



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE  
AUTOMATIZACIÓN**

Tema:

---

**“SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL ENTRENAMIENTO DE ESTUDIANTES EN EL MANEJO DE INSTRUMENTACIÓN HART DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”**

---

Proyecto de Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnología de la Información y Sistemas de Control

**AUTOR:** Jenniffer Kimberley Bologna Coronel

**TUTOR:** Dr. Marcelo Vladimir García Sánchez, Mg.

Ambato – Ecuador

Enero 2020

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL ENTRENAMIENTO DE ESTUDIANTES EN EL MANEJO DE INSTRUMENTACIÓN HART DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, de la señorita Bologna Coronel Jennifer Kimberley, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los tramites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Enero, 2020

EL TUTOR




Dr. Marcelo Vladimir García Sánchez.

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL ENTRENAMIENTO DE ESTUDIANTES EN EL MANEJO DE INSTRUMENTACIÓN HART DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Enero, 2020



-----  
Bologna Coronel Jenniffer Kimberley

CC: 0503617458

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad

Ambato Enero, 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "J. Bologna", is positioned above a horizontal dashed line.

Bologna Coronel Jenniffer Kimberley

CC: 0503617458


## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Franklin Salazar Mg. , Ing. Santiago Altamirano Mg., revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA PARA EL ENTRENAMIENTO DE ESTUDIANTES EN EL MANEJO DE INSTRUMENTACIÓN HART DE LA FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, presentado por la señorita Jenniffer Kimberley Bologna Coronel, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



.....  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



.....  
Ing. Franklin Salazar Mg.

DOCENTE CALIFICADOR



.....  
Ing. Santiago Altamirano Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*Con mucho amor y agradecimiento dedico este trabajo a mis padres Carlos Bologna y Carolina Coronel, que para mí son la representación del amor más bonito. Me formaron con paciencia y mucho amor y me motivaron constantemente a alcanzar mis anhelos. Todo lo que soy ahora es gracias a su apoyo incondicional y todo lo que hago es porque quiero retribuirles todo su esfuerzo y dedicación algún día.*

*A mi mami Angelita Cárdenas por siempre estar pendiente de mi felicidad acompañándome en cada logro*

*Los amo*

## AGRADECIMIENTO

*Gracias a Dios por mi vida, por la vida de mis padres y mis hermanos, por mi familia unida y bendecida, por darme fortaleza cada día, por darme la oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que más amo y por esta meta cumplida.*

*Gracias a mis padres por motivarme a cumplir mis sueños, a mi papi por cada consejo, por darme todo desde chiquita, y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida*

*A mi mami por estar dispuesta a acompañarme cada agotadora noche de estudio, por preocuparse de mi felicidad e integridad, por estar pendiente de si comía, por despertarme cada mañana, no hay más madre que Ud.*

*A mis hermanos por llenar mis días de alegría, no imagino que sería de mí sin ustedes.*

*A mi tutor, Dr. Marcelo García, por compartir sus conocimientos y brindarme una excelente guía en el desarrollo del proyecto, para mí es un ejemplo a seguir*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO .....	16
1.1 Antecedentes Investigativos.....	16
1.1.1 Contextualización del problema.....	16
1.1.2 Estado del arte.....	17
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	19
Introducción a la Realidad Virtual .....	19
Realidad virtual .....	20
Etapas de desarrollo de un sistema de RV .....	21
Realidad virtual para entrenamiento .....	22
VR inmersiva .....	22
Realidad aumentada .....	23
Realidad Aumentada y Educación .....	24
Protocolo de comunicación de campo HART.....	24
1.2 Objetivos .....	26
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA .....	27
2.1 Materiales.....	27
2.1.1 Comunicador de campo TREX .....	27
2.1.2 Dispositivos HART .....	28
2.1.3 Hardware de realidad aumentada .....	30
2.1.4 Software de desarrollo de entornos virtuales .....	34
2.1.5 Software de modelado 3D (Blender).....	37
2.1.6 Visual Studio Tools para Unity.....	38
2.2 Métodos.....	38
2.2.1 Modalidad de la investigación .....	38



2.2.2 Población y Muestra.....	39
2.2.3 Recolección de Información .....	41
2.2.4 Procesamiento y Análisis de Datos .....	41
2.2.5 Desarrollo del proyecto .....	41
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	43
3.1.1 Desarrollo de la propuesta.....	43
Etapa 1: Definición del sistema. ....	43
Etapa 2: Diseño del sistema.. ....	52
Etapa 3: Desarrollo de interfaz y recursos multimedia .....	71
Etapa 4: Evaluación y Validación. ....	77
3.1.2 Discusión de Resultados .....	85
<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>
4.1 Conclusiones .....	100
4.2 Recomendaciones.....	102
4.3 Trabajos Futuros.....	103
<b>C. MATERIALES DE REFERENCIA.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>
Anexo A:Manual de Integración de Meta 2 a Unity 3D .....	111
Anexo B:Integración de interacciones de usuario en la escena .....	114
Anexo C:Implementación de las Interfaces Virtuales.....	117
Anexo D:Manual de Usuario .....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Matriz de dispositivos de Realidad Aumentada .....	30
Tabla N°2 Matriz de selección de visor de realidad aumentada .....	33
Tabla N°3 Software de desarrollo de RV.....	34
Tabla N°4 Matriz de selección del software de desarrollo de RV .....	36
Tabla N°5 Población objeto de estudio.....	40
Tabla N°6 Datos de la muestra .....	40
Tabla N°7 Requisito del Usuario (Despliegue de contenidos).....	43
Tabla N°8 Requisito del Usuario (Calidad Gráfica) .....	43
Tabla N°9 Requisito del Usuario (Acceso al sistema).....	44
Tabla N°10 Requisito del Usuario (Interfaz) .....	44
Tabla N°11 Requisito del Usuario (Idioma) .....	44
Tabla N°12 Requisito Funcional (Visión general de los dispositivos) .....	45
Tabla N°13 Requisito Funcional (Manipulación de modelos 3D).....	45
Tabla N°14 Requisito Funcional (Instrucciones de conexión) .....	45
Tabla N°15 Requisito Funcional (Configuración de las variables del proceso) .....	45
Tabla N°16 Requisito Funcional (Evaluación y retroalimentación).....	46
Tabla N°17 Caso de Uso (Inicio de la aplicación).....	47
Tabla N°18 Caso de Uso (Interactuar con la interfaz) .....	47
Tabla N°19 Caso de Uso (Elegir acción).....	47
Tabla N°20 Caso de Uso (Acceder a datos).....	48
Tabla N°21 Caso de Uso por actor (Interactuar con el modelo 3D) .....	49
Tabla N°22 Caso de Uso por actor (Seleccionar dispositivo HART).....	49
Tabla N°23 Caso de Uso por actor (Realizar entrenamiento).....	50
Tabla N°24 Caso de Uso por actor (Conectar dispositivos) .....	50
Tabla N°25 Caso de Uso por actor (Configurar parámetros).....	50
Tabla N°26 Caso de Uso por actor (Visualizar Cambios) .....	51
Tabla N°27 Caso de Uso por actor (Realizar evaluación) .....	51
Tabla N°28 Caso de Uso por actor (Ver Resultados) .....	52
Tabla N°29 Caso de Uso por actor (Realizar encuesta).....	52
Tabla N°30 Descripción de las clases del módulo Visión General.....	58
Tabla N°31 Descripción de las clases del Módulo de Entrenamiento (Conexión) ...	60
Tabla N°32 Descripción de las clases de Configuración Guiada (Presión).....	61

Tabla N°33 Descripción de las clases de Configuración Manual (Presión) .....	63
Tabla N°34 Descripción de las clases del Módulo de Entrenamiento (Conexión) ....	65
Tabla N°35 Descripción de las clases de Configuración Guiada (Temperatura).....	67
Tabla N°36 Descripción de las clases de Configuración Manual (Temperatura).....	69
Tabla N°37 Descripción de las clases del módulo de Evaluación .....	70
Tabla N°38 Cuestionario de evaluación de Trans. de Presión (Pregunta 1) .....	81
Tabla N°39 Cuestionario de evaluación de Trans. de Presión (Pregunta 2) .....	82
Tabla N°40 Cuestionario de evaluación de Trans. de Temperatura (Pregunta 1).....	82
Tabla N°41 Cuestionario de evaluación de Trans. de Temperatura (Pregunta 2).....	83
Tabla N°42 Cuestionario de evaluación (fase de configuración).....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Continuo Virtual .....	23
Figura N°2: Dispositivo Comunicador campo Trex. ....	27
Figura N°3: Diagrama de bloques Rosemount 2088 .....	28
Figura N°4: Diagrama de conexión del AMS Trex y Rosemount 648 .....	29
Figura N°5: Meta 2 development kit.....	34
Figura N°6: Diagrama de caso de uso General del sistema .....	46
Figura N°7: Diagrama de caso por actor (Perspectiva de Usuario) .....	48
Figura N°8: Arquitectura del sistema de entrenamiento de RA.....	53
Figura N°9: Diseño de componentes de aplicación en Unity .....	55
Figura N°10: Diagrama de componentes de la aplicación de RA.....	56
Figura N°11: Diagrama de clases del Módulo Visión General.....	58
Figura N°12: Diagrama de clases del Módulo de Entrenamiento-Conexión.....	59
Figura N°13: Diagrama de clases Configuración Guiada-Transmisor de Presión.....	61
Figura N°14: Diagrama de clases Configuración Manual-Transmisor de Presión....	63
Figura N°15: Diagrama de clases del Módulo de Entrenamiento-Conexión.....	65
Figura N°16: Diagrama de clases Configuración Guiada-Transmisor Temperatura	66
Figura N°17: Diagrama de clases Configuración Manual-Transmisor Temperatura	68
Figura N°18: Diagrama de clases de Modulo de evaluación .....	70
Figura N°19: Diseño de los elementos 3D para interfaz de entrenamiento .....	72
Figura N°20: Interfaces principales de menús de opciones de la aplicación .....	73
Figura N°21: Interfaces del módulo de entrenamiento-Conexión (presión).....	74
Figura N°22: Interfaces del módulo de entrenamiento-Configuración (presión) .....	75
Figura N°23: Interfaces del módulo de entrenamiento-Configuración (presión) .....	76
Figura N°24 Interfaces principales de módulo de evaluación .....	77
Figura N°25 Diagrama de actividades de la aplicación .....	79
Figura N°26 Estudiantes usando la aplicación de RA. ....	86
Figura N°27 Trabajadores usando la aplicación de RA.....	87

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica N°1 Pregunta 1 del módulo de evaluación.....	88
Gráfica N°2 Pregunta 2 del módulo de evaluación.....	89
Gráfica N°3 Pregunta 3 del módulo de evaluación.....	90
Gráfica N°4 Pregunta 4 del módulo de evaluación.....	91
Gráfica N°5 Pregunta 5 del módulo de evaluación.....	92
Gráfica N°6 Pregunta 6 del módulo de evaluación.....	93
Gráfica N°7 Tiempo de respuesta por pregunta.....	93
Gráfica N°8 Evaluación de funcionalidad de la aplicación (trabajadores) .....	95
Gráfica N°9 Evaluación de funcionalidad de la aplicación (estudiantes).....	97

## RESUMEN EJECUTIVO

Los equipos programadores de dispositivos industriales permiten realizar un diagnóstico preciso del funcionamiento de los equipos de campo y de los segmentos de comunicación, sin embargo es fundamental crear nuevas estrategias de aprendizaje para el correcto uso de estos dispositivos. Así pues se considera a la RV (Realidad Virtual) como una herramienta de entrenamiento en el campo industrial, porque brinda experiencias virtuales que son imposibles en un entorno real, en términos de seguridad y costo.

Por estas razones, la investigación realizada presenta un sistema de realidad aumentada que brinda a los usuarios una experiencia más real con complementos virtuales, para el entrenamiento en el manejo de instrumentación HART, utilizando la plataforma de desarrollo de entornos virtuales Unity 3D, que ofrece un enfoque en el que las demandas modernas de capacitación y los requisitos necesarios que debe cumplir para la utilización de dispositivos de campo, se pueden integrar en una sola aplicación, ofreciendo una tremenda ventaja para los usuarios, ya que pueden operar equipos costosos en su propia computadora en un entorno que perdona los errores.

La validación del sistema se realiza mediante un módulo de evaluación, que le permite al usuario determinar el nivel de entrenamiento y construir de manera autónoma su propio aprendizaje, obteniendo respuestas positivas que evidencian que alrededor del 82% de los individuos evaluados tanto profesionales como estudiantes percibe un aprendizaje satisfactorio luego del entrenamiento, y una mejora del tiempo empleado en capacitación de un 55%. Por lo tanto el sistema propuesto es capaz de optimizar el proceso de entrenamiento y capacitación del usuario, en tiempo real, de manera eficiente, y con alto nivel de inmersión y comprensión del contenido.

**Palabras Claves:** Realidad Aumentada, Unity 3D, Dispositivos HART, Entrenamiento Industrial.

## ABSTRACT

The use of problem-detecting devices in the industry is increasingly necessary to provide intrinsically safe environments within processes. Industrial device programmers allow technicians to solve problems while they continue working, making an accurate diagnosis of the operation of equipment and communication segments, however, it's essential to create new learning strategies for the correct use of these devices. So VR (Virtual Reality) is considered as a training tool in the industrial area, because it provides virtual experiences that are impossible in a real environment, in terms of safety and cost.

For these reasons, the research carried out presents an augmented reality system that provides users a more real experience with virtual add-ons, for training in the HART instrumentation handling, using the Unity 3D virtual environment development platform, which offers an approach where modern training demands and the necessary requirements that must be done to the use of field devices can be integrated into a single application, offering a tremendous advantage for new engineers because they can operate expensive equipment on their own computer in an environment that forgives mistakes.

System validation is done through an evaluation module, which allows the user to determine the level of training and autonomously build their own learning, obtaining positive responses that show that about 82% of the people evaluated, both professionals and students perceive satisfactory learning after training, and an improvement of the time spent in training of 55%. So that, the proposed system is capable of improving the process of user training, in real time, efficiently, and with a high level of immersion and content understanding.

**Keywords:** Augmented Reality, Unity 3D, HART Devices, Industrial Training.

## **CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1 Contextualización del problema**

En la actualidad, la clave para el éxito de una organización, se centra en sus miembros, ya no solo en el capital como se hacía en la era industrial. En los países latinoamericanos, representados por economías cada vez más accesibles e integradas a grandes cadenas de producción, el mejoramiento de la competitividad es fundamental para lograr mayores niveles de desarrollo económico y social[1]. Los empleados a menudo son responsables de la mayor parte del trabajo a realizar, desde tareas de gestión de la calidad de los productos y eventos, hasta tareas de producción y de planta como la puesta en marcha de equipos, mantenimiento, y de la monitorización y el seguimiento de la condición de los dispositivos en el campo que es una parte esencial de la operación diaria de la planta.

La utilización de instrumentos inteligentes para la detección de problemas en la industria es cada vez más necesaria para evitar paros de producción o accidentes laborales, y brindar ambientes intrínsecamente seguros dentro de los procesos. Sin embargo, es bueno tener en cuenta ¿cuáles son los efectos de falta de formación y entrenamiento de los empleados en el manejo de estos instrumentos?, cuando el personal no está capacitado, las acciones y protocolos que deberían seguir no están claramente definidas, creando un ambiente de conflicto y confusión. Por ello la formación del personal se ha convertido es una necesidad, para reducir riesgos y prevenir daños al equipo y a los trabajadores. Las industrias, están en busca de potentes herramientas innovadoras para el aprendizaje y capacitación[2].

En los últimos años las tecnologías de la información se han hecho presentes en los diversos campos de la ingeniería y las áreas de capacitación y aprendizaje no han sido una excepción. Se han realizado varios estudios sobre las ventajas de los entornos virtuales para la capacitación, debido a su relación con el concepto de aprendizaje experiencial[3]; La realidad virtual ofrece muchos recursos para dicha capacitación e



implica menores costos y riesgos tanto de personal como equipos, no se necesitan equipos físicos (a menudo costosos), posibilidad de entrenar en equipos aún no desarrollados[4], además el diseño de la interactividad permite el aprendizaje activo, proporcionando a los usuarios seguridad y sentido de control, ya que pueden repetir el entrenamiento tantas veces como sea necesario y progresar a su propio paso, en fin acciones que no son posibles en el mundo real.

En el Ecuador la realidad virtual es bastante ajena a los avances tecnológicos y por ende nos cuesta acostumbrarnos a entender como esta herramienta aportaría a la capacitación. Sin embargo expertos afirman que el potencial de los mundos virtuales 3D está arraigado en la posibilidad de ofrecer más procesos de aprendizaje centrados en los estudiantes, lo que requiere que los estudiantes estén más comprometidos confiando en actividades de interacción[5].

Como estudiantes de ingeniería industrial, debemos poseer ciertas competencias para garantizar el éxito en el ámbito profesional. De la problemática descrita surge la necesidad de diseñar un innovador sistema de Realidad Aumentada para aplicaciones de formación industrial, el cual permite reproducir imágenes creadas por ordenador para visualizar interactivamente un instrumento industrial con secuencias virtuales diseñadas para entrenar a un usuario en la puesta en marcha de instrumentos HART ya que la experimentación le permitirá al usuario adquirir habilidades que utilizaran en el lugar de trabajo real, familiarizándose con el uso del instrumento, tanto en la función que cumple, como en sus principios y procedimientos de operación.

### **1.1.2 Estado del arte**

Dado que el propósito de un sistema de entrenamiento es ayudar a los usuarios a adquirir habilidades que utilizaran en el lugar de trabajo real, es importante que la simulación de escenas realistas del espacio de trabajo real proporcione las mismas interfaces de trabajo utilizadas en una situación real y hacerlos encajar en los métodos de entrenamiento. Basado en esta premisa se analizaron trabajos que involucran entrenamiento, cuyo foco están en el área Industrial.

