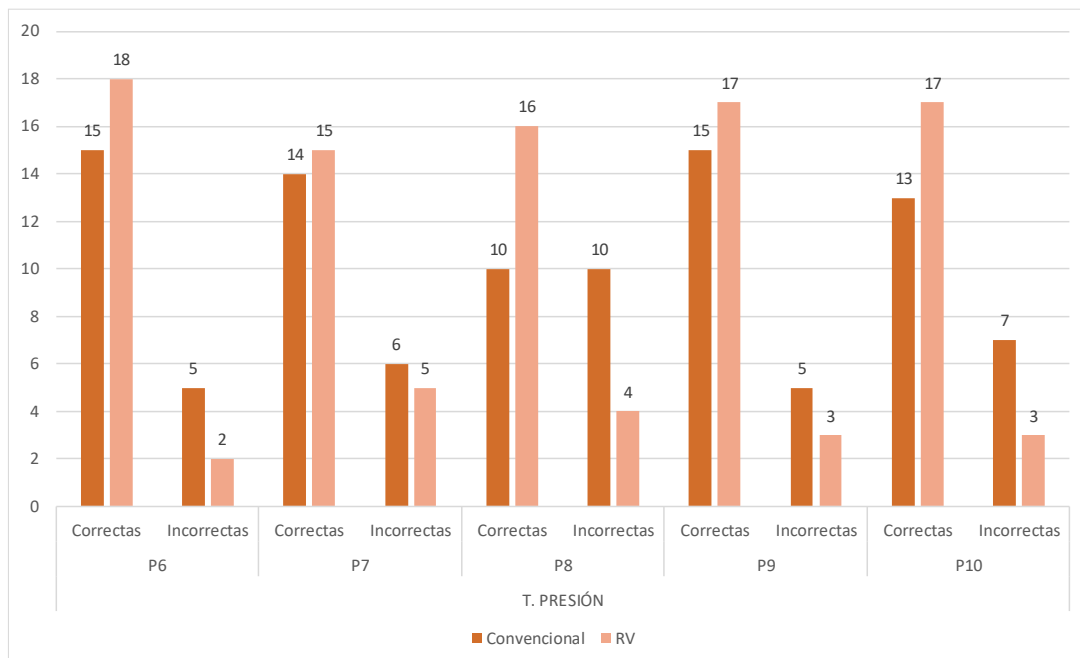


Fig. 26. Transmisor de presión: resultados de la evaluación

A pesar de que los resultados mostrados son de evidente interpretación, es necesario validarlos de manera estadística, a continuación, se detalla el uso de la prueba T-student para verificar que, en efecto, la RV es una metodología eficiente de entrenamiento en comparación a formas de capacitación habituales.

Hipótesis

Referirse a la sección 3.4.4. y 3.4.5.

Determinar α

Alfa= 5% = 0.05

Normalidad

Debido a que la muestra es menor a 30 individuos, se empleará Shapiro-Wilk. En la tabla 17, se puede apreciar los resultados obtenidos en el software SPSS. La significancia para ambas muestras, metodología convencional y metodología RV, son superiores al nivel alfa de 0.05, se puede afirmar que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla 17.

Prueba de normalidad.

Nota: Características obtenidas de la prueba Shapiro-Wilk.

Prueba de normalidad				
Entrenamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Calificación	Convencional	0.909	20	0.062
	Realidad virtual	0.920	20	0.097

Igualdad de varianzas

Se debe realizar la prueba de Levene para corroborar el supuesto de igualdad de varianzas entre los grupos propuestos. En la tabla 18, se puede observar que el nivel de significancia de esta prueba es mayor al nivel alfa de 0.05, concluyendo de esta forma que, para realizar la prueba t-student se asumen varianzas iguales.

Tabla 18.

Prueba de Levene.

Nota: Características obtenidas de la prueba de Levene.

Prueba de muestras independientes			
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
Calificación	Se asumen varianzas iguales	0.615	0.438

Significancia de la Prueba T-student

Finalmente, se compara el p-valor obtenido a través del software SPSS para tomar una decisión sobre las hipótesis planteadas. Al obtener un valor p , inferior al nivel de alfa, se acepta H_2 . Es decir, si existe una diferencia significativa entre la media de calificaciones del grupo entrenado con metodologías convencionales y la media de calificaciones del grupo capacitado con realidad virtual. En la tabla 19, se puede visualizar estos resultados.

En la Fig. 27, se puede ver que, para entrenamiento convencional (C), el 50% de los datos se concentran desde los 6 puntos hacia arriba, además de un dato atípico, siendo este la nota más alta obtenida en este tipo de entrenamiento (9 puntos). Por otra parte, en el entrenamiento RV, el 50% de las notas obtenidas, se agrupan a partir los 8 puntos hacia arriba, también con un dato atípico, que corresponde a una nota con puntaje de 6. De esta forma, se establece que la capacitación mediante herramientas digitales como la RV es más eficiente, que el entrenamiento convencional, en cuanto a la adquisición y retención de conocimientos sobre comisionamiento industrial.

Tabla 19.

Resultado T-student.