Ballesteros en su estudio Metodología para la construcción de objetos virtuales de aprendizaje, apoyada en realidad aumentada[6], proporciona una introducción a la

tecnología de realidad virtual (VR) y sus posibilidades para la capacitación. Se centra en la inmersión como el valor añadido clave de la realidad virtual, y analiza las variables cognitivas conectadas a la misma, cómo se genera en entornos sintéticos, y cuáles son sus beneficios. Basada en esta perspectiva se pueden determinar los diversos requisitos de un Entorno Virtual para Entrenamiento (VET) para diferentes aplicaciones.

En cuanto al desarrollo de entornos virtuales a nivel industrial, existen trabajos en diferentes áreas como en la investigación Nguyen y Meixner[7], presentan un entorno de realidad aumentada gamificada para cumplir con una tarea de ensamblaje industrial, enfocado en la participación del usuario donde este es representado por un avatar, los cuales logran realizar la operación de modo semejante al mundo real. Al igual que en el entorno propuesto esta aplicación consta de una interfaz 3D y se generaría aprendizaje debido a la participación activa y protagonista del usuario en un sistema de alta individualización que se adapta a su ritmo de aprendizaje.

Por otro lado Galvan-Bobadilla et al [8], presentan la aplicación de la tecnología de realidad virtual a la capacitación de operadores en sistemas de energía eléctrica, y cómo esto puede aumentar la efectividad de la formación profesional en el campo de la industria de la energía, orientado a miembros del personal, que se ocupa del mantenimiento y diagnóstico de máquinas complejas como transformadores y generadores, al igual que en el proyecto propuesto cualquier profesional, está en capacidad de utilizar la aplicación y entrenarse en el manejo de dispositivos de campo, permitiéndole solucionar los problemas mientras los equipos continúan funcionando, realizando un diagnóstico preciso del funcionamiento de los mismos.

Peng et al. [9], diseñaron un sistema de capacitación inteligente para la operación y mantenimiento de subestaciones de la red eléctrica basado en realidad aumentada, en donde el personal interactuaba con escenarios realistas recreados por la realidad aumentada de manera práctica e intuitiva, demostrando que gracias al uso de dispositivos de desarrollo de realidad aumentada se tiene una experiencia más interactiva e inmersiva que es lo que se quiere enfatizar en el proyecto propuesto.

Finalmente Xie et al.[10], diseñaron un simulador de entrenamiento para soldadura por arco metal-gas (GMAW) llamado Onew360. Este sistema consta de componentes de

hardware de soldadura estándar, una PC, una pantalla montada en la cabeza, un sistema de seguimiento para la antorcha y la cabeza del usuario, y altavoces de audio externos, y el modelo de simulación que utiliza un método de modelo simple para simular la geometría de la soldadura en función de la orientación y la velocidad de la antorcha de soldadura para que el sistema produzca una experiencia de soldadura realista, interactiva e inmersiva.

El sistema virtual propuesto provee la simulación de equipos netamente industriales utilizando una plataforma de desarrollo de entornos de VR interactiva para aplicaciones de capacitación y educación industrial muy útil y completa, donde mediante un editor visual se podrá importar modelos 3D, texturas, etc., para después ir trabajando en ellas. El sistema posee un nivel de inmersión alto, debido a que usando un casco RVI (Realidad Virtual Inmersiva), podrá obtener una mayor interacción con el entorno así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

La implementación de un sistema de realidad aumentada para el entrenamiento en el manejo de instrumentación HART aborda la temática que se detalla a continuación:

#### **Introducción a la Realidad Virtual**

En 1986, Jaron Lanier, acuñó el término Realidad Virtual (RV), definiéndola como una tecnología en rápido crecimiento que utiliza el poder de las computadoras para simular entornos y situaciones del mundo real e imaginarios con un alto grado de realismo e interactividad[11], además tiene la característica de brindar una gran experiencia sensorial al usuario, y se diferencia de la simulación tradicional en que es más flexible y se basa menos en el objeto físico al momento de modelar la simulación[12].

Es así que, la aplicación de la realidad virtual abarca áreas como: fabricación, construcción, tele operación, operación militar, entre otras [8]; a través del cual, el usuario puede interactuar, convirtiéndolo en un medio de aprendizaje más natural que un documento escrito, planos o videos y en una ciencia muy extensa y competente que motiva a los investigadores a continuar en el desarrollo de la RV.

## **Realidad virtual**

La RV es una experiencia sintética y dinámica mediante la cual se pretende que el usuario sustituya la realidad física por un entorno ficticio generado por ordenador[13]. Su principal característica es la interacción en tiempo real, dando respuesta a las órdenes de manipulación de un usuario, es decir que el ordenador es capaz de captar la acción de entrada del usuario y generar una respuesta instantánea en el mundo virtual. Así quien esté utilizando el simulador, verá reflejados en la pantalla los cambios de acuerdo a los comandos que haya realizado[14].

Ciertamente los sistemas de realidad virtual de forma general y según el efecto que deseen obtener se pueden dividir en dos grandes grupos aunque en algunos aspectos son complementarios e indistinguibles, estos son los sistemas inmersivos y sistemas no inmersivos[13]. Este proyecto se enfoca principalmente sobre la realidad virtual visualmente inmersiva, del tipo que hace que su visión del mundo cambie cuando mueve la cabeza.

Para este estudio se define un sistema de realidad virtual como aquel que cumple con tres características básicas que son la inmersión que permite al usuario ingresar y percibe los estímulos del mundo virtual; la interacción en la cual como su nombre lo describe, el usuario interacciona con el mundo virtual a través de dispositivos de entrada, de forma que manipula los objetos en él y recibe la respuesta a través de sus sentidos; y finalmente la imaginación pues a través del mundo virtual se puede concebir y percibir realidades que no existen, de manera parecida a como se hace con la creación artística[15].

Para el desarrollo de un sistema de realidad virtual se debe diseñar la arquitectura del mismo, para la cual es necesario tomar en cuenta diferentes componentes que la conforman, como son los dispositivos de salida que realimentan los equipos sensoriales del usuario y proporcionan información del mundo virtual con respuestas visuales, auditivas y táctiles, como por ejemplo las Pantallas Montada en la Cabeza (HMD); también están los dispositivos de entrada que permiten realizar el seguimiento del usuario cuando interacciona con el entorno virtual.

Otro componente muy importante es el motor de realidad, que es el que alberga el software que creará el sistema; como un cliente-servidor, donde el servidor se encarga

de la sincronización de las imágenes y de la comunicación con los usuarios que visualizan el mundo virtual, mientras el cliente contendrá el mundo virtual, y se comunicará con el servidor. Y finalmente el software de Realidad Virtual que está diseñado para el modelado de objetos virtuales, el cual incluye drivers de entrada/salida (I/O), lenguajes de programación, librerías y demás sistemas que se emplean para la implementación de las interfaces del mundo virtual.

### **Etapas de desarrollo de un sistema de RV**

El desarrollo de un sistema de RV esta basado en etapas fundamentadas en ingeniería de software. Una vez que se tiene los requisitos del sistema y la arquitectura del software o diseño de la interfaz de usuario, estas son las etapas de desarrollo a seguir[16]:

1. **Recopilación de información:** Dependiendo del campo de aplicación del sistema, lo primero que se debe hacer es determinar el número de objetos que formaran parte del ambiente virtual y su complejidad.
2. **Modelado 3D:** Mediante el uso de Softwares de diseño CAD. Todos los objetos que forman parte del sistema son diseñados y representados a escala en 3D.
3. **Creación de escenas:** En esta etapa los modelos 3D previamente elaborados son integrados en los escenarios o interfaces virtuales.
4. **Animación:** De acuerdo con las especificaciones del objeto y de requerirlo, se elaboran las animaciones propias de cada modelo en 3D.
5. **Elaboración de un guión:** Contiene instrucciones y explicaciones para la interacción usuario-sistema.
6. **Interacción y Audio:** Se incluye sonidos a la escena de acuerdo a los objetos agregados También se desarrolla la interacción entre el usuario y el sistema, y así, de acuerdo a las acciones del mismo, se programa el comportamiento de la escena, de tal modo que los usuarios pueden percibir las reacciones del ambiente a medida que interaccionan.
7. **Desarrollo de la Interfaz:** Integra la escena virtual, los menús, las instrucciones y explicaciones, de tal modo que la interacción de los usuarios es guiada todo el tiempo.

## **Realidad virtual para entrenamiento**

Aunque la realidad virtual puede ser aplicada en diferentes campos tales como el diseño, creación de juegos o películas, simulación de procesos, visualización, etc., también permite la implementación y creación de diferentes contextos de aprendizaje que la hace idónea como herramienta de entrenamiento.

Una de las áreas donde ya se observa un impacto importante es el entrenamiento de operarios, donde basados en una combinación de elementos de simulación computacional con técnicas de realidad virtual se puede recrear ambientes y simular el comportamiento de equipos con un alto grado de realismo[17].

Los beneficios de utilizar la RV para entrenamiento es permite el aprendizaje activo, y provee a los usuarios el sentido de control, ya que pueden utilizar la aplicación tantas veces como lo necesiten y progresar a su propio paso. Además se ha evidenciado que los ambientes animados e interactivos son frecuentemente más atractivos a los aprendices que los manuales con fotos lo cual juega un rol positivo en el aprendizaje.

En lo que respecta a las compañías que dedican gran cantidad de recursos al entrenamiento de su personal, se ha observado que lo sistemas de RV para este fin atacan el problema de alto costo del entrenamiento, debido a gastos de viaje y estancias de personal que tiene que moverse de su lugar de trabajo a los centros de Capacitación, además ayuda a incrementar el limitado número de personas entrenadas.

## **VR inmersiva**

La realidad virtual inmersiva puede ser definida por el tipo de tecnología que utiliza y los efectos que esta genera. El principal efecto es colocar a una persona en un entorno simulado que se ve y se siente de cierta forma como el mundo real. De esta manera en este entorno sintético el usuario puede interactuar de muchas formas, usando cascos RVI y otros dispositivos, y obtiene la percepción de diferentes estímulos que incrementan la sensación de realidad[18].

En la realidad virtual inmersiva, los objetos parecen sólidos pues se pueden recoger, examinar desde todos los lados, navegar, escuchar, tocar, y explorar de muchas maneras sensoriales[19]. Sin embargo la principal limitación para todos estos efectos está en la tecnología computacional que los soporta.

## Realidad aumentada

La realidad aumentada (RA) se basa en la observación del mundo real aumentado a través de un dispositivo tecnológico, con información generada por un computador[20], es decir es una de las formas en las que se pueden relacionar el mundo real y el mundo virtual en un mismo contexto visual a través de la tecnología, dentro del continuo virtual o también llamada “realidad mixta” que en sus posiciones extremas tiene el mundo real y virtual y en el medio se encuentra la realidad aumentada, entonces cuando la representación es más cercana al mundo real se puede percibir que el sistema es mejorado por un conjunto de activos digitales y por el otro lado cuando predomina la inmersión en un entorno virtual aunque aparezcan imágenes del mundo real, se refiere a virtualidad como se observa en la figura N°1 [21].



Figura N°1: Continuo Virtual

Esta tecnología está soportado por diferentes pilares según Buitrago[22],el primero se basa en la combinación de objetos reales y virtuales en un entorno real; en el cual , el sistema está basado en una apreciación de la realidad a la que se le superpone, al menos, un objeto virtual. Otro pilar plantea que estos elementos deben combinarse en tiempo real, y así, el resultado puede ser una imagen bidimensional, pero la integración de los elementos virtuales debe hacerse con base en un mundo tridimensional. Estas características permiten que el observador perciba, en la realidad que lo rodea, nuevos elementos en 3D que puede manipular gracias a la proyección de dispositivos de visión de Realidad Aumentada[6].

Con todo ello, se puede afirmar que con la Realidad Aumentada se consigue asistir y mejorar la interacción entre los humanos y el mundo real y posibilitando el acceso a usuarios diversos y no especializados, dado que los objetos de la vida cotidiana se convierten en verdaderos objetos interactivos[23].

## **Realidad Aumentada y Educación**

Dentro de la incorporación de nuevas herramientas en los ambientes de capacitación y entrenamiento, la RA es una de las más destacadas e importantes tecnologías desarrolladas para este fin[24].

Actualmente existen algunas aplicaciones de Realidad Aumentada que se utilizan para la enseñanza de contenidos. De manera general, los contenidos que se han abordado utilizando esta tecnología son aquellos en que el usuario requiere la capacidad de manejar un alto nivel de abstracción para comprenderlos[19].

Esto se encuentra relacionado con las características que tiene la RA como tecnología, particularmente de generar un entorno inmersivo e interactivo; sensación que para los usuarios tiene importantes consecuencias en contextos educativos digitales[25], [26].

En esencia los usuarios podrían aplicar su conocimiento adquirido en nuevos contextos o situaciones, generándose un fenómeno de transferencia de contenidos o de aprendizaje. Además debido a su alta interactividad como tecnología y metodología, se adapta muy bien a paradigmas como el Aprendizaje Basado en Problemas o la Enseñanza Orientada a la Acción[27].

## **Protocolo de comunicación de campo HART**

HART es un estándar de comunicación para equipos de campo, diseñado para aplicaciones de medición y control de procesos industriales. Este estándar transforma la señal analógica de 4–20 mA en una señal digital modulada apta para uso industrial[28]. Su principal ventaja es que combina la transmisión analógica de medidas, y la comunicación digital simultánea con transmisión bidireccional, lo que permite transferir información de diagnóstico, mantenimiento y proceso de los equipos de campo a los sistemas de orden superior. Juegos de parámetros estandarizados permiten operar todos los dispositivos HART en sistemas con equipos de varios fabricantes. La habilidad de llevar esta información digital agregada es la base de los beneficios clave de HART.

Alrededor de cuarenta elementos de información son estándar en cada tipo dispositivo HART, entre ellos los más destacados son el estado del dispositivo y alertas de diagnóstico, la variable de proceso y unidades de medida, la corriente de lazo y



porcentaje de rango, además de parámetros básicos de configuración e información del fabricante y etiquetas del dispositivo.

Bajo estas opciones de configuración, los dispositivos HART que son analizados pueden decir si están configurados correctamente y si están siendo operados correctamente, permitiendo eliminar la necesidad de las revisiones de rutina y ayudando a detectar condiciones de falla antes de que estas provoquen un mayor problema en el proceso.

Entre las características más importantes de este protocolo está el hecho de que HART tiene una eficacia probada en terreno, es muy sencillo de usar y provee una muy efectiva comunicación digital de dos vías. Además el tipo de comunicación que tiene es Maestro-Esclavo lo que significa que durante operación normal, en cada esclavo o equipo de campo, la comunicación es iniciada por un equipo de comunicación tipo maestro, en donde el maestro primario es generalmente un controlador de lógica programable (PLC) o un Computador Personal (PC). Los dispositivos que trabajan bajo este protocolo utilizan comunicación bidireccional pues la información digital puede viajar en ambas direcciones, así un transmisor que tradicionalmente solo envía una variable de proceso al host, ahora también puede recibir información como ajustes de configuración[29]

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto es desarrollar un sistema de realidad aumentada para el entrenamiento de estudiantes en el manejo de instrumentación HART de la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, mediante la selección del software para diseño y programación de escenarios virtuales que se adapte a los requerimientos del proyecto, seguido de la conceptualización y diseño de la arquitectura hardware y software del sistema para su uso en ambientes de Realidad Aumentada aplicado a la puesta en marcha de instrumentación HART, para finalmente realizar la validación del sistema diseñado e implementado.

Para poder llevar a cabo el objetivo especificado anteriormente deben realizarse las siguientes actividades:

1. Definir los requisitos generales del sistema a desarrollar, como forma de operación, nivel de interacción requerida, y funcionamiento.
2. Realizar un cuadro comparativo de selección.
3. Seleccionar e interconectar componentes de hardware según los requisitos de funcionalidad del sistema de entrenamiento virtual.
4. Diseñar y representar a escala 3D todos los objetos que forman parte del sistema mediante un software de diseño CAD.
5. Diseñar los escenarios de la aplicación integrando los modelos 3D y los menús, las instrucciones y explicaciones, de tal modo que la interacción de los usuarios es guiada todo el tiempo.
6. Agregar los controladores del equipo de realidad aumentada que proporcionan una interfaz para poder utilizar el equipo
7. Escoger una muestra de estudiantes que prueben la aplicación
8. Determinar el nivel de satisfacción con respecto al sistema presentado a los participantes.

En definitiva las actividades propuestas son concretas y medibles, para poder alcanzar el objetivo general de forma exitosa.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Los principales recursos utilizados a lo largo del proyecto desde la conceptualización hasta el desarrollo, son descritos a continuación:

#### 2.1.1 Comunicador de campo TREX

El comunicador de dispositivos AMS Trex, forma parte de la línea de dispositivos portátiles de la corporación Emerson, la cual brinda servicios de ingeniería para una amplia gama de mercados industriales, comerciales y de consumo. Los técnicos equipados con un Trex no perderán tiempo llevando los dispositivos de nuevo a la tienda para el análisis o la reconfiguración, ya que el dispositivo permite detectar los problemas de los equipos HART y se pueden diagnosticar en el campo mientras que estos están instalados, de manera que agiliza las actividades en el campo, permitiendo a los técnicos aislar y reparar problemas mientras los dispositivos continúan funcionando[30].

En términos generales con un Trex Communicator, problemas simples se pueden tratar en el momento, evitando investigaciones del problema innecesarias, y potencialmente destructiva, e invasivas. Con el portátil correcto, los equipos de mantenimiento experimentarán ahorros significativos durante las horas de trabajo y la tranquilidad de saber que los problemas serán arreglados rápidamente y correctamente desde la primera vez. En la figura N°2 se muestra el dispositivo comunicador campo Trex.



**Figura N°2:** Dispositivo Comunicador campo Trex.

### 2.1.2 Dispositivos HART

#### Transmisor de presión Rosemount 2088

El transmisor Rosemount 2088 es un dispositivo que utiliza el protocolo de comunicación HART, éste permite realizar mediciones de presión manométrica (GP) y presión absoluta (AP). El Rosemount 2088 utiliza tecnología de sensor piezoresistivo para mediciones AP y GP.

Los componentes principales del Rosemount 2088 son el módulo sensor y la carcasa de la electrónica. El módulo del sensor contiene el sistema de sensor lleno de aceite y la electrónica del sensor.

El diagrama de bloques básico del Rosemount 2088 se muestra en la Figura N°3.

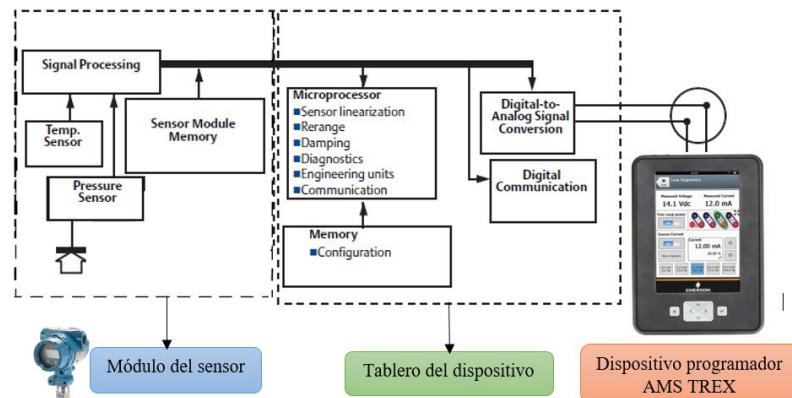


Figura N°3: Diagrama de bloques Rosemount 2088

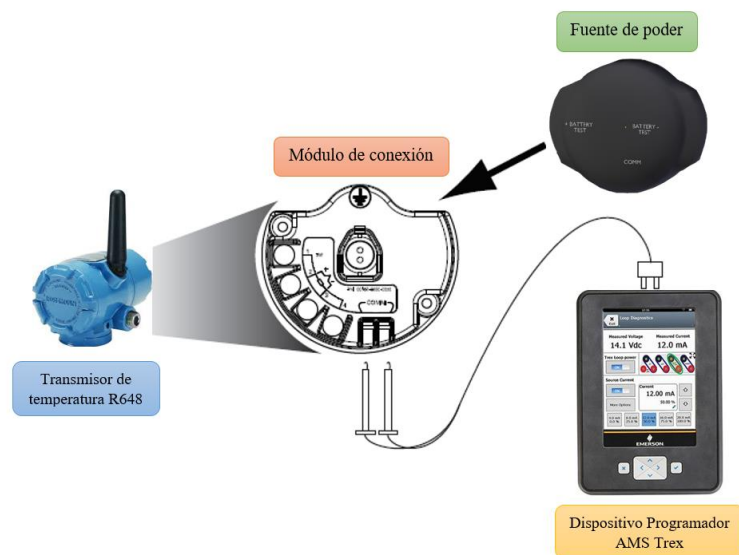
De esta forma cuando se aplica presión al diafragma aislante, el aceite desvía el sensor que cambia su señal de voltaje. Entonces mediante el procesamiento de la señal, esta cambia a una señal digital, que es tomada por el microprocesador el cual calcula la salida correcta del transmisor. Luego la señal es enviada al convertidor D/A, que convierte la señal otra vez a la señal analógica, luego superpone la señal HART sobre la salida de 4-20 mA.

El transmisor cuenta con un indicador LCD que muestra el valor de salida y mensajes de diagnóstico abreviados. Se proporciona una tapa del indicador de vidrio. Para la salida HART de 4-20 mA, el indicador LCD tiene dos líneas. La primera línea muestra el valor real medido, la segunda línea de seis caracteres muestra las unidades de ingeniería[31].

## Transmisor inalámbrico de temperatura Rosemount 648

El transmisor de temperatura 648 es un transmisor de temperatura estándar que ofrece una solución inalámbrica en la verificación de los procesos industriales, de esta manera permite optimizar el rendimiento de la planta y aumentar la fiabilidad de las mediciones con una capacidad y las especificaciones de eficacia probada en el sector. El modelo inalámbrico 648 es totalmente compatible con cualquier red Wireless HART aprobada por IEC, ofreciendo soluciones inalámbricas innovadoras para la medición de la temperatura y el funcionamiento general del transmisor, además la red auto organizada ofrece información con una fiabilidad del 99% en los datos, y crea una red de gran estabilidad.

En referencia al sensor de temperatura, este cuenta con capacidad de un solo sensor con entradas de sensor universales (RTD, T/C, mV, ohmios), además los diagnósticos de sensor abierto/cerrado ayudan a detectar problemas en el lazo del mismo; e integra la compensación para temperaturas ambientales mejora el funcionamiento del transmisor. En la figura N°4 se muestra el diagrama de conexión del transmisor de temperatura Rosemount 648 y el dispositivo comunicador.



**Figura N°4:** Diagrama de conexión del AMS Trex y Rosemount 648




La tecnología de Rosemount ofrece una solución completa para la medición precisa de la temperatura del proceso sin necesidad de penetración en el proceso. Esta

funcionalidad nueva simplifica la especificación de punto de medición de temperatura, la instalación y el mantenimiento y elimina posibles puntos de fugas[32][33].

### 2.1.3 Hardware de realidad aumentada

A la hora de poner en marcha una experiencia de aprendizaje basada en la realidad aumentada, una de las primeras decisiones que debe tomarse es la selección del dispositivo de realidad aumentada que será utilizado, ya que disponer del hardware de realidad aumentada conveniente, permitirá obtener una retroalimentación e interpretación del comportamiento de usuario. Así pues cuando nos referimos al Hardware, la RA puede ser utilizada por dispositivos comunes como smartphones y tablets, y gafas inteligentes permitiendo expandir el rango de posibilidades y experiencias de RA para el usuario. Por lo cual en la tabla N°1 se presenta diferentes opciones de dispositivos de realidad aumentada, con sus principales características y especificaciones.

**Tabla N°1** Matriz de dispositivos de Realidad Aumentada

Propiedades	Visores de Realidad Aumentada		
	Meta 2	Oculus Rift S	Hololens 2
Descripción	 <p>-Combina elementos del mundo real con elementos creados de forma digital, -Necesitan ser conectadas a la computadora[34]</p>	 <p>-Imágenes reemplazan el mundo real, sin transparencias. -Necesitan ser conectadas a la computadora[35]</p>	 <p>-Usa hologramas, sitúa a los objetos virtuales en el espacio. Interactúa con el mundo real Sin ataduras, no necesitan conectarse a PC[36]</p>

Virtualidad	Realidad Aumentada	Realidad Virtual	Realidad Aumentada
Resolución	2560 x 1440	2160 x 1200	1268 x 720
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interacción intuitiva con la interfaz de usuario</li> <li>-Imágenes 3D estereoscópicas de alta resolución</li> <li>-Funcionalidad de localización y mapeo simultáneos, en tiempo real</li> <li>-Sensores visuales e inerciales</li> <li>-Diseño ergonómico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiene controlador llamado Touch.</li> <li>-Requiere una computadora muy poderosa</li> <li>-Sensores no son inalámbricos, lo que podría restringir los movimientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiene conectividad inalámbrica WiFi y Bluetooth 5.0, lo que le permite desplazarse sin ataduras.</li> <li>-Seguimiento ocular en tiempo real.</li> <li>-Cuenta con control de acciones por comandos de voz intuitivo</li> <li>-Deben ser recargadas</li> </ul>
Nivel de inmersión	Alto: Sensores integrados para seguimiento de movimiento 360 e interacción manual	Medio: No permite interacción manual, solo a través de mandos.	Alto: Permite interacción manual
Conexiones	HDMI, USB 3.0	HDMI, USB 2.0, 3xUSB 3.0	Inalámbrico
Portabilidad y configuración	Fácil e intuitiva	Medianamente difícil	Fácil e intuitiva

Campo de visión	90°	110°	90°
Requisitos del sistema	Requisitos de GPU NVIDIA GeForce GTX 1050, AMD Radeon RX 480 o mejor CPU: Intel Core i7-6700 (HQ), equivalente AMD FX-9590 o mejor, 16 GB de RAM o más y memoria del disco duro de 10 GB	PC con Windows 10, NVIDIA GTX 1060, 8GB de RAM, USB 3.0	64-bit Windows 10 Pro, CPU con 4 cores, 8 GB of RAM o mayor Requisitos de GPU DirectX 11.0 o más actualizadas.
Kit de desarrollo de Software	Libre	Libre	Libre
Costo	949 dólares	599 dólares	3000 dólares

Basada en las características y propiedades expuestas en la tabla de los diferentes visores de realidad aumentada, se realiza una matriz de ponderación por criterios para determinar cuál es el más apropiado para el proyecto, teniendo en cuenta además los requisitos generales del mismo. En este caso se decide basar la selección en la factibilidad de las alternativas propuestas y ha dado lugar a la aplicación y establecimiento de un sistema de ponderación determinado por una escala aritmética sencilla que determine el grado de selección interna. Los valores a otorgar para la puntuación en cada criterio son, 1 si no se considera factible, 2 si la opción es parcialmente factible y 3 si es factible de la siguiente manera.



**Tabla N°2** Matriz de selección de visor de realidad aumentada

Criterios de selección	Propuestas		
	Meta 2	Oculus Rift S	Hololens 2
Facilidad de uso	3	1	3
Nivel de inmersión	3	1	3
Integración y configuración	3	1	2
Costo	2	3	1
Sumatoria	11	6	9
<b>1= No factible; 2=Parcialmente factible; 3=Factible</b>			

### **Meta 2 Development kit**

Como se observa en la tabla N°2, la mejor opción en base a lo propuesto, y que permitirá cumplir con los requisitos del sistema de realidad aumentada, son las gafas Meta 2, la cual es actualmente una de las plataformas de hardware más reconocidas para realidad aumentada[37] Estas gafas fueron seleccionadas debido a que cuentan con una serie de características que sobresalen del resto de visores, siendo entre estos el más importante que cuentan con un nivel de inmersión alto, pues tiene sensores integrados para seguimiento de movimiento e interacción manual que crea la impresión de profundidad, y paralaje e incluye un seguimiento de superficie, lo que es una gran ventaja para el proyecto ya que el usuario, podrá alcanzar y mover objetos virtuales en el mundo real a través de la interacción con la mano[38], y podrá interactuar con el sistema de modo que sienta que forma parte del entorno, y esto hace el entrenamiento más amigable e inmersivo, a diferencia de las Oculus Rift en las que la interacción se realiza a través de mandos y el nivel de inmersión disminuye. Además la integración de las gafas es sencilla ya que solo se necesita de un puerto HDMI y un puerto USB 3.0 para conectarla al computador, y como están conectadas a una fuente de poder no se corre el riesgo de que descarguen y dejen de funcionar como en el caso de las Hololens. También la configuración es sencilla y guiada todo el tiempo.

A pesar de que el equipo no es inalámbrico y se requiere una computadora poderosa para poder utilizarlas, para la aplicación del proyecto esto no genera problema pues en referencia al diseño de la interfaz el usuario no necesita moverse de su puesto para el entrenamiento. Su diseño ergonómico y costo la vuelven aún más factible para su uso

lo que permite que una variedad de usuarios interactúen cómodamente con el dispositivo[39]. El visor de realidad aumentada meta 2 se observa en la figura N°5



**Figura N°5:** Meta 2 development kit

#### 2.1.4 Software de desarrollo de entornos virtuales

Como parte del cumplimiento de los objetivos planteado “Seleccionar el software para diseño y programación de ambientes de Realidad Aumentada que se adapte a los requisitos del proyecto”. En la tabla N°3 se presentan tres de los motores más predominantes y líderes para crear entornos de nivel avanzado en la actualidad. Para cada uno se expone sus cualidades y potenciales, para su posterior comparación y selección.

**Tabla N°3** Software de desarrollo de RV

Propiedades	Software de desarrollo de entornos virtuales		
	Unreal Engine	Unity 3D	GameMaker
Descripción	Software de desarrollo de juegos, se centra en contenido 3D[40].	Unity es un motor muy versátil de desarrollo de entornos de aprendizaje virtual 2D y 3D [41]	Desarrollador de contenido que se centra en juegos 2D orientada a usuarios novatos.
Documentación	Cuenta con documentación	Gran cantidad de documentación	Hay una gran cantidad de

	amplia aunque un poco compleja y tutoriales, sin embargo no tiene una comunidad muy activa.	disponible en manuales y tutoriales además de una comunidad de programadores muy activa	información y tutoriales disponibles.
Codificación	Basado en C++, que es posiblemente el lenguaje de codificación más difícil de aprender.	Basado en C# que es bastante similar a C++ pero mucho más simple y fácil de aprender.	Lenguaje de programación de scripts llamado Game Maker Language (GML)
Calidad grafica	Alta	Media-alta	Media
Características destacadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Blueprints (sistema de codificación visual)</li> <li>-Curva de aprendizaje difícil</li> <li>-La interfaz es agradable, pero enorme, con un sinfín de ventanas emergentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interfaz intuitiva,</li> <li>-Gran cantidad de contenidos y pluggins para integrar a tu trabajo.</li> <li>-Curva de aprendizaje fácil</li> <li>-fácil de aprender y usar</li> <li>-Gran tienda de activos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interfaz intuitiva (arrastrar y soltar)</li> <li>-Se basa en el manejo de recursos, eventos y objetos.</li> <li>-Sintaxis de programación flexible</li> <li>-Falta de un editor interno y scripts específicos para animaciones</li> </ul>
Herramientas	Gran variedad de complementos, piezas de código, animaciones y modelos	Herramientas de física, animación, iluminación, disparadores de	Herramientas de diseño de interfaz como sprites, recursos gráficos,

		eventos, audio y mucho más.	eventos, sonidos, objetos, fondos.
Plataformas compatibles	Multiplataforma, 10 plataformas de publicación	Multiplataforma, cuenta con una variedad de hasta 25 plataformas de publicación	Multiplataforma, 6 plataformas de publicación
Costo	Gratuito, sin embargo se deben regalías a Unreal por juego publicado	Gratuito, aunque también hay una versión pro de pago	Gratuito pero muy limitado

Al igual que para la selección del Hardware de realidad aumentada, en esta sección escoger el software, se utiliza como herramienta las matrices de selección matriz de ponderación por criterios para determinar cuál es el más apropiado para el proyecto. Para lo cual se basa la decisión en diferentes criterios y los valores a otorgar para la puntuación en cada criterio son, 1 si no se considera factible, 2 si la opción es parcialmente factible y 3 si es factible de la siguiente manera.

**Tabla N°4** Matriz de selección del software de desarrollo de RV

Criterios de selección	Propuestas		
	Unreal Engine	Unity 3D	GameMaker
Facilidad de uso	2	3	3
Compatibilidad de plataformas	2	3	1
Facilidad de programación	2	3	3
Costo	2	3	2
Sumatoria	8	12	9
<b>1= No factible; 2=Parcialmente factible; 3=Factible</b>			

### **Motor de la aplicación (Unity 3D)**

Como puede observarse en la tabla N°4 las tres opciones analizadas cuentan con unas características básicas similares, sin embargo partiendo de estas características comunes, las principales diferencias se encuentran en el tipo de contenido que estas permiten desarrollar, siendo este el requisito básico para poder crear el sistema de entrenamiento, por ello que se seleccionó Unity 3D[41], debido a que gracias a su versatilidad permite trabajar tanto con elementos UI de interfaz de usuario es decir elementos 2D y permite integrar objetos 3D para desarrollar entornos de Aprendizaje Virtual, también debido a un conjunto de características que en comparación a Unreal Engine y GameMaker presenta ventajas como la facilidad de uso puesto que tiene una interfaz intuitiva y permite trabajar con diferentes herramientas prácticas que agilizan el trabajo ya que se basa principalmente en arrastrar y soltar objetos y códigos de escritura, además cuenta con documentación y varios medios de aprendizaje activo, al ser la herramienta de diseño más utilizada para este tipo de sistemas.

Otro criterio importante es la codificación puesto que al trabajar con C#, solo se requiere tener un conocimiento básico de programación, además su compatibilidad con un gran número de plataformas permite que sea las sencillo usarlo con el visor de realidad aumentada seleccionado ya que solo es necesario agregar a este, el kit de desarrollo de software (SDK) pertinente, que permitan la interacción. Finalmente se seleccionó este motor, porque es accesible especialmente para el desarrollo de pequeños y medianos estudios, que difícilmente pueden invertir en costosos motores de desarrollo de alta calidad.

#### **2.1.5 Software de modelado 3D (Blender)**

Blender es un programa informático multi-plataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales. Además de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, composición y seguimiento de movimiento, edición de video y animación 2D[42].

Fue elegido como herramienta de modelado 3D en este proyecto debido a que proporciona a los usuarios un flujo de trabajo creativo de extremo a extremo. Como herramienta profesional, es muy compleja, para su manejo es necesario tener una base

de conocimientos sobre modelado 3D, sin embargo, cuenta con un impresionante conjunto de herramientas de modelado y escultura en 3D.

Además a sus potentes funcionalidades, se destaca el hecho de ser un programa open Source, gratuito y multiplataforma convirtiéndose en una alternativa real y consolidada a los programas privativos de diseño 3D.

### **2.1.6 Visual Studio Tools para Unity**

Visual Studio Tools para Unity es una extensión gratuita de Visual Studio que convierte al mismo en una poderosa herramienta para desarrollar juegos y aplicaciones multiplataforma con Unity.

Si bien el editor de Unity es ideal para armar una aplicación, no se puede escribir código en él. Por ello con Visual Studio Tools se puede usar las características familiares de edición de código, depuración y productividad de Visual Studio para crear scripts de editor usando C#, y depurarlos usando las potentes capacidades de Visual Studio. Usar el compilador de Visual Studio es muy útil, ya que significa que no es necesario volver al compilador en Unity todo el tiempo para ver si tiene algún error o no, brindando mejoras de productividad específicas de Unity[43].

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Modalidad de la investigación**

Se recurrirá a los siguientes procedimientos de investigación para desarrollar la problemática presente

#### **Investigación Bibliográfica-Documental**

La investigación bibliográfica es la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada. La investigación tendrá esta modalidad debido a que se realizara una búsqueda de información escrita y un análisis de la misma sobre el tema recurriendo a fuentes de información secundaria en libros, revistas especializadas, publicaciones, módulos, internet que contengan datos aplicables a lo que se va a analizar.

### **Investigación de Campo**

La investigación de campo es la recopilación de datos nuevos de fuentes primarias para un propósito específico. Es un método cualitativo de recolección de datos encaminado a comprender, observar e interactuar con las personas en su entorno natural.