Nota: Características obtenidas de la prueba de muestras independientes.

Prueba de muestras independientes								
		prueba t para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Infe.	Supe.							
Calificación	V. iguales	-5.1	38	0.0000097	-1.750	0.343	-2.445	-1.055

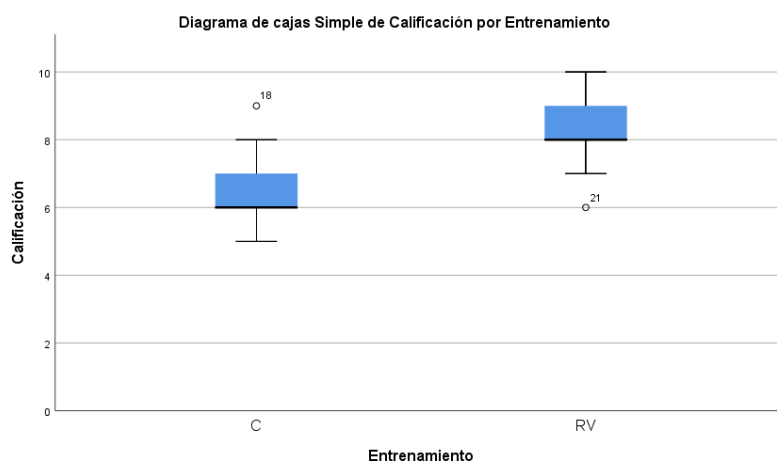


Fig. 27. Diagrama de cajas y bigotes entrenamiento C vs entrenamiento RV.

4.1.2. Tiempos de entrenamiento

Con la finalidad de medir el tiempo empleado en la capacitación de la muestra de control, se empleó el cronometraje digital con regreso a cero. Para que esta medición sea correcta, se consideró los siguientes aspectos, i) dominio académico y técnico del instructor: un profesional con grado académico de cuarto nivel relacionado a la electrónica y automatización impartió la clase a este grupo, ii) estandarización del método, el comisionamiento industrial de instrumentos HART, al ser dominada por el instructor y poseer una planificación de clase estructurada, permitió que la capacitación fluya de manera eficiente; y, iii) herramientas necesarias, al ser una capacitación desarrollada dentro de la nueva normalidad, es decir, en línea, el instructor contó con internet estable y veloz (60 Mbps), software de videoconferencia licenciado y cronómetro digital (Ver Fig. 28). Por otra parte, en la Fig. 29, se puede notar que, la capacitación RV se llevó a cabo sin ningún inconveniente. Aquí, se implementó un temporizador para contabilizar el tiempo empleado.

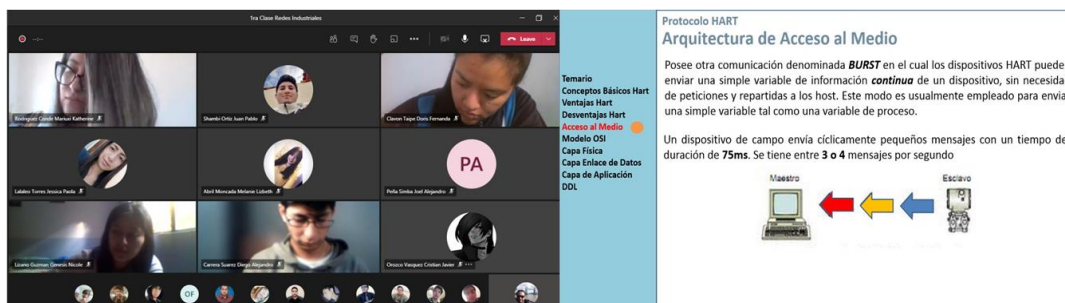


Fig. 28. Capacitación convencional.



Fig. 29. Capacitación RV.

En la metodología 1, se cronometró un tiempo de 45 minutos con 30 segundos entre la presentación del instructor, el desarrollo de la clase y la evaluación. Es necesario aclarar que, el tiempo aquí es constante debido a que el instructor dictó la clase a todo el grupo

de control. En la metodología 2, se obtuvo un tiempo promedio de 24 minutos con 15 segundos entre la presentación del sistema RV, el desarrollo de la capacitación y la evaluación. Se debe mencionar que el contenido impartido en ambas metodologías fue el mismo y que se proporcionó el mismo tiempo para las evaluaciones.

En la Fig. 30, se puede entender que la reducción de tiempos corresponde al 46.7%, concluyendo que el uso de tecnologías inmersas en la industria 4.0 para la capacitación de personal especializado, permite optimizar un recurso tan valioso como el tiempo. Esta forma de capacitación, al ser usada de manera industrial, puede permitir que operarios con experiencia, que realizan funciones de vital importancia para la cadena de valor de su empresa, no descuiden su proceso para capacitar a personal nuevo, evitando así, errores en producción, paras no programadas, liderazgo inefectivo, actos inseguros entre otros.

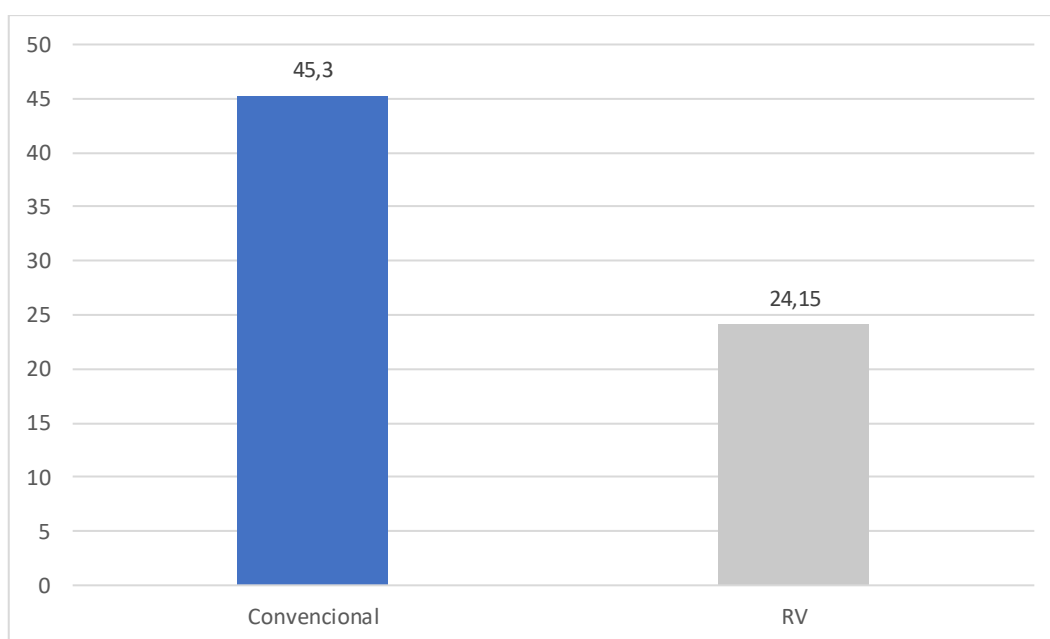


Fig. 30. Comparación de tiempos.

4.2. Usabilidad

Con la finalidad de validar la encuesta planteada para la evaluación de aceptación del sistema de entrenamiento RV, se realizó una prueba piloto de 5 usuarios. Se utilizó Google Forms para albergarla. Un coeficiente Alfa de Cronbach de 0.822 mostró que existe una correlación alta entre los ítems de la encuesta, es decir, se indicó su validez interna. Por otra parte, siguiendo trabajos realizados en el área de la realidad virtual [54]–[56], el análisis de datos correspondientes a la usabilidad del sistema propuesto, se basó en correlaciones, promedios y desviaciones estándar. Para responder a la primera

pregunta planteada en la sección 3.8.5, se realizó un Tau-b de Kendall entre los factores VRUSE. Los resultados de la tabla 20, muestran que existe una correlación alta con un valor de significancia inferior a 0,05 entre F1 y F2, entendiéndose que la interacción del usuario con el sistema es eficiente, además de que existe fluidez en la realización de tareas propuestas. Por otra parte, entre F3, F4 y F8 también existe una correlación alta concluyendo que la guía desarrollada dentro del sistema RV es suficiente para que el usuario comprenda de manera clara todas las instrucciones proporcionadas.

La consistencia y flexibilidad, así como la usabilidad general del sistema, también poseen una dependencia alta, denotando un control flexible, coherente y adaptable para cualquier acción por parte del usuario. Finalmente, los factores F7 y F9 muestran que los entornos desarrollados y la retroalimentación proporcionada, brindan una inmersión eficiente, llevando al usuario a sentirse cómodo con el sistema y percibiendo a su entorno virtual como real. Con lo descrito en párrafos anteriores, se puede reconocer que, en efecto, existe un impacto positivo de los factores VRUSE en la facilidad de uso del sistema RV.

Tabla 20.

Tau-b de Kendall.

Nota: Coeficientes de correlación entre factores VRUSE.

		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
F1	Coefficiente de correlación	1.000									
	Sig. (bilateral)										
F2	Coefficiente de correlación	,791*	1.000								
	Sig. (bilateral)	0.025									
F3	Coefficiente de correlación	0.183	0.337	1.000							
	Sig. (bilateral)	0.592	0.322								
F4	Coefficiente de correlación	0.200	0.264	,730*	1.000						
	Sig. (bilateral)	0.558	0.440	0.026							
F5	Coefficiente de correlación	0.639	0.337	0.167	0.548	1.000					
	Sig. (bilateral)	0.058	0.317	0.607	0.093						
F6	Coefficiente de correlación	0.639	0.337	0.250	0.000	,708*	1.000				
	Sig. (bilateral)	0.058	0.317	0.441	1.000	0.027					
F7	Coefficiente de correlación	0.600	,685*	0.365	0.200	0.228	0.000	1.000			
	Sig. (bilateral)	0.079	0.045	0.267	0.545	0.483	1.000				

Tabla 20. Continuación.