Se trabajará con la modalidad de investigación de campo porque s para interactuar y recabar información; además de realizar las encuestas, entrevistas y guía de observación, para así obtener y manejar datos más precisos que determinan la solución del problema.

### **Investigación Aplicada**

Es de carácter aplicativo dado que para la misma se ejecutará múltiples pruebas de funcionamiento en las distintas etapas del desarrollo. Además busca la utilización de conocimientos, de varias áreas especializadas como la Ingeniería, la Industria y la Tecnología, con el propósito de implementarlos de forma práctica para desarrollar un sistema de realidad aumentada para el entrenamiento.

## **2.2.2 Población y Muestra**

### **Población**

De acuerdo al planteamiento del problema, los objetivos y el propósito de la investigación, la población para la presente investigación se ha establecido de acuerdo al número de estudiantes legalmente matriculados en séptimo, octavo, noveno y décimo nivel, de la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial teniendo así un total de 162 estudiantes.

De igual manera debido a que el sistema de entrenamiento pretende ser aplicado, no solo a estudiantes para ayudarlos en su proceso de aprendizaje sino también para evaluar a trabajadores que ya tienen experiencia en el manejo de dispositivos industriales, se determinó una población de técnicos e ingenieros dedicados a servicios de programación de equipos industriales para empresas de petróleo y gas, y según el PANORAMA LABORAL Y EMPRESARIAL DEL ECUADOR 2019 del instituto nacional de estadísticas y censos son alrededor de 100 personas las que prestan este tipo de servicios

en la ciudad de Ambato. Lo mencionado se resume en la tabla N°5.

**Tabla N°5** Población objeto de estudio

Estudiantes	162
Técnicos y programadores	100

**Muestra**

Una vez que se determinó la población se procede a obtener la muestra que debe ser una parte representativa de la población de interés

Basada en estos criterios se procederá al cálculo de la muestra aplicando la fórmula utilizada cuando se conoce la población, cuyos parámetros se presentan en la Tabla N°6.

Fórmula para cálculo de la muestra:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

**Tabla N°6** Datos de la muestra

Parametro	Datos de la muestra
<b>N:</b> Tamaño de la población	$N_1 = 162$
	$N_2 = 100$
<b>Z:</b> Nivel de confianza deseado(95%)	1.96
<b>p:</b> Proporción real estimada de éxito(50%)	0.50
<b>q:</b> Proporción real estimada de fracaso(50%)	0.50
<b>d:</b> Error admisible	0.1

De donde el tamaño de muestra para estudiantes es de:

$$n = \frac{162 * 1.96^2 * 0.50 * 0.50}{0.1^2 * (162 - 1) + 1.96^2 * 0.50 * 0.50}$$

$$n = 61$$

Y el tamaño de muestra para trabajadores es de:

$$n = \frac{100 * 1.96^2 * 0.50 * 0.50}{0.1^2 * (100 - 1) + 1.96^2 * 0.50 * 0.50}$$

$$n = 50$$



### 2.2.3 Recolección de Información

Para el presente trabajo la recolección de información se realizará mediante la selección de información relevante, obtenida de fuentes como: páginas web, libros, artículos académicos, y tesis mismos que aportaran con el material para el desarrollo de la investigación, y el diseño del sistema de realidad aumentada. Además se contara con recursos como:

- **La observación directa:** Esta técnica de recolección de datos permitirá acumular y sistematizar información sobre los instrumentos HART.
- **Encuesta:** Este método de recolección de datos se aplicaran antes y después de la implementación del proyecto para obtener información real directamente de los involucrados y obtener un perfil estadístico para presentar resultados.

### 2.2.4 Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de la información obtenida será efectuado seleccionando únicamente la información relevante, siguiendo los siguientes pasos:

- 1 Recolección de información en Internet, documentación de software de desarrollo de entornos virtuales, artículos científicos, tesis, libros.
- 2 Análisis y selección de la información obtenida referentes al tema.
- 3 Interpretación de resultados basado en aspectos teóricos de referencia.

Además de la encuesta aplicada a los estudiantes que formaran parte de las pruebas de funcionamiento del sistema creado, se va a proceder a: revisar la información recolectada, manipular la información y tabulación de datos, a través de tablas dinámicas creadas en el software Excel, y así permitirán obtener resultados, los cuales serán analizados para responder a los objetivos planteados y generar conclusiones.

### 2.2.5 Desarrollo del proyecto

El proyecto se desarrollara siguiendo sistemáticamente los siguientes pasos:

- Recolección de información relevante sobre el diseño de sistemas de realidad aumentada.
- Definición de los requisitos generales del sistema a desarrollar, como

forma de operación, nivel de interacción requerida, y funcionamiento.

- Reconocimiento de los diferentes motores desarrolladores de realidad virtual más representativos y selección del software que más se adapte a los requisitos del sistema.
- Conceptualización de la arquitectura general del sistema para realizar la interconexión de los componentes de hardware según los requisitos de funcionalidad del sistema de entrenamiento virtual.
- Diseño de los escenarios de la aplicación integrando los modelos 3D y los menús, las instrucciones y explicaciones, de tal modo que la interacción de los usuarios es guiada todo el tiempo.
- Desarrollo de la interacción entre el usuario y el sistema.
- Realización de pruebas de funcionamiento
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Elaboración del informe final.

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis y discusión de los resultados

#### 3.1.1 Desarrollo de la propuesta

El sistema de realidad aumentada para el entrenamiento en el manejo de instrumentación HART se desarrollará en la Universidad Técnica de Ambato y se evaluará en la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e industrial, mediante la colaboración de estudiantes y técnicos que valoraran la utilidad que provee el sistema a los usuarios. El trabajo se desarrolla en torno a las siguientes etapas:

**Etapa 1: Definición del sistema.** En esta etapa se definen tanto los requisitos del usuario como los aspectos concernientes a los objetos y elementos que conformaran el sistema de aprendizaje, para ello la información del funcionamiento de los equipos HART, y del dispositivo comunicador de campo se recopila a través de documentación como manuales, videos, entre otros; y a partir de esto se obtiene la descripción de lo que el sistema debe ser capaz de realizar.

#### Requisitos de usuario

En referencia a la propuesta, el objetivo de la aplicación es permitir que un empleado utilice la aplicación de entrenamiento para aprender a poner en marcha y configurar parámetros del proceso de los transmisores de presión y temperatura. En las siguientes tablas, desde la N°7 a la N°11 se especifican los requisitos del usuario.

**Tabla N°7** Requisito del Usuario (Despliegue de contenidos)

<b>Requisito</b>	Despliegue de contenidos		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RU-001
<b>Descripción</b>	El sistema debe exhibir un conjunto de opciones de contenido, además de modelos tridimensionales correspondientes al tema.		

**Tabla N°8** Requisito del Usuario (Calidad Gráfica)

<b>Requisito</b>	Calidad gráfica		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RU-002

<b>Descripción</b>	El sistema debe ser atractivo y motivador para los usuarios, brindando representaciones de buena calidad en las interfaces y objetos 3D
--------------------	---

**Tabla N°9** Requisito del Usuario (Acceso al sistema)

<b>Requisito</b>	Acceso al sistema		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RU-003
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitirle a cualquier usuario acceder a la aplicación de manera intuitiva pulsando botones. Y debe poder utilizarlo con conocimientos básicos de informática.		

**Tabla N°10** Requisito del Usuario (Interfaz)

<b>Requisito</b>	Interfaz		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RU-004
<b>Descripción</b>	El sistema debe proveer una interfaz amigable, de fácil uso, intuitiva con letras grandes y colores llamativos		

**Tabla N°11** Requisito del Usuario (Idioma)

<b>Requisito</b>	Idioma		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Código</b>	RU-005
<b>Descripción</b>	Debido a que las opciones del comunicador están en inglés, estas se realizan de la misma manera en la aplicación, además el idioma de codificación del sistema estará en inglés, aunque las instrucciones en el sistema serán en español		

De esta manera según lo especificado, se requiere que la herramienta sea fácil de usar, intuitiva y explicativa. Después de una breve introducción sobre los equipos y el paso por el módulo de entrenamiento, cualquier persona debe estar en la capacidad de usarlo.

### Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales y las restricciones que deben incluirse en la herramienta, se basan en las principales acciones que deben realizarse dentro de la aplicación para la puesta en marcha y configuración de los principales parámetros de los equipos HART, mismos que se detallan en las tablas N ° 12 a la N ° 16.

**Tabla N°12** Requisito Funcional (Visión general de los dispositivos)

<b>Requisito</b>	Visión general de los dispositivos		
<b>Prioridad</b>	Media	<b>Código</b>	RF-001
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir al usuario obtener información y conocer el funcionamiento de los dispositivos HART y del programador de campo.		

**Tabla N°13** Requisito Funcional (Manipulación de modelos 3D)

<b>Requisito</b>	Manipulación de modelos tridimensionales		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RF-002
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir al usuario mover, escalar y rotar los modelos tridimensionales que se muestran.		

**Tabla N°14** Requisito Funcional (Instrucciones de conexión)

<b>Requisito</b>	Instrucciones de conexión		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RF-003
<b>Descripción</b>	El sistema debe proporcionar al usuario instrucciones de guía para la puesta en marcha de los dispositivos HART		

**Tabla N°15** Requisito Funcional (Configuración de las variables del proceso)

<b>Requisito</b>	Configuración de las variables del proceso		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RF-004
<b>Descripción</b>	Dentro del entrenamiento el sistema debe proporcionar al usuario las instrucciones y opciones para configurar los parámetros más relevantes y las variables de proceso del transmisor de presión y temperatura, entre ellas las unidades		

	de ingeniería, límites de rango, porcentaje de rango, salida analógica, identificación, entre otras.
--	--

**Tabla N°16** Requisito Funcional (Evaluación y retroalimentación)

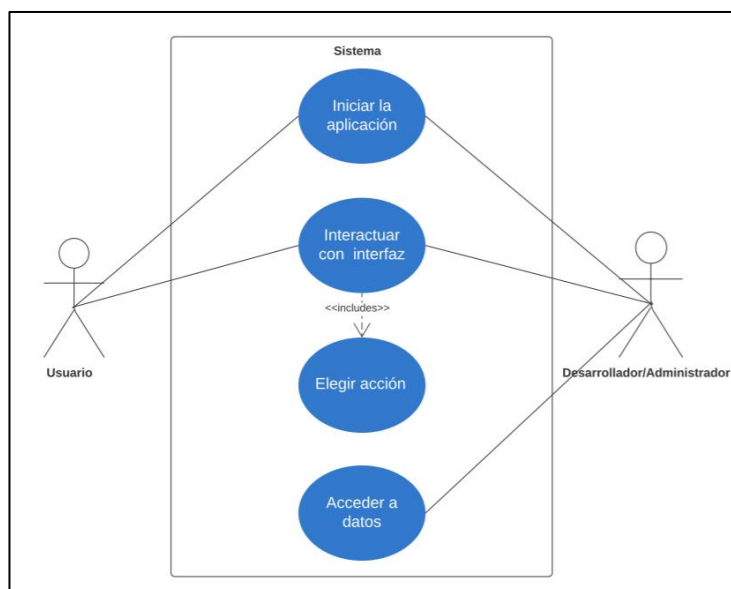
<b>Requisito</b>	Evaluación y retroalimentación		
<b>Prioridad</b>	Alta	<b>Código</b>	RF-005
<b>Descripción</b>	El sistema debe proporcionar al usuario interfaces de evaluación, donde pueda probar lo aprendido en el módulo de entrenamiento.		

### Casos de uso del sistema de RA

Los casos de uso permiten capturar los requisitos y realizar una descripción de la funcionalidad del sistema independiente de la implementación. En esta sección se define la secuencia de actividades que se desarrollarán entre el sistema y los actores previamente identificados en respuesta a un evento en su interacción con el proceso en estudio. A continuación se presentan los casos de uso más importantes junto a su respectiva explicación.

### Diagrama general de casos de uso

El modelo general de casos de uso del sistema se observa en la figura N°6.



**Figura N°6:** Diagrama de caso de uso General del sistema

En las tablas expuestas a continuación se realiza la descripción de cada uno de los casos de uso presentados en el modelo general del sistema.

**Tabla N°17** Caso de Uso (Inicio de la aplicación)

<b>Caso de Uso: Iniciar la aplicación</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Caso de uso para iniciar la aplicación de realidad aumentada
<b>Precondiciones</b>	ninguna
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario presiona el icono de puesta en marcha de la aplicación</li> <li>2) El sistema muestra la pantalla principal</li> <li>3) La aplicación esta lista para ser usada</li> </ol>

**Tabla N°18** Caso de Uso (Interactuar con la interfaz)

<b>Caso de Uso: Interactuar con la interfaz</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Caso de uso que permite actuar con el entorno de realidad aumentada
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe contar con el SDK para el funcionamiento del visor de RA
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El sistema carga todos los recursos y contenidos para que el usuario interactúe con él.</li> <li>2) El usuario usa sus manos para interactuar</li> </ol>

**Tabla N°19** Caso de Uso (Elegir acción)

<b>Caso de Uso: Elegir acción</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Caso de uso para acceder a las opciones de la aplicación
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe haberse iniciado correctamente.
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario indica que desea ver las opciones que ofrece el programa</li> <li>2) El sistema muestra el menú principal</li> </ol>

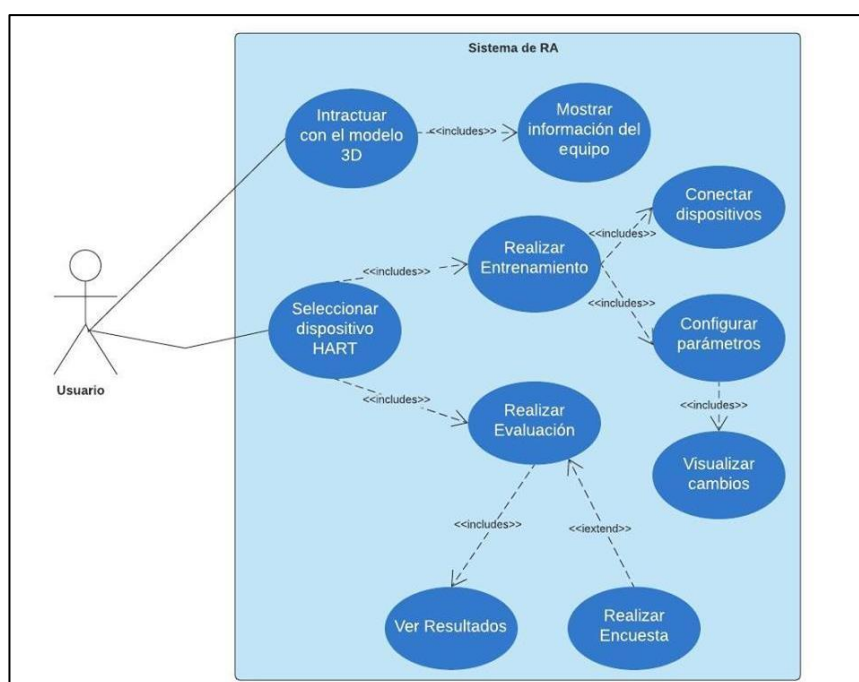
	<p>3) El usuario selecciona una opción y confirma el cambio</p> <p>4) El sistema actualiza su estado.</p>
--	---

**Tabla N°20** Caso de Uso (Acceder a datos)

Caso de Uso: Acceder a datos	
<b>Actor</b>	Desarrollador/Administrador
<b>Descripción</b>	Permite al desarrollador de la aplicación acceder a datos guardados de la evaluación que realiza el usuario
<b>Precondiciones</b>	Ninguna
<b>Flujo básico</b>	<p>1) El desarrollador ingresa al sistema</p> <p>2) El sistema muestra el documento con los datos guardados.</p> <p>3) El desarrollador accede a los datos.</p>

### Diagrama de caso de uso de Usuario

En esta sección se explican las interacciones entre el usuario y el sistema de manera detallada.



**Figura N°7:** Diagrama de caso por actor (Perspectiva de Usuario)



El diagrama de casos de uso que se muestra desde la perspectiva del usuario, permite analizar las opciones de interacción que se le presentan al iniciar la aplicación. A continuación en las tablas N°21 a N°29 se analiza a detalle que se hace en cada caso.