		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
F8	Coefficiente de correlación	0.263	0.185	,641*	,658*	0.160	0.200	0.132	1.000		
	Sig. (bilateral)	0.432	0.581	0.047	0.042	0.616	0.531	0.685			
F9	Coefficiente de correlación	0.373	0.590	0.511	0.280	0.128	0.000	,653*	0.368	1.000	
	Sig. (bilateral)	0.273	0.083	0.119	0.395	0.694	1.000	0.047	0.254		
F10	Coefficiente de correlación	0.550	0.158	0.502	0.300	0.548	,867**	0.050	0.439	0.140	1.000
	Sig. (bilateral)	0.107	0.643	0.127	0.364	0.093	0.008	0.880	0.176	0.671	

Por otro lado, la Fig. 31, se muestran los valores de promedio y desviación estándar de las respuestas obtenidas a través de la encuesta. Aquí, se observa que los valores medios son superiores a 3,50 con valores de desviación estándar iguales o inferiores a 0,7 lo que, dando respuesta a la pregunta 2 planteada en la sección 3.8.5, indica que los usuarios que formaron parte del experimento consideran utilizable el sistema RV.

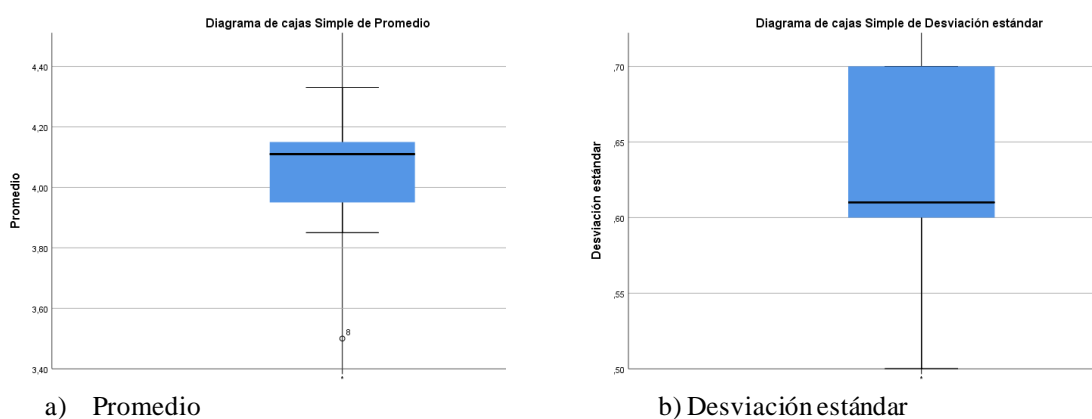


Fig. 31. Estadísticas descriptivas de los factores VRUSE.

4.3. Propuesta de entrenamiento RV

Con la finalidad de dar cumplimiento al último objetivo específico planteado en esta investigación, en la Fig. 31, se presenta una propuesta para llevar a cabo la comparación entre dos tipos de entrenamiento industrial (convencional y RV). Esta propuesta consta de tres etapas:

- i) Análisis del problema, para delimitar la situación actual del inconveniente que se quiere solucionar. Es necesario considerar el hecho de que, si el problema no se puede desarrollar a un nivel eficiente a través de RV, se debería buscar otras alternativas. Si se continúa

dentro del marco de la industria 4.0, opciones viables pueden ser: RA, inteligencia artificial, simulación basada en software industrial, entre otras. Además, aquí se debe ser cuidadoso al seleccionar la población y posteriormente la muestra, el sesgo resultante de este cálculo, puede alterar de manera significativa los resultados. Se recomienda siempre trabajar con un grupo de control y un grupo experimental.

ii) Desarrollo del sistema RV, en donde se describe los pasos necesarios para crear interfaces adecuadas en el contexto del entrenamiento industrial. Como primer punto, se ha considerado la selección del software de diseño ya que, dependiendo de la habilidad del desarrollador, así como de su conocimiento sobre elementos 3D, se podrán generar elementos que sean una fiel representación del mundo real. Se debe comprobar también, que el software escogido exporte archivos con extensiones compatibles con el software RV.

Por otra parte, se debe poseer un cierto nivel de conocimiento en cuanto a lógica de programación, esto debido a que la mayoría de motores gráficos, emplean lenguajes de programación como respaldo para realizar las acciones deseadas por el usuario. Finalmente, se debe decidir si se desea integrar las interfaces desarrolladas con elementos de control físicos dentro del proceso industrial, si la respuesta es afirmativa en este punto, es imprescindible diseñar un sistema de control y comunicación adecuado.

iii) Sesión de entrenamiento, donde se define los grupos a compararse y se establecen las variables que se van a medir. En esta etapa, se necesita de un profesional a cargo del sistema RV para que explique a los usuarios sobre el uso de los componentes físicos del sistema. Aquí, también se puede apreciar que, en el caso de implementar este entrenamiento en la industria real, el tiempo empleado por parte del profesional en mención sería mínimo, evitando que interrumpa sus actividades en el proceso y por ende que genere errores en la cadena de valor. Una vez que los usuarios han recibido la inducción, tendrán que usar las gafas de RV y colocarse los sensores adecuados (en caso de ser necesario).

Posterior a esto, deberán completar las actividades asignadas en el mundo virtual y generar un proceso de aprendizaje semiautónomo. Como último paso, el encargado de este proceso, podrá analizar los datos recolectados por el sistema (tiempo, calificaciones, desempeño, eficiencia, etc.) y comparar estos resultados con la información obtenida del grupo de control.

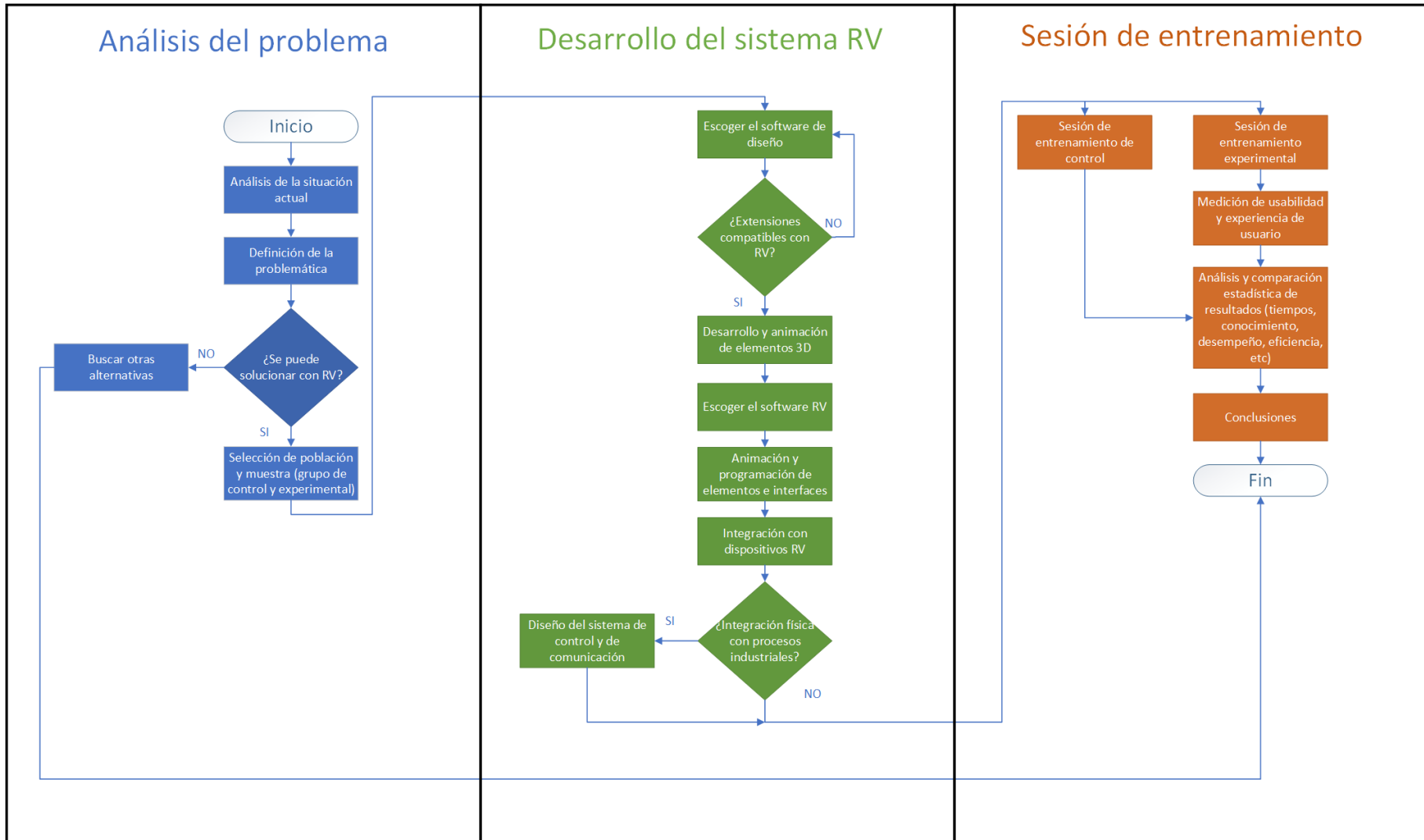


Fig. 32. Propuesta de sistema RV para entrenamiento industrial.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones y trabajos futuros