**Tabla N°21** Caso de Uso por actor (Interactuar con el modelo 3D)

<b>Caso de Uso: Interactuar con el modelo 3D</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	En este caso de uso el usuario podrá agarrar, rotar y escalar los modelos 3D de los dispositivos HART, además obtendrá información del dispositivo de su elección.
<b>Precondiciones</b>	El usuario debe acceder a la visión general
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario ingresa a la visión general del dispositivo</li> <li>2) El sistema muestra los modelos 3D</li> <li>3) El usuario puede sujetar, rotar y escalar los modelos</li> <li>4) El sistema muestra información de funcionamiento de los dispositivos.</li> </ol>

**Tabla N°22** Caso de Uso por actor (Seleccionar dispositivo HART)

<b>Caso de Uso: Seleccionar dispositivo HART</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	El usuario selecciona el tipo de dispositivo HART con el que sea trabajar ya sea de presión o temperatura.
<b>Precondiciones</b>	La aplicación debe haberse iniciado correctamente.
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario selecciona el dispositivo</li> <li>2) El sistema carga todos los recursos y contenidos dentro de este.</li> </ol>

**Tabla N°23** Caso de Uso por actor (Realizar entrenamiento)

<b>Caso de Uso: Realizar entrenamiento</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	En este caso de uso el usuario puede entrenarse en el manejo del dispositivo HART
<b>Precondiciones</b>	El usuario debe haber seleccionado un dispositivo
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) El usuario selecciona la opción de entrenamiento</li><li>2) El sistema muestra todo el contenido de entrenamiento</li><li>3) El usuario sigue un conjunto de instrucciones.</li></ol>

**Tabla N°24** Caso de Uso por actor (Conectar dispositivos)

<b>Caso de Uso: Conectar dispositivos</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	En este caso de uso el usuario puede conectar los dispositivos
<b>Precondiciones</b>	El usuario debe haber seleccionado la opción de entrenamiento
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) El usuario presiona sobre la opción de conexión</li><li>2) La aplicación realiza la acción elegida por el usuario</li><li>3) La aplicación muestra un conjunto de instrucciones a seguir.</li></ol>

**Tabla N°25** Caso de Uso por actor (Configurar parámetros)

<b>Caso de Uso: Configurar parámetros</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	El usuario accede a ese caso de uso y desde este podrá configurar los parámetros básicos del dispositivo seleccionado

<b>Precondiciones</b>	El usuario debe haber terminado la conexión
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario selecciona la opción de configuración</li> <li>2) El sistema carga la petición del usuario y muestra los parámetros para configurar</li> </ol>

**Tabla N°26** Caso de Uso por actor (Visualizar Cambios)

<b>Caso de Uso: Visualizar Cambios</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Caso de uso al que el usuario puede acceder para ver los cambios realizados.
<b>Precondiciones</b>	El usuario debe haber realizado cambios en la configuración de los dispositivos
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario configura un parámetro</li> <li>2) El sistema guarda la configuración en un elemento de texto y se actualiza.</li> <li>3) El usuario observa el cambio realizado</li> </ol>

**Tabla N°27** Caso de Uso por actor (Realizar evaluación)

<b>Caso de Uso: Realizar evaluación</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Permite al usuario entrar a un modo de práctica donde prueba lo aprendido.
<b>Precondiciones</b>	Ninguna
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El usuario ingresa a la evaluación</li> <li>2) El sistema muestra el contenido dentro de este modo</li> <li>3) El usuario responde las preguntas.</li> </ol>

**Tabla N°28** Caso de Uso por actor (Ver Resultados)

<b>Caso de Uso: Ver Resultados</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	En este caso de uso el usuario puede acceder a los resultados de su evaluación
<b>Precondiciones</b>	Haber finalizado la evaluación
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) El usuario selecciona ver resultados</li><li>2) El sistema genera una tabla resumen con los resultados.</li></ol>

**Tabla N°29** Caso de Uso por actor (Realizar encuesta)

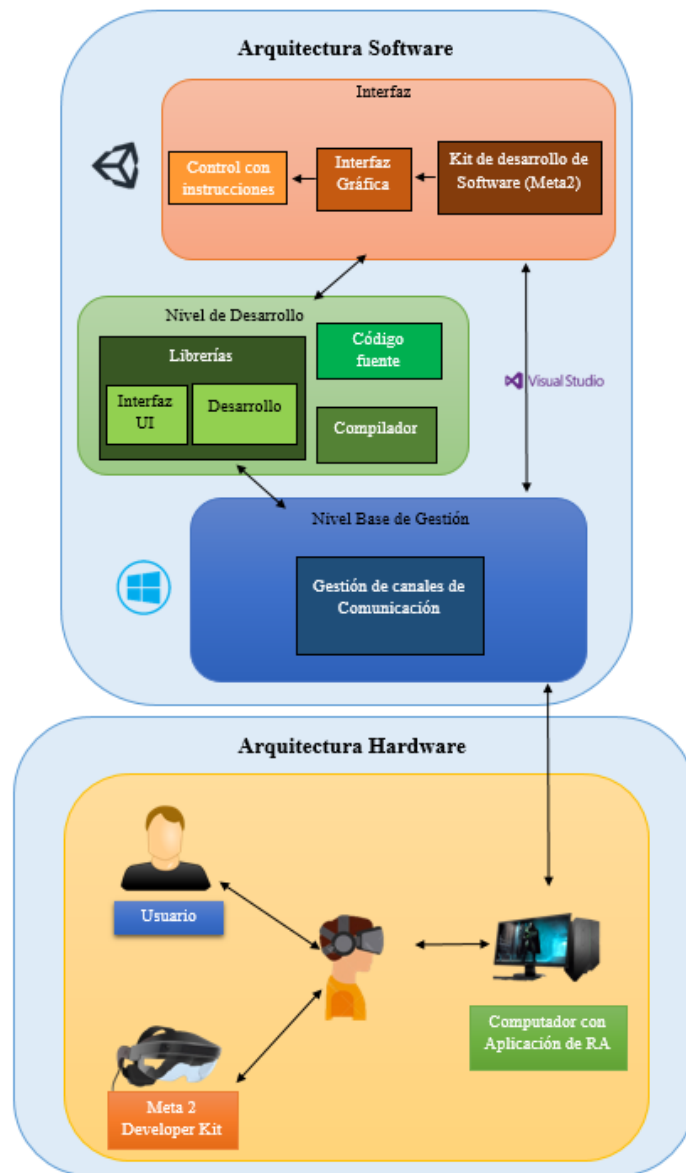
<b>Caso de Uso: Realizar encuesta</b>	
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Permite al usuario validar la funcionalidad de la aplicación
<b>Precondiciones</b>	Haber finalizado la evaluación
<b>Flujo básico</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) El usuario selecciona la opción para realizar encuesta</li><li>2) El sistema carga el contenido dentro de este.</li></ol>

**Etapa 2: Diseño del sistema.** En esta etapa, se conceptualiza el modelo. Se debe diseñar la arquitectura del sistema tanto a nivel de hardware como de software, además de los contenidos informativos, y las actividades que se realizarán en cada módulo, incluido las herramientas de diseño a utilizar basándose en los requisitos expuestos en la etapa anterior.

Por lo tanto se describirá mediante el uso de diagramas UML el diseño de la aplicación, a través de un diagrama de componentes del sistema general, para continuar con los diferentes diagramas de clases que conforman cada componente.

### **Arquitectura del sistema de realidad aumentada**

Basada en el cumplimiento del objetivo “Diseñar la arquitectura de Hardware para su uso en ambientes de Realidad Aumentada” se muestra en la figura N°8 la estructura general del sistema de entrenamiento.



**Figura N°8:** Arquitectura del sistema de entrenamiento de RA

Como se observa la arquitectura es una representación del sistema en la que hay una correlación de funciones con componentes de arquitectura hardware y arquitectura software, e interacción humana con estos componentes.

### **Arquitectura Hardware**

La arquitectura de hardware es el diseño conceptual y la estructura operacional fundamental del sistema, es decir es el soporte físico del conjunto de componentes involucrados en el funcionamiento del mismo, que permite brindar una descripción funcional de las implementaciones de diseño para la parte física del sistema, con

especial interés en la forma en que el ordenador recibe y envía la información a través de los equipos conectados por medio de los canales.

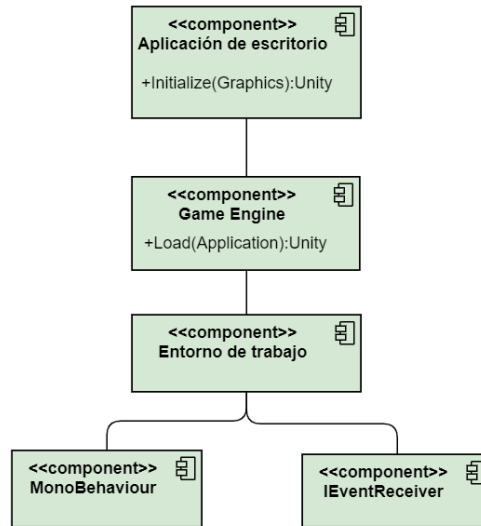
La interacción entre el usuario y sistema de realidad aumentada, requiere un seguimiento en tiempo real, estable y preciso, para lo cual se utilizará el visor de realidad aumentada Meta 2, que es un dispositivo autónomo que cuenta con un procesador gráfico propio que ejecuta los procesos de manera nativa en su hardware. Este a su vez estará conectado al computador y mediante canales de comunicación permitirá interactuar con el sistema desarrollado. De esta manera como se observa en la figura N°8 una vez que se logra y mantiene una localización precisa del espacio, el usuario solo con ponerse el visor, ya tendrá el alcance a los objetos virtuales y a las secuencias de entrenamiento virtual que estarán superpuestas sobre el entorno real mediante el computador que contiene la aplicación y debido a que el dispositivo realiza un mapeo del entorno y sigue la ubicación real del usuario, este puede utilizar movimientos de las manos definidos para poder interactuar con las imágenes en 3D. Refiérase al Anexo A, donde se tiene el Manual de Integración de Meta 2, para hacer uso de los componentes que este proporciona.

### **Arquitectura Software**

La arquitectura de software proporciona un marco de referencia general necesario para guiar la construcción del sistema de realidad aumentada para el entrenamiento del usuario, permitiendo cubrir todos los objetivos y restricciones de la aplicación.

De esta forma como se observa en la figura N°8 el diseño del sistema está compuesto de un nivel de interfaz en el cual mediante el motor de desarrollo previamente seleccionado se diseñara la interfaz gráfica y el conjunto de instrucciones con las que el usuario podrá interactuar. Consta además de un nivel de desarrollo que permitirá realizar la codificación de las instrucciones del nivel superior, y donde se añadirán las librerías UI de interfaz de usuario y de desarrollo en general de la aplicación, para luego compilarlas, todo esto se realizara en Visual Studio 2017. Finalmente el nivel base permitirá gestionar los canales de comunicación de la arquitectura Hardware con el sistema.

La aplicación de RA dentro del motor Unity presenta una arquitectura interna basada en componentes. En la figura N°9 se describe los elementos físicos del Sistema y sus relaciones.



**Figura N°9:** Diseño de componentes de aplicación en Unity

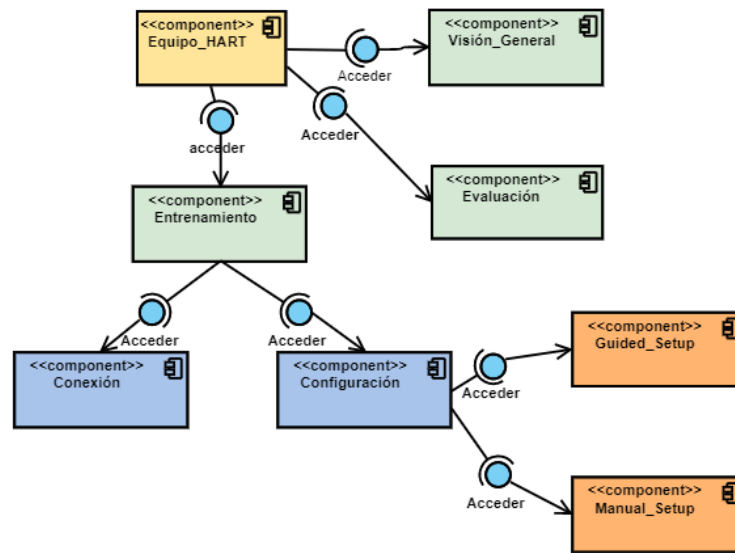
Como se puede observar la aplicación a nivel general utiliza componentes de Unity y C# para desarrollar cada interfaz dentro de la misma. Teniendo como componente principal la aplicación de escritorio en sí, que posee el método interno “Initialize”, la cual se asocia al componente “Game Engine” para cargar la aplicación, que se vincula a su vez con la interfaz de trabajo en Unity dentro de la cual se desarrolla el proyecto. Los componentes C# que se asocian al entorno de trabajo, son la clase “Monobehaviour” que es el núcleo principal de las API (Interfaz de programación de aplicaciones) en Unity ya que todos los scripts vinculados a objetos dentro del proyecto se derivan de esta clase porque proporciona diversos eventos y funciones útiles. Además se utiliza el componente “IEventReceiver” que permite integrar las funciones del visor de realidad aumentada al programa.

### **Diagrama de componentes de la aplicación**

La aplicación de realidad aumentada está formada por grupo de interfaces que corresponden a los componentes, en la cual mediante el conector ensamble se une una interfaz requerida de un componente con la interfaz proporcionada por otro, y las

relaciones de dependencia permiten indicar que un componente se refiere a los servicios ofrecidos por otro.

El diagrama de componentes de la aplicación es el definido por la siguiente figura en el que se muestra los distintos módulos de la aplicación.



**Figura N°10:** Diagrama de componentes de la aplicación de RA

Una primera aproximación a estos módulos es la que se describe a continuación

### **Visión General**

El sistema cuenta módulo de introducción y familiarización sobre los equipos. Los usuarios pueden aprovechar este espacio para familiarizarse con la función del equipo sin tener que contar con el dispositivo físico, por lo tanto, ayuda a reducir el tiempo dedicado a la capacitación. Además permite la interacción con el equipo, que por medio del visor de AR.

### **Módulo de entrenamiento**

La interfaz del modo de entrenamiento se divide en dos áreas principales:

- (1) Conexión del dispositivo: A medida que el usuario sigue las instrucciones proporcionadas en la aplicación, y da clic sobre las opciones de conexión, se visualizan animaciones que muestra la forma en que deben conectarse los elementos. Además para adaptarse a diferentes estilos de aprendizaje, la información en el sistema de AR



se presenta en forma, escrita a medida que se generan las animaciones y el usuario puede acceder a un video explicativo de la conexión de los dispositivos.

(2) Configuración del equipo: Una vez finalizada la conexión del equipo, empieza la configuración. La primera parte de este modo, se trata de una configuración guiada “Guided Setup” y ofrece más ayuda a los usuarios, pero no es muy flexible pues los usuarios tienen que seguir un conjunto rígido de instrucciones. La segunda parte es una configuración autónoma, “Manual Setup” y permite a los usuarios navegar libremente durante el procedimiento y realizar cambios de acuerdo a su criterio.

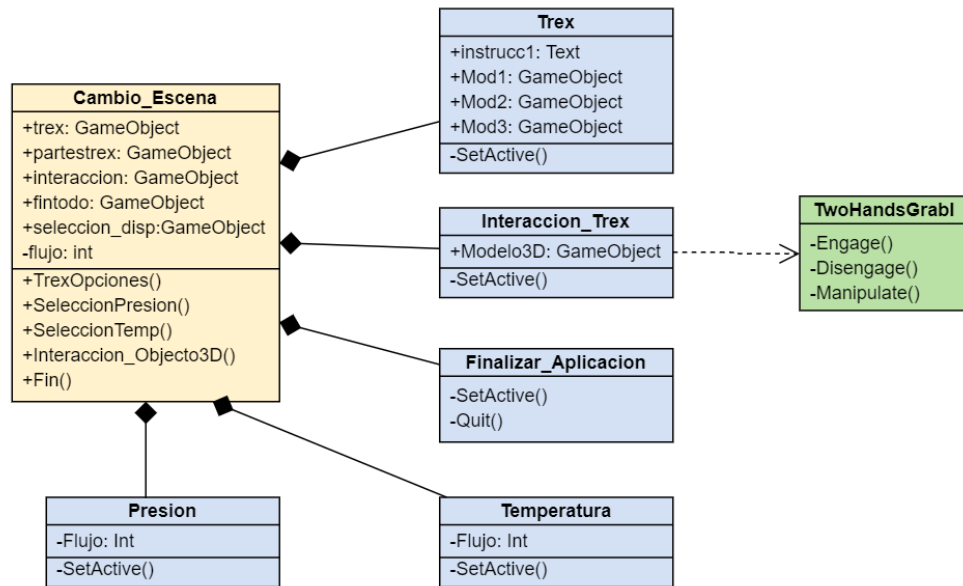
### **Módulo de evaluación**

Al finalizar el módulo de entrenamiento, la aplicación presenta la opción de realizar una evaluación, la cual consta de un conjunto de preguntas referentes a lo aprendido en el módulo anterior. En cada pregunta se le da al usuario las instrucciones de lo que debe desarrollar en un tiempo determinado y al finalizar todas las preguntas se puede visualizar una tabla de resultados en modo de resumen de las fallas y aciertos.

### **Diagramas de clases**

Los diagramas de clases se realizaron dado los requisitos y la forma en que funcionan Unity 3D, el cual fundamentalmente basa su funcionamiento en la manipulación de elementos, que se encuentran a su vez dentro de escenas que interactúan entre sí para darle movimiento a la aplicación. La codificación necesaria para este sistema se realiza mediante scripts en lenguaje C Sharp. El funcionamiento de dichos scripts en Unity se basa en que cada uno de ellos implementa una clase, con sus atributos y métodos. Por lo tanto este enfoque lleva a considerar las escenas de la aplicación como clases y a los elementos dentro de ellas como atributos. A continuación se presentan los diagramas de clases principales.

## Módulo de Visión General del dispositivo



**Figura N°11:** Diagrama de clases del Módulo Visión General

En la figura N°11 se presentan las clases utilizadas en el módulo de visión general del dispositivo con sus atributos, métodos y el tipo de relación que existe entre las mismas el cual es de composición pues este describe la relación entre un conjunto de partes y una parte de este todo, esto significa que si el sistema elimina el todo “Cambio\_Escena”, las demás clases no pueden funcionar de manera independiente. La descripción de la función de cada clase se presenta a continuación en la tabla N°30

**Tabla N°30** Descripción de las clases del módulo Visión General

Clase	Descripción
Cambio_Escena	Clase principal del módulo, pues es la que me permite acceder a cada elemento “GameObject” que representan una escena dentro de la aplicación, para ello cuenta con métodos que permiten realizar este cambio como TrexOpciones(), SeleccionPresion(), SeleccionTemp(), entre otros.
Trex	Clase que contiene instrucciones tipo Text que permiten describir el funcionamiento del equipo y de los principales elementos del módulo de comunicación, se asocia a la clase principal mediante el método SetActive(), para su acceso.