- Se ha diseñado un modelo de optimización RV de tiempos de entrenamiento para el comisionamiento de instrumentación industrial HART. La selección del software de modelamiento y animación Blender fue acertada ya que, permitió exportar los modelos 3D diseñados de manera ligera, es decir sin la necesidad del consumo de recursos innecesarios que ralenticen el sistema RV. Además, su proceso de carga veloz (20 veces más que otros programas de diseño) permitió ahorrar tiempos significativos en el desarrollo de este proyecto de investigación.
- La integración de los entornos desarrollados en el motor gráfico Unity 3D, con el equipo RV HTC Vive, posibilitó que los usuarios experimenten una inmersión completa, simulando fielmente, los movimientos, diseño e interacción con los instrumentos HART.
- El empleo de técnicas de evaluación de usabilidad como lo es VRUSE, mostró que el sistema desarrollado posee un alto grado de eficiencia y afinidad con la muestra seleccionada. Por otra parte, con el uso de herramientas estadísticas apropiadas, se verificó una alta correlación entre factores como funcionalidad, entrada del usuario, salida del sistema, guía y ayuda, consistencia, flexibilidad, fidelidad de simulación, corrección de errores, sensación de inmersión y usabilidad general del sistema.
- El diagrama de flujo presentado en la sección 4.3, será útil para otros investigadores que necesiten una guía al momento de desarrollar sistemas RV industriales. Aquí, se representó de manera detallada los pasos a seguir para obtener un sistema eficiente y robusto.
- Como trabajos futuros se propone el uso de metodologías ágiles para el desarrollo del sistema RV, es decir, acortar el tiempo de desarrollo y validación para obtener una calidad superior en el producto final, así como una aceptación y satisfacción superior por parte de los usuarios. También se pretende hacer uso del efecto kappa y tau, es decir, influenciar la percepción del espacio-tiempo del usuario, mejorando así su sentido de inmersión.

5.2.Recomendaciones

- Mejorar la selección de la muestra, ya que, debido a la crisis sanitaria que nos encontramos viviendo, se utilizó una técnica por conveniencia. Con esto, el campo de aplicación del sistema desarrollado tendría un alcance mayor.
- Para todos los trabajos de investigación, desarrollados en tiempos de COVID-19, que hagan uso de equipos de trabajo personales, se recomienda desinfectar los dispositivos de manera adecuada entre cada uso, evitando así, la posible propagación del virus.
- Para todas las instituciones públicas y privadas de educación superior, se sugiere que se enfoquen en la investigación y la incentiven. En estos tiempos de crisis, angustia y pérdidas humanas, así como económicas, se ha podido evidenciar que, la ciencia y conocimiento son los únicos factores que podrán mitigar catástrofes y diferenciar un país con pésima gestión de uno que se encuentra en el “primer mundo”.

5.3.BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Jamaica, “Los beneficios de la capacitacion y el desarrollo del personal de las pequeñas empresas,” Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Estudios A Distancia (FAEDIS), 2015.
- [2] D. F. Herrera, S. Bolívar Acosta, W. X. Quevedo, J. A. Balseca, and V. H. Andaluz, “Training for Bus Bodywork in Virtual Reality Environments,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2018, pp. 67–85.
- [3] C. A. Garcia, J. E. Naranjo, A. Ortiz, and M. V. Garcia, “An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 9, pp. 1–8, 2019.
- [4] J. Cýrus, D. Krčmařík, M. Petrů, and J. Kočí, “Cooperation of Virtual Reality and Real Objects with HoloLens,” *Adv. Comput. Vis.*, pp. 94–106, 2020.
- [5] S. A. Makhlof, M. A. Sarwat, D. M. Mahmoud, and A. A. Mohamad, “Distributed, Collaborative Virtual Reality Application for Product Development with Simple Avatar Calibration Method Manuel,” *IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces*, vol. 24, no. 1, pp. 137–145, 2019.
- [6] D. C. Enríquez, J. J. Arellano Pimentel, M. Á. Hernández López, and O. S. Nieva García, “Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores.,” *Rev. Innovación Educ.*, vol. 9, no. 2, pp. 8–23, 2017.
- [7] J. E. Naranjo, E. C. Lozada, H. I. Espín, C. Beltran, C. A. García, and M. V. García, “Flexible Architecture for Transparency of a Bilateral Tele-Operation System implemented in Mobile Anthropomorphic Robots for the Oil and Gas Industry,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 8, 2018.
- [8] V. H. Andaluz, A. Pazmiño, J. Perez, and C. Carvajal, “Training of Tannery Processes Through Virtual Reality,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2017, vol. 2, no. ii, pp. 75–93.
- [9] V. Andaluz *et al.*, “Multi-user Industrial Training and Education Environment,” in

Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2018, pp. 533–546.

- [10] C. A. Garcia, J. E. Naranjo, E. Alvarez-M, and M. V. Garcia, “Training virtual environment for teaching simulation and control of pneumatic systems,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2019, vol. 11613 LNCS, pp. 91–104.
- [11] K. Kournaditis, F. Chinello, and S. Venckute, “Design of a Virtual Reality and Haptic Setup Linking Arousals to Training Scenarios: A Preliminary Stage,” *25th IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2018 - Proc.*, pp. 613–614, 2018.
- [12] L. Zou, T. Higuchi, H. Noma, L. G. Roberto, and T. Isaka, “Evaluation of a virtual reality-based baseball batting training system using instantaneous bat swing information,” *26th IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2019 - Proc.*, pp. 1289–1290, 2019.
- [13] P. Rajeswaran, T. Kesavadas, P. Jani, and P. Kumar, “AirwayVR: Virtual reality trainer for endotracheal intubation-design considerations and challenges,” *26th IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2019 - Proc.*, pp. 1130–1131, 2019.
- [14] A. S. Mathur, “Low cost virtual reality for medical training,” *2015 IEEE Virtual Real. Conf. VR 2015 - Proc.*, pp. 345–346, 2015.
- [15] J. Zheng, P. Shi, and H. Yu, “A Virtual Reality Rehabilitation Training System Based on Upper Limb Exoskeleton Robot,” *Proc. - 2018 10th Int. Conf. Intell. Human-Machine Syst. Cybern. IHMSC 2018*, vol. 1, pp. 220–223, 2018.
- [16] Efanntyo and M. R. A. Cahyono, “Design and development smart industrial training management software with artificial neural network (ANN) on Java,” *2018 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 220–225, 2018.
- [17] H. Mechlih, “New employee education using 3D virtual manufacturing,” *2016 13th Learn. Technol. Conf. LT 2016*, pp. 33–35, 2016.
- [18] V. Phakphonhamin, R. Wongsawad, and T. Vichitwongsakorn, “TPS training