Interaccion_Trex	Clase que permite observa y manipular el dispositivo modelado en 3D
Presion	Clase que permite acceder a las opciones del transmisor de presión
Temperatura	Clase que permite acceder a las opciones del transmisor de temperatura
TwoHandsGrabI	Clase proporcionada por el SDK del visor de realidad aumentada que permite agarrar el modelo 3D con ambas manos.
Finalizar_Aplicacion	Clase que permite cerrar la aplicación de realidad aumentada , usando el método Quit()

### Módulo de Entrenamiento: Conexión de transmisor de presión

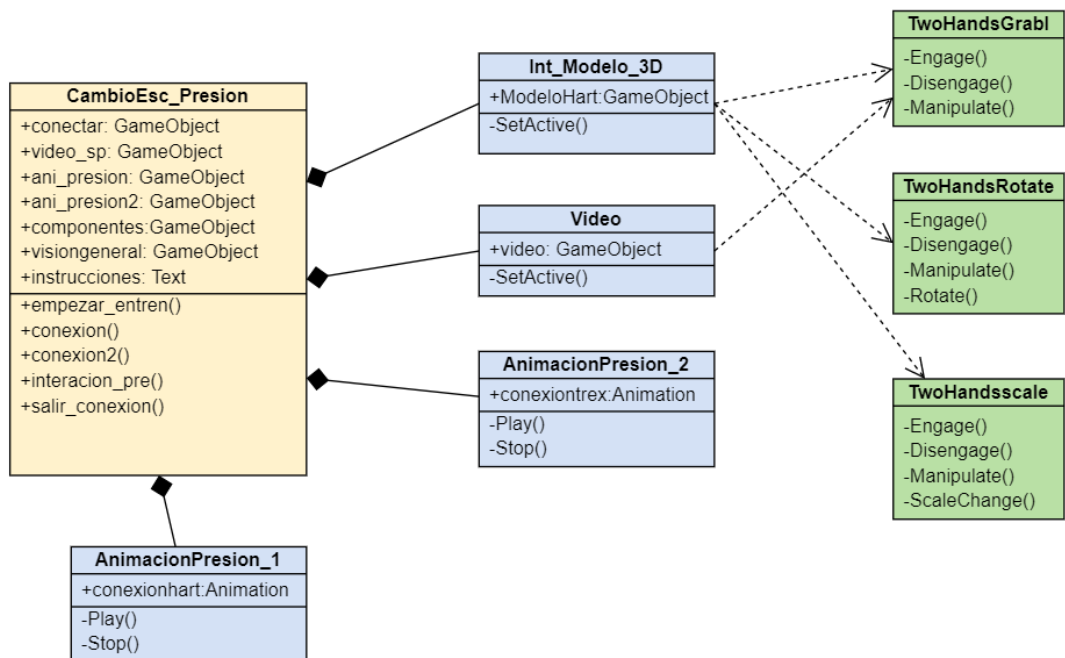


Figura N°12: Diagrama de clases del Módulo de Entrenamiento-Conexión

Como se observa en la figura N°12 se presentan las clases utilizadas en la etapa de conexión del módulo de entrenamiento del transmisor de presión; es importante destacar que el tipo de relación entre la clase principal “CambioEsc\_Presion” y las enlazadas a esta, es de composición, y la relación entre la clase “Int\_Modelo\_3D” con

las clases proporcionadas por el SDK de las gafas de realidad aumentada para la manipulación de los objetos es de tipo dependencia pues necesita los métodos proporcionados por esas clases para realizar tareas de interacción. En el Anexo B se puede observar el manual de integración de interacciones de usuario en la escena. La descripción de la función de cada clase se presenta a continuación en la tabla N°31.

**Tabla N°31** Descripción de las clases del Módulo de Entrenamiento (Conexión)

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
CambioEsc_Presion	Clase que me permite acceder a cada elemento público “GameObject” que conforman la interfaz de usuario, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.
In_Modelo_3D	Mediante el uso de esta clase es posible observa y manipular el transmisor de presión modelado en 3D
Video	Dentro de la conexión se ofrece un video demostrativo de la misma, se usa el método privado SetActive() para acceder a este.
Animacion_Presion1 Animacion_Presion2	Ambas clases permiten visualizar las animaciones que muestran las conexiones del dispositivo programador de campo TREX con el equipo HART. Cuenta con los métodos Play(), y Stop() para reproducir y detener la animación respectivamente.
TwoHandsGrabI TwoHandsRotate TwoHandsScale	Clases publicas proporcionada por el SDK del visor de realidad aumentada que permiten agarrar el modelo 3D con ambas manos, rotarlo y escalarlo respectivamente.

### **Módulo de Entrenamiento-Configuración de transmisor de presión**

Como se ha especificado en el diagrama de componentes, en la fase de configuración del módulo de entrenamiento se divide a su vez en configuración guiada y configuración Manual, de esta manera en la figura N°13 puede observar el diagrama

de clases de la configuración guiada “Guided Setup” y La descripción de cada función se presenta en la tabla N°32.

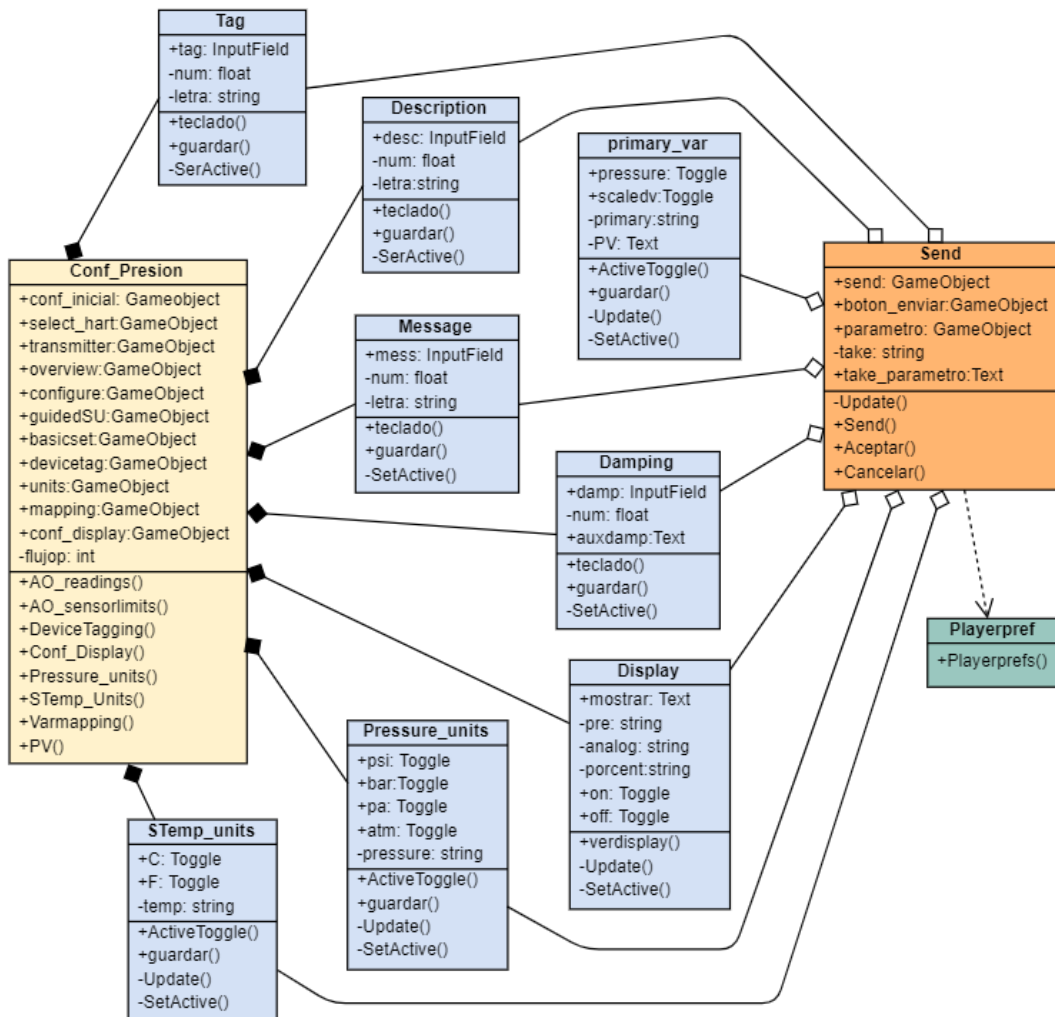


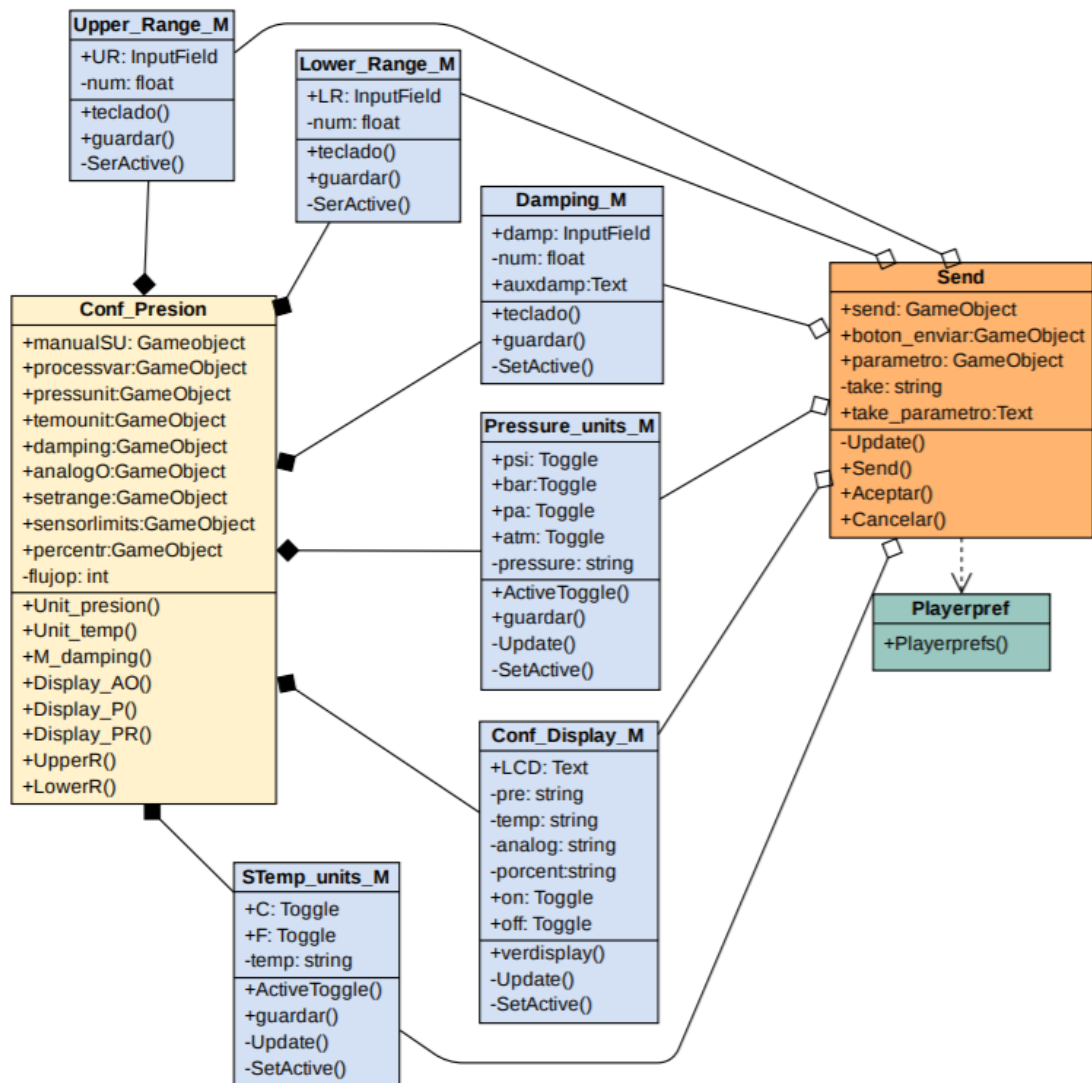
Figura N°13: Diagrama de clases Configuración Guiada-Transmisor de Presión

Tabla N°32 Descripción de las clases de Configuración Guiada (Presión)

Clase	Descripción
Conf_Presion	Clase que permite acceder a cada elemento público “GameObject” que conforman la interfaz de configuración guiada del dispositivo Trex “GuidedSetup”, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.

Tag Description Message	Clases que permite agregar una etiqueta, una descripción y un mensaje al equipo respectivamente. Cuentan con el atributo publico InputField de entrada de datos, y los métodos Teclado(), guardar() para guardar los datos ingresados y SetActive() que se asocia con la clase “Conf_Presion” para acceder a cada escena.
Primary_Var	Clase que permite cambiar el parámetro de la variable principal del transmisor de presión. Utiliza el atributo publico Toggle para representar cada opción elegible y los métodos ActiveToggle() para selección, Update() para actualizar cada cambio y Guardar() para guardar la selección.
Damping	Clase para cambiar el tiempo de respuesta del transmisor
Display	Clase que permite visualizar la pantalla LCD del transmisor con las variables del proceso usando el método publico verdisplay() para la visualización y el método privado Update() que permite actualizar la clase cada vez que se realiza un cambio.
Pressure_units STemp_Units	Clases utilizadas para cambiar las unidades de las variables de proceso.
Send	Esta clase es usada para enviar los cambios realizados en el Trex al transmisor de presión, se asocia a las demás clases pues cada vez que realizan cambios en un parámetro, se debe presionar “Send” en la interfaz de usuario para enviarlos al dispositivo.  Para enviar los cambios esta clase depende de la clase privada de Unity “Playerpref”.
Playerpref	Almacena y accede a las preferencias del usuario[44].

De igual manera en la figura N°14 se presenta el diagrama de clases de la configuración manual “Manual Setup” del módulo de entrenamiento.



**Figura N°14:** Diagrama de clases Configuración Manual-Transmisor de Presión

Debido a que varias de las clases de la configuración manual cuentan con los mismos métodos y atributos de las clases de la configuración guiada, en la tabla N°33 se describe solo la función de las clases añadidas.

**Tabla N°33** Descripción de las clases de Configuración Manual (Presión)

Clase	Descripción
Conf_Presion	Clase principal que permite acceder a cada elemento público “GameObject” de la configuración manual del dispositivo, “Manual Setup”, en donde para cada elemento (escena) se cuenta con un método de acceso.

Upper_Range Lower_Range	Clases que cambian los valores de rango máximo y mínimo de presión respectivamente de acuerdo al proceso. Cuentan con el atributo público InputField de entrada de datos, y los métodos Teclado(), guardar() para guardar los datos ingresados y SetActive() que se asocia con la clase "Conf_Presion" para acceder a cada escena.
----------------------------	--

En cuanto al tipo de relación entre las clases de los diagramas de este módulo se pueden detallar tres tipos de relaciones, la primera de tipo composición que se da entre la clase "Conf\_Presion" y las clases enlazadas a esta, que dependen exclusivamente de la instancia principal para funcionar ; la segunda relación entre las clases secundarias conectadas a la clase "Send" la cual es de tipo agregación que significa que a pesar de que las clases necesitan de la clase "Send" para enviar los cambios al transmisor, su instancia también puede existir de forma independiente sin verse afectado su funcionamiento y finalmente la relación entre la clase "Send" y la clase proporcionada por Unity "Playerpref" que tienen una relación de dependencia.

### **Módulo de Entrenamiento-Conexión de transmisor de temperatura**

Al igual que con el transmisor de presión, se realizó diagramas de clases para los componentes del transmisor de temperatura, de esta forma en la figura N°15 presentan las clases que corresponden a la etapa de conexión del módulo de entrenamiento del transmisor de temperatura; y la descripción de la función de cada clase se presenta a continuación en la tabla N° 34.



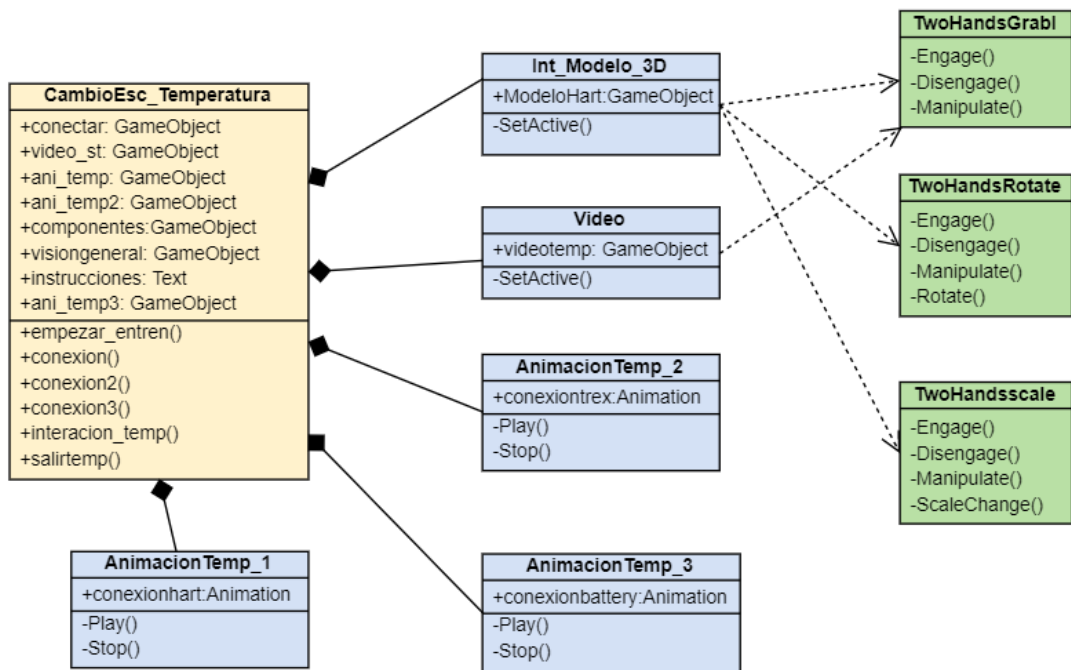


Figura N°15: Diagrama de clases del Módulo de Entrenamiento-Conexión

Tabla N°34 Descripción de las clases del Módulo de Entrenamiento (Conexión)

Clase	Descripción
CambioEsc_Temperatura	Clase que me permite acceder a cada elemento público “GameObject” que conforman la interfaz de usuario del transmisor de temperatura, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.
In_Modelo_3D	Mediante el uso de esta clase es posible observa y manipular el transmisor de temperatura modelado en 3D
Video	Dentro de la conexión se ofrece un video demostrativo de la misma, se usa el método privado SetActive() para acceder a este.
Animacion_Temp1 Animacion_Temp2 Animacion_Temp3	Ambas clases permiten visualizar las animaciones que muestran las conexiones del dispositivo programador de campo TREX con el equipo HART de temperatura. Cuenta con los

	métodos Play(), y Stop() para reproducir y detener la animación respectivamente.
TwoHandsGrabI TwoHandsRotate TwoHandsScale	Clases publicas proporcionada por el SDK del visor de realidad aumentada que permiten agarrar el modelo 3D con ambas manos, rotarlo y escalarlo respectivamente.

### Módulo de Entrenamiento-Configuración de transmisor de Temperatura

Para el transmisor de temperatura también se especifica el módulo de entrenamiento separándolo en dos fases, la configuración guiada y la configuración manual. Las clases que conforman la fase de configuración guiada con sus atributos y métodos, se presentan en el diagrama de las figura N°16.

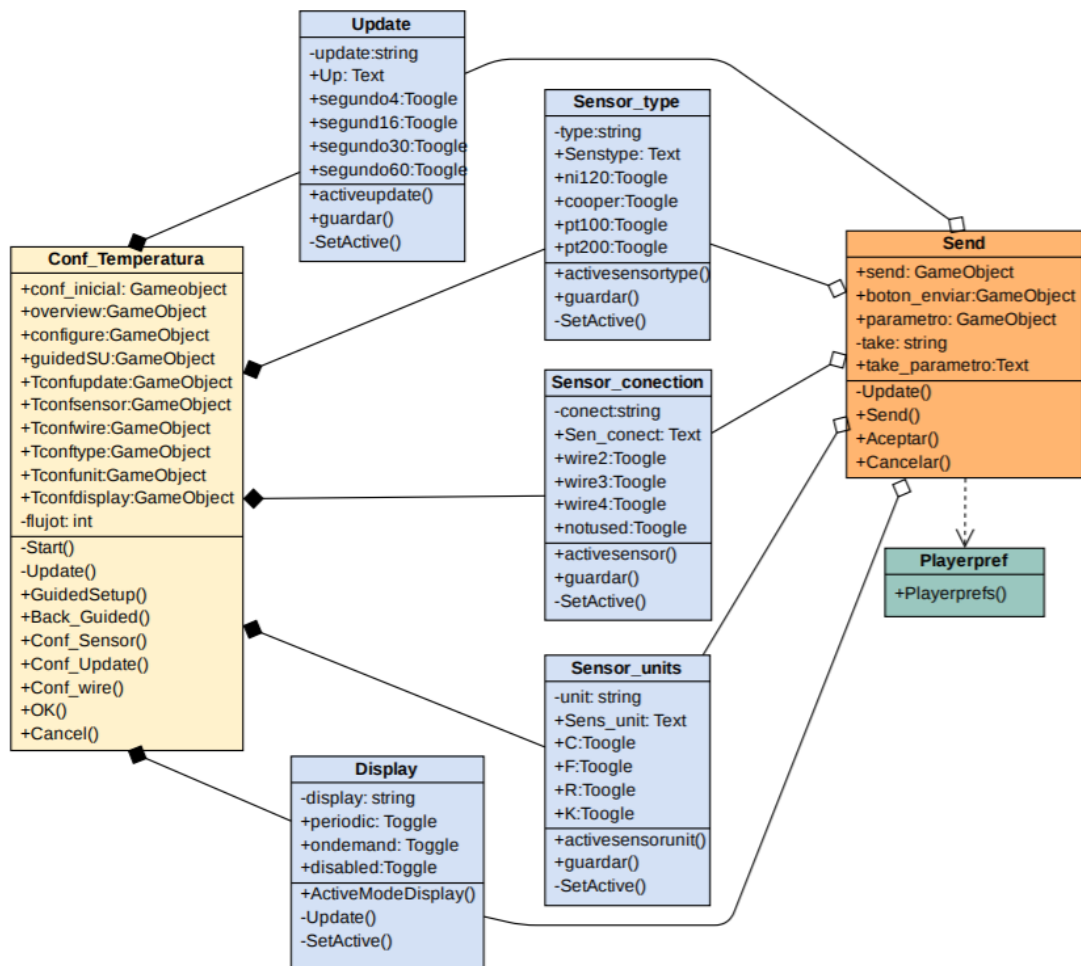


Figura N°16: Diagrama de clases Configuración Guiada-Transmisor Temperatura

La descripción de cada función de las clases del diagrama se presenta en la tabla N°35.

**Tabla N°35** Descripción de las clases de Configuración Guiada (Temperatura)

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
Conf_Temperatura	Clase que permite acceder a cada elemento público “GameObject” que representa cada escena de la configuración guiada “GuidedSetup”, del transmisor de temperatura, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.
Update	Clase que permite cambiar el tiempo de actualización del transmisor. Utiliza el atributo publico Toggle para representar cada opción elegible y los métodos ActiveToggle() para selección, Guardar() para guardar los cambios y SetActive que se asocia a “Conf_Temperatura” para acceder a la escena.
Sensor_Type	Clase para cambiar el tipo de sensor del transmisor de temperatura.
Sensor_Connection	Clase para cambiar el tipo de conexión del transmisor de temperatura.
Display	Clase para seleccionar el modo de funcionamiento del Display, siendo estos, periódico, bajo demanda o deshabilitado.
Sensor_units	Clases utilizadas para cambiar la unidad de la variable de proceso.
Send	Esta clase es usada para enviar los cambios realizados en el Trex al transmisor de temperatura, se asocia a las demás clases pues cada vez que realizan cambios en un parámetro, se debe presionar “Send” en la interfaz de usuario para enviarlos al dispositivo.  Para enviar los cambios esta clase depende de la clase privada de Unity “Playerpref”.
Playerpref	Almacena y accede a las preferencias del usuario.

De igual manera las clases que conforman la fase de configuración manual se presentan en el diagrama de la figura N°17 y debido a que existen clases que se utilizan tanto en la configuración guiada como manual, en la tabla N°36 se presenta la descripción de las clases añadidas en el diagrama del “Manual Setup” que no se encuentran en el diagrama de clases del “Guided Setup”.

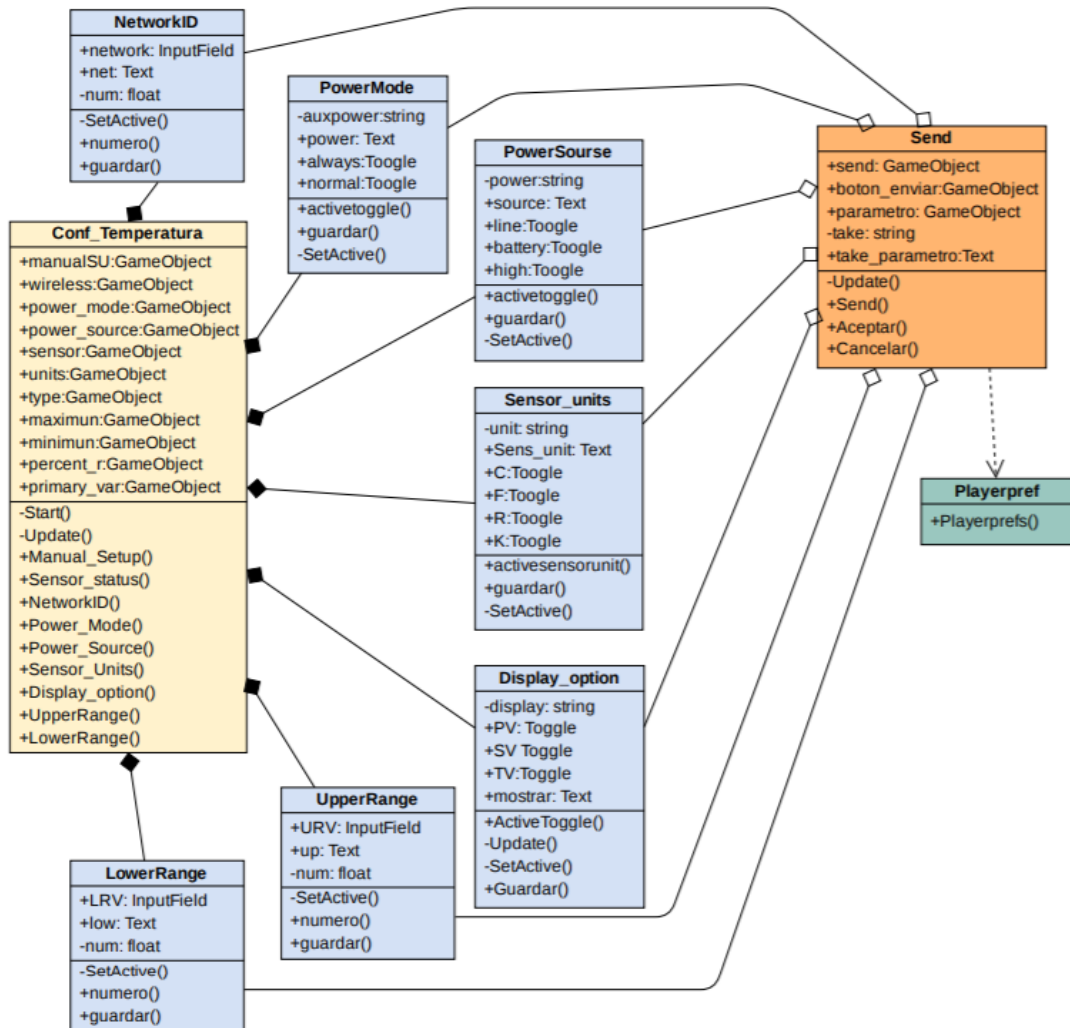


Figura N°17: Diagrama de clases Configuración Manual-Transmisor Temperatura

**Tabla N°36** Descripción de las clases de Configuración Manual (Temperatura)

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>
Conf_Temperatura	Clase que permite acceder a cada elemento público “GameObject” que representa cada escena de la configuración manual “ManualSetup”, del transmisor de temperatura, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.
NetworkID	Clases que permite agregar una identificación de red. Cuentan con el atributo publico InputField de entrada de datos, y los métodos numero(), guardar() para guardar los datos ingresados y SetActive() que se asocia con la clase “Conf_Temperatura” para acceder a cada escena.
PowerMode PowerSource	Clase para cambiar el modo de energía y la fuente de alimentación del transmisor de temperatura respectivamente. Utiliza el atributo publico Toggle para representar cada opción elegible y los métodos ActiveToggle() para selección, Guardar() para guardar los cambios.
Display_Options	Clase para seleccionar los parámetros que se visualizaran en el Display.
Upper_Range Lower_Range	Clases que cambian los valores de rango máximo y mínimo de temperatura respectivamente de acuerdo al proceso. Cuentan con el atributo publico InputField de entrada de datos, y los métodos numero(), guardar() para guardar los datos ingresados.

### **Módulo de Evaluación**

El módulo de evaluación presenta el mismo diseño tanto para el transmisor de presión como para el transmisor de temperatura por lo cual en la figura N° 18 se puede observar el diagrama de clases del módulo de evaluación que representa a ambos transmisores y en la tabla N°37 se describe cada clase del diagrama.

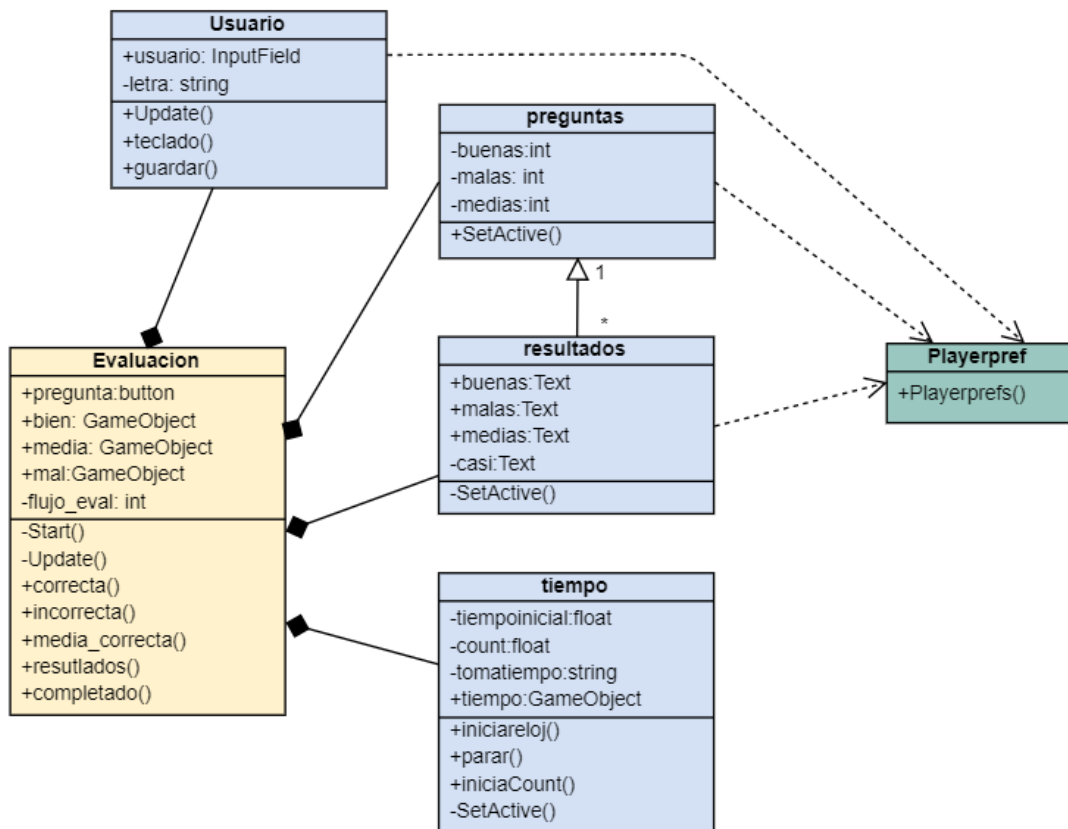


Figura N°18: Diagrama de clases de Modulo de evaluación

Tabla N°37 Descripción de las clases del módulo de Evaluación

Clase	Descripción
Evaluación	Clase principal para acceder a cada elemento público “GameObject” que conforman la interfaz del modo de evaluación, en donde para cada elemento se cuenta con un método de acceso.
Usuario	Clases que permite agregar un nombre de usuario al empezar la evaluación. Cuentan con el atributo publico InputField de entrada de datos, y los métodos Teclado(), guardar() para guardar los datos ingresados. Para guardar el dato ingresado esta clase depende de la clase privada de Unity “Playerpref”.
Preguntas	Clase que contiene las preguntas de la evaluación. Utiliza los atributos “buenas”, “malas” y “media” de tipo Int para guardar las respuestas dadas por el usuario.

Resultados	Clase para presentar los resultados de la evaluación. Utiliza el atributo Text que obtiene los resultados de la clase “Preguntas” mediante la clase “Playerpref”
Tiempo	Clase que permite integrar un temporizador a cada pregunta, para tomar el tiempo que el usuario tarda en responderla. Cuenta con los métodos IniciarCount() y Parar() para iniciar el conteo y detenerlo cuando el usuario haya respondido la pregunta, respectivamente.
Playerpref	Almacena y accede a las preferencias del usuario.

### **Etapa 3: Desarrollo de interfaz y recursos multimedia**

Para el cumplimiento del tercer objetivo “Desarrollar el sistema de Realidad Aumentada aplicado a la puesta en marcha de instrumentación HART”, en esta sección se lleva a cabo el desarrollo de la aplicación que corresponde a la formación de los objetos virtuales como tal, para ello primeramente se debe diseñar los modelos 3D de los equipos a utilizar. Además utilizando cada uno de los elementos generados, contenidos teóricos y contenidos evaluativos se diseña la interfaz gráfica de usuario (GUI).

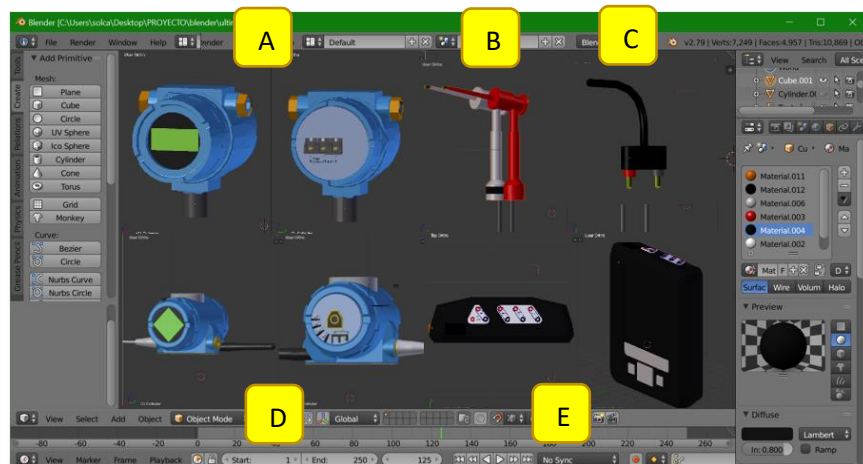
Diferentes scripts describen la interacción entre el usuario y el entorno virtual, es decir, describe las acciones requeridas por el usuario para completar la maniobra. Los clics válidos se definieron utilizando los diferentes controladores de eventos de Unity 3D. El paquete SDK del visor de realidad proporciona Prefabs para definir tipos válidos de selección y manipulación permitidos para la escena.

#### **Diseño de Objetos Virtuales**

Dentro del entorno de Realidad Virtual se debe ubicar cada uno de los objetos 3D que serán vinculados en el entrenamiento y con los cuales podrá interactuar el usuario; estos son, el transmisor Rosemount 2088, el transmisor de temperatura Rosemount 648, el dispositivo comunicador de campo TREX y los elementos de conexión de los mismos (cables, batería), los cuales serán construidos en el software de diseño Blender, gracias a las propiedades que este tiene como la creación de texturas, mallas, renderizado y color, que proporcionan un mayor realismo al ambiente virtual, además

de tener la característica de exportar archivos de extensión .fbx que son compatibles con el motor gráfico Unity 3D[45].

A continuación se detallan los modelos 3D diseñados usando herramientas básicas de construcción de malla y modelado que permiten alterar la geometría del modelo a partir de figuras básicas tridimensionales, para obtener los objetos con efectos llamativos, lo más apegados a la realidad. En la figura N°19 se pueden observar todos los diseños 3D creados, en donde (A) corresponde al Transmisor de presión Rosemount 2088, (B) y (C) hacen referencia a los cables de conexión con el dispositivo Hart y Trex respectivamente, (D) Transmisor de temperatura Rosemount 648 y finalmente (E) corresponde al Dispositivo comunicador de campo TREX.