- course for the production staff,” *Proc. 2018 5th Int. Conf. Bus. Ind. Res. Smart Technol. Next Gener. Information, Eng. Bus. Soc. Sci. ICBIR 2018*, pp. 546–549, 2018.
- [19] J. Martin and J. Bohuslava, “Augmented reality as an instrument for teaching industrial automation,” *Proc. 29th Int. Conf. Cybern. Informatics, KI 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2018.
- [20] C. Thomay, B. Gollan, M. Haslgrübler, A. Ferscha, and J. Heftberger, “The Other Kind of Machine Learning: Modeling Worker State for Optimal Training of Novices in Complex Industrial Processes,” *ICETA 2018 - 16th IEEE Int. Conf. Emerg. eLearning Technol. Appl. Proc.*, pp. 577–582, 2018.
- [21] J. Wolfartsberger and D. Niedermayr, “Authoring-by-Doing: Animating Work Instructions for Industrial Virtual Reality Learning Environments,” pp. 173–176, 2020.
- [22] C. Chrysoulas, A. Homy, and M. Lemac, “Teaching industrial automation concepts with the use of virtual/augmented reality-The IEC 61499 case,” *2018 17th Int. Conf. Inf. Technol. Based High. Educ. Training, ITHET 2018*, pp. 1–6, 2018.
- [23] J. Lacko, “Health safety training for industry in virtual reality,” *Proc. 30th Int. Conf. Cybern. Informatics, KI 2020*, pp. 1–5, 2020.
- [24] E. B. S. Lustosa, D. V. De MacEdo, and M. A. F. Rodrigues, “Virtual simulator for forklift training,” *Proc. - 2018 20th Symp. Virtual Augment. Reality, SVR 2018*, pp. 18–26, 2018.
- [25] A. Mas, I. Ismael, and N. Filliard, “Indy: A virtual reality multi-player game for navigation skills training,” *2018 IEEE 4th VR Int. Work. 3D Collab. Virtual Environ. 3DCVE 2018*, no. March, pp. 1–4, 2019.
- [26] J. M. G. Lopez, R. O. J. Betancourt, J. M. R. Arredondo, E. V. Laureano, and F. R. Haro, “Incorporating virtual reality into the teaching and training of Grid-Tie photovoltaic power plants design,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 21, 2019.
- [27] M. Chiluisa, R. Mullo, and V. Andaluz, “Training in Virtual Environments for Hybrid Power Plant,” vol. 8034, pp. 193–204, 2018.
- [28] H. Kang and J. Kim, “A study on design and case analysis of virtual reality contents

- developer training based on industrial requirements,” *Electron.*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [29] A. Basco, G. Beliz, D. Coatz, and P. Garneró, *Industria 4.0 Fabricando el futuro*. Buenos Aires, 2018.
- [30] J. E. Naranjo, P. Ayala, S. Altamirano, G. Brito, and M. V. Garcia, “Intelligent Oil Field Approach Using Virtual Reality and Mobile Anthropomorphic Robots,” 2018, pp. 467–478.
- [31] V. H. Andaluz, C. Patricio, and N. Jose, “Virtual Environments for Motor Fine Skills Rehabilitation with Force Feedback,” vol. 10850, pp. 94–105, 2018.
- [32] “Unity,” 2020. [Online]. Available: <https://unity.com/es>.
- [33] W. Montalvo, J. K. Bologna, E. Jorda-H, A. Ortiz, and M. V Garcia, “Sistema de realidad aumentada para la enseñanza de calibración e instrumentación industrial,” *Rev. Ibérica Sist. e Technol. Inf.*, vol. 29, p. 15, 2020.
- [34] EMERSON, “AMS Trex Device Communicator,” 2016. [Online]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/hoja-de-datos-del-producto-ams-trex-device-communicator-spanish-es-179112.pdf>.
- [35] EMERSON, “Transmisor de presión Rosemount® 2088,” 2014. [Online]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-2088-transmisor-de-presi%F3n-con-protocolo-seleccionable-hart-revisi%F3n-5-y-7-es-es-78702.pdf>.
- [36] EMERSON, “Transmisor inalámbrico de temperatura Rosemount 648,” 2019. [Online]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-inicio-r%Elpido-rosemount-648-transmisor-de-temperatura-inal%Elmbrico-es-es-74946.pdf>.
- [37] Xataka, “Guía de compra de gafas de realidad virtual: 16 modelos para todas las expectativas, necesidades y presupuestos,” 2020. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/seleccion/guia-compra-gafas-realidad-virtual-16-modelos-para-todas-expectativas-necesidades-presupuestos>.
- [38] J. E. Naranjo, D. G. Sanchez, A. Robalino-Lopez, P. Robalino-Lopez, A. Alarcon-Ortiz, and M. V. Garcia, “A Scoping Review on Virtual Reality-Based Industrial Training,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, p. 8224, Nov. 2020.

- [39] D. Erosa, “Ventajas y diferencias entre Unity, Unreal Engine y Godot,” 2019. [Online]. Available: <https://openwebinars.net/blog/ventajas-diferencias-unity-unreal-engine-godot/>.
- [40] “Difference Between Maya vs 3ds Max vs Blender,” 2020. .
- [41] S. Doolani, L. Owens, C. Wessels, and F. Makedon, “vIS: An Immersive Virtual Storytelling System for Vocational Training,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, p. 8143, Nov. 2020.
- [42] C. Kwon, “The Effect of the Degree of Anxiety of Learners during the Use of VR on the Flow and Learning Effect,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 14, p. 4932, Jul. 2020.
- [43] S. Joshi *et al.*, “Implementing Virtual Reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry,” *Appl. Ergon.*, vol. 90, p. 103286, Jan. 2021.
- [44] L. Díaz-Bravo, U. Torruco-García, M. Martínez-Hernández, and M. Varela-Ruiz, “La Entrevista, Recurso Flexible y Dinámico-The interview, a Flexible and Dynamic Resource,” *Investig. en Educ. médica*, vol. 2, no. 7, pp. 162–167, 2013.
- [45] E. Miranda, “Influencia de los programas televisivos en el Comportamiento violento de los niños y niñas de 04 años de La I.E.I. Kathernine Navarrete Kalinoswki del centro poblado de Tambillo distrito de Urcos 2017,” 2018.
- [46] R. A. S. Turcios, “Student’s t. Uses and abuses,” *Rev. Mex. Cardiol.*, vol. 26, no. 1, pp. 59–61, 2015.
- [47] Universidad Nacional Del Callao Facultad de Ciencias Administrativas, “Desviación Estandar,” 2006, pp. 229–271.
- [48] H. C. Oviedo and A. Campo-Arias, “Aproximación al uso del coeficiente alfade Cronbach,” *Rev. Colomb. Psiquiatr.*, vol. 34, no. 4, pp. 572–580, 2005.
- [49] R. Padilla-Pérez and M. Juárez, *Efectos de la capacitación en la competitividad de la industria manufacturera*, vol. 2007, no. 92. 2007.
- [50] R. S. Kalawsky, “VRUSE - A Computerized Diagnostic Tool: For Usability Evaluation of Virtual Synthetic Environments Systems,” *Appl. Ergonomics*, vol. 30, pp. 11–25, 1999.
- [51] S.-U. Kim, K. Lee, J.-H. Cho, K.-C. Koo, and S. B. Kim, “Toward an Evaluation

- Model of User Experiences on Virtual Reality Indoor Bikes,” *Eur. Sci. J.*, vol. 7881, no. June, pp. 1857–7881, 2017.
- [52] J. E. Naranjo, F. Urrutia Urrutia, M. V. Garcia, F. Gallardo-Cardenas, T. O. Franklin, and E. Lozada-Martinez, “User experience evaluation of an interactive virtual reality-based system for upper limb rehabilitation,” in *2019 6th International Conference on eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2019*, 2019.
- [53] J. E. Naranjo, F. Urrutia Urrutia, M. V. Garcia, F. Gallardo-Cardenas, T. O. Franklin, and E. Lozada-Martinez, “User Experience Evaluation of an Interactive Virtual Reality-Based System for Upper Limb Rehabilitation,” in *2019 Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, 2019, pp. 328–333.
- [54] M. Virvou and G. Katsionis, “On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE,” *Comput. Educ.*, vol. 50, no. 1, pp. 154–178, 2008.
- [55] A. G. Sutcliffe and K. D. Kaur, “Evaluating the usability of virtual reality user interfaces,” *Behav. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 6, pp. 415–426, 2000.
- [56] D. Fitzgerald, D. Kelly, T. Ward, C. Markham, and B. Caulfield, “Usability evaluation of e-motion: A virtual rehabilitation system designed to demonstrate, instruct and monitor a therapeutic exercise programme,” *2008 Virtual Rehabil. IWVR*, pp. 144–149, 2008.

5.4. ANEXOS

Producción científica resultante de esta investigación

Nº	Título	Año	Revista/congreso	DOI	Base de datos	Cuartil (Q)
1	A scoping review on virtual reality-based industrial training.	2020	Applied Sciences (Switzerland)	https://doi.org/10.3390/app10228224	Scopus	1