**Figura N°19:** Diseño de los elementos 3D para interfaz de entrenamiento

Finalmente, luego de haber diseñado todos los objetos virtuales se deben exportar con formato .fbx, para ser integrados dentro de la interfaz del ambiente virtual de Unity 3D.

### **Interfaces Diseñadas**

La interfaz gráfica de usuario o GUI (Graphical User Interface), es el entorno que gestiona la interacción con el usuario basándose en relaciones visuales, para representar la información y acciones disponibles de la aplicación virtual, y se utiliza para que el usuario establezca un contacto más fácil e intuitivo con el sistema.



A continuación se presentan las interfaces diseñadas en el Software de desarrollo Unity, mismas que fueron modeladas en base los diagramas presentados en el apartado anterior. Refiérase al anexo C. de este documento para visualizar el manual de creación de las interfaces principales de la aplicación.

### Menú de opciones

En la figura N°20 se puede observar las principales interfaces que contienen los menús de selección con los que interactúa el usuario para acceder a las diferentes opciones que ofrece la aplicación, siendo así (A) la interfaz de bienvenida al sistema de entrenamiento, (B) el menú principal del comunicador AMS Trex, donde se presentan las opciones generales del dispositivo comunicador (C) Interfaz para seleccionar el Equipo HART con el que se desea trabajar y (D) interfaz con las opciones del dispositivo ya sea de presión o temperatura para acceder a la visión general o al módulo de entrenamiento.

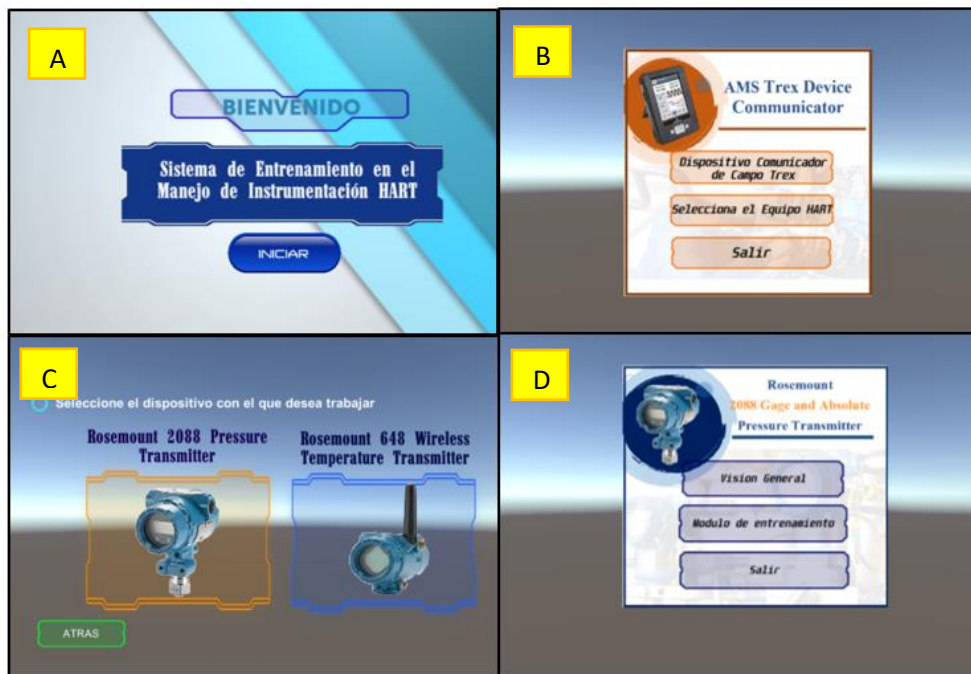


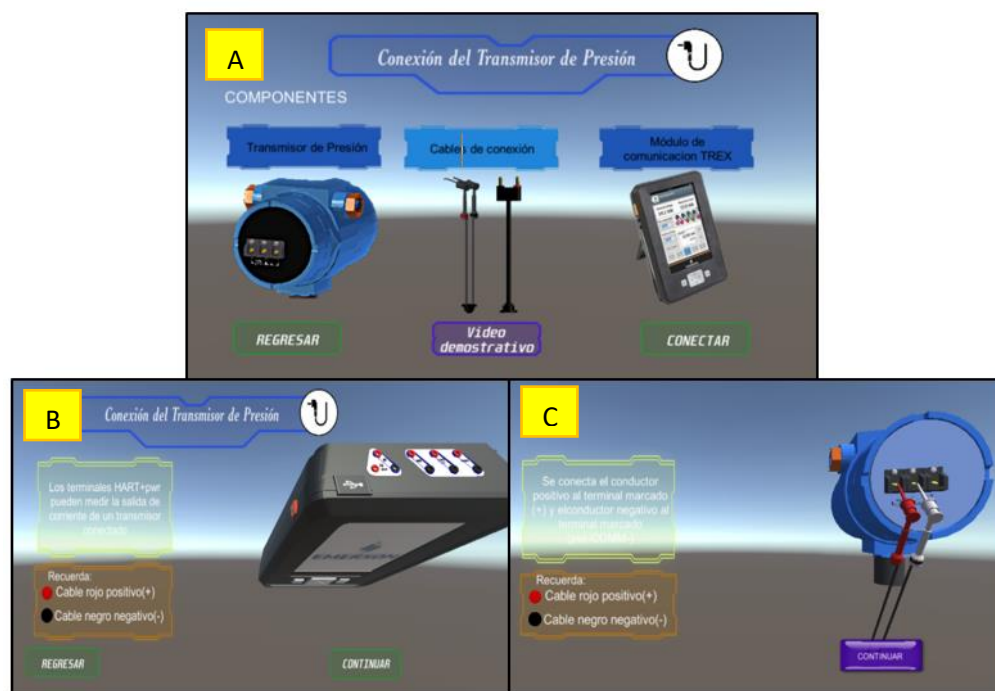
Figura N°20: Interfaces principales de menús de opciones de la aplicación

### Módulo de entrenamiento: Conexión del dispositivo

Las interfaces diseñadas dentro del módulo de entrenamiento en la primera fase que corresponde a la conexión del dispositivo son las que se muestran en la figura N°21, en donde (A) corresponde a la interfaz de componentes de conexión que muestra cada

una de las partes necesarias para realizar la conexión de los equipos y además adiciona un video demostrativo de conexión, (B) Conexión del dispositivo programador Trex y (C) conexión del transmisor de presión, donde en ambas se muestra las instrucciones de conexión y se reproducen las animaciones del modo en que deben ser conectados los dispositivos

Es importante mencionar que a modo ejemplo se seleccionaron solo las interfaces del transmisor, sin embargo las interfaces del transmisor de temperatura tienen los mismos componentes y características de interacción.



**Figura N°21:** Interfaces del módulo de entrenamiento-Conexión (presión)

### **Módulo de entrenamiento: Configuración del dispositivo**

Para el módulo de entrenamiento en su segunda fase que es la configuración del dispositivo, en la figura N°22 se detalla las principales opciones iniciales de configuración en el dispositivo de presión como son (A) la pantalla de inicio del comunicador Trex, que es la misma que se presenta en la interfaz del equipo real, (B) pantalla de selección del dispositivo HART, para conectarse con el dispositivo, (C) el menú de tablero de dispositivo con las opciones principales de navegación (D) pantalla configure del dispositivo para acceder a “Guided Setup” o “Manual Setup” y empezar la configuración de parámetros.



**Figura N°22:** Interfaces del módulo de entrenamiento-Configuración (presión)

También dentro de este módulo una vez que se accede a la configuración guiada o manual, se tienen las interfaces de configuración de parámetros, como se puede observar en la figura N°23 se presenta varias interfaces que corresponden a (A) menú de opciones de la configuración guiada, donde las opciones principales de configuración son la configuración básica del dispositivo y configuraciones de visualización del Display, (B) Parámetro configurable de unidades de presión, que muestra un conjunto de opciones de unidades que el usuario despliega y selecciona de acuerdo a las necesidades de su proceso, (C) opción Send del comunicador que es una de las más importantes que el usuario debe presionar siempre para enviar los cambios realizados al transmisor conectado y (D) Interfaz de configuración y visualización del Display que cuenta con un modelo 2D de la pantalla LCD del transmisor donde se visualizan los cambios como en el equipo real.



**Figura N°23:** Interfaces del módulo de entrenamiento-Configuración (presión)

### Módulo de evaluación

Finalmente en la figura N°24 se presentan las principales interfaces creadas en el módulo de evaluación las cuales corresponden a, (A) interfaz de finalización del módulo de entrenamiento que aparece cuando el usuario ha culminado las configuraciones, con un conjunto de opciones entre ellas la selección de módulo de evaluación, (B) Empezar Test, en la que se brinda las instrucciones generales que el usuario deberá seguir al realizar el test, que explican que el cuestionario consta de 6 preguntas las cuales se irán habilitando a medida que conteste la pregunta anterior, y que cuentan con un tiempo de 2 minutos para responder cada pregunta (C) Ingresar nombre de usuario, donde se registra el nombre de usuario para luego presentar los resultados.(D) Interfaz de preguntas de evaluación, que consta de las seis preguntas y permiten la retroalimentación, mostrando las preguntas correctas o incorrectas y (E) interfaz para resolución de pregunta con tiempo cronometrado y (F) Tabla de resultados, con el nombre de usuario ingresado y el conteo de respuestas correctas, medianamente correctas e incorrectas.



Figura N°24 Interfaces principales de módulo de evaluación

**Etapa 4: Evaluación y Validación:** Con los modelos finalizados y definidos ya en la aplicación, en esta etapa se realiza el proceso de evaluación del sistema de entrenamiento, con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo “Validar el ambiente de Realidad Aumentada diseñado e implementado”.

La aplicación de realidad aumentada como herramienta de entrenamiento y capacitación sobre la puesta en marcha y el manejo de dispositivos HART, integra las funciones de realidad aumentada para interacción con las interfaces de entrenamiento y los modelos 3D, por tal razón es de gran importancia la adecuada proyección de los objetos, y por tanto deben considerarse en este proceso de integración y validación todos los aspectos que puedan afectar su funcionamiento, debido a estas razones es necesario detallar el modo de funcionamiento de la aplicación, y realizar una

descripción del cuestionario correspondiente al módulo de evaluación implementado y de las preguntas de la encuesta virtual realizada para la evaluación de funcionalidad de la herramienta.

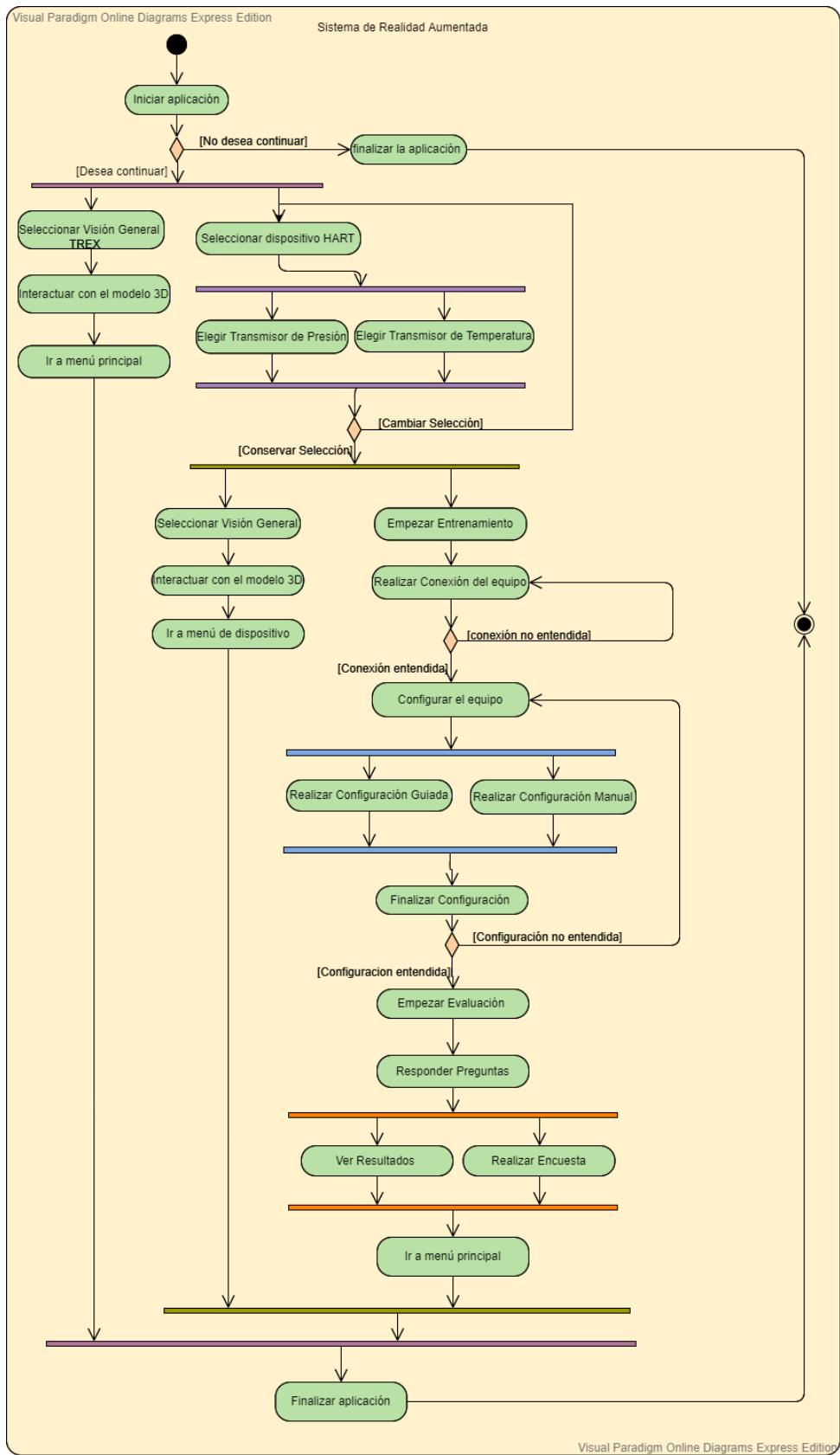
### **Diagrama de actividades del sistema de RA**

Desde una perspectiva conceptual, el diagrama de actividades muestra el flujo de control de unas clases a otras con la finalidad de describir el comportamiento del sistema y culminar con un flujo de control total que corresponde a la consecución del proceso. Es decir mediante el diagrama se puede analizar que el resultado de una actividad es una acción que produce un cambio en el estado del sistema.

En la figura N°25 se observa un diagrama, que permite describir gráficamente el conjunto de procesos que seguirá el sistema, en base a las opciones que tiene la aplicación y la selección del usuario. Para mayor información del manejo de la aplicación consulte el manual de usuario (ver Anexo D).

Como se puede observar el usuario ingresa al sistema y puede seleccionar entre las opciones de visión general del TREX dentro de la cual puede interactuar con el modelo 3D o seleccionar el dispositivo HART de presión o temperatura, dentro de las cuales se despliega igualmente un conjunto de opciones que son las mismas para cada tipo de transmisor, estas son seleccionar Visión general del equipo donde puede interactuar con el modelo 3D y conocer su funcionamiento o por otra parte empezar el entrenamiento donde empieza con la opción de conexión del dispositivo y se presenta el nodo de decisión que te permite volver a la conexión en caso de requerir iniciar nuevamente o una retroalimentación, por otra parte del nodo en caso de haber comprendido del todo la primera fase, se continua con la configuración del equipo que a su vez se subdivide en configuración guiada y configuración manual; de igual manera al finalizar esta fase, al usuario se le presenta la opción de volver a empezar la configuración o de continuar hacia el módulo de evaluación, donde debe responder las preguntas propuestas y puede ver sus resultados o llenar una encuesta propuesta por el desarrollador. Finalmente el usuario regresa al menú principal y finaliza la aplicación.





**Figura N°25** Diagrama de actividades de la aplicación

### **Evaluación de funcionalidad de la herramienta**

Los medios de evaluación proporcionan al usuario herramientas para la aplicación práctica de los contenidos y refuerzan el proceso de comprensión de los procedimientos y conceptos aprendidos en el sistema propuesto, debido a que están alineadas con todo el contenido didáctico para que la información proporcionada se relacione directamente con los objetivos propuestos de aprendizaje.

Como se evidencio en el apartado de desarrollo de la propuesta, la aplicación de Realidad Aumentada apropiada para el entrenamiento de estudiantes y técnicos, debe cumplir con características, técnicas en cuanto a software y de diseño de interfaz perceptible e intuitiva, de legibilidad, fácil de usar, inmersiva, de significación y empatía, las mismas que han sido aplicadas en el desarrollo de la aplicación. Estas características son el objeto de validación, para lo cual se utiliza cuestionarios, que son un instrumento de evaluación que permiten conocer la calidad de la aplicación desarrollada, mediante los cuales se obtiene la información que permita evaluar cuantitativamente las reacciones de los usuarios al utilizar la plataforma de entrenamiento virtual 3D para la puesta en marcha y manejo de dispositivos HART.

Se desarrollan dos cuestionarios, el primero que corresponde al módulo de evaluación con preguntas practicas referentes a lo aprendido en el módulo de entrenamiento, y el segundo que corresponde a una encuesta acerca de la percepción de los usuarios sobre el sistema desarrollado. Es asi pues que con ambos cuestionarios se quiere medir la funcionalidad, desempeño y nivel de inmersión, además de conocer cómo influye la aplicación 3D desarrollada en la calidad de aprendizaje de los usuarios.

### **Cuestionario de módulo de evaluación**


De acuerdo a la información anterior, se verifica el funcionamiento del sistema de entrenamiento mediante una evaluación formativa, para que los usuarios puedan comprobar su nivel de comprensión del contenido presentado en las interfaces.

Durante el sistema de validación se propuso un cuestionario que consta de 6 preguntas tanto para el transmisor de presión como para el transmisor de temperatura. De las cuales 2 corresponden a la fase de conexión, y 4 se enfocan en la fase de configuración del dispositivo. Además se le da al usuario un tiempo de 2 minutos para que pueda contestar cada pregunta.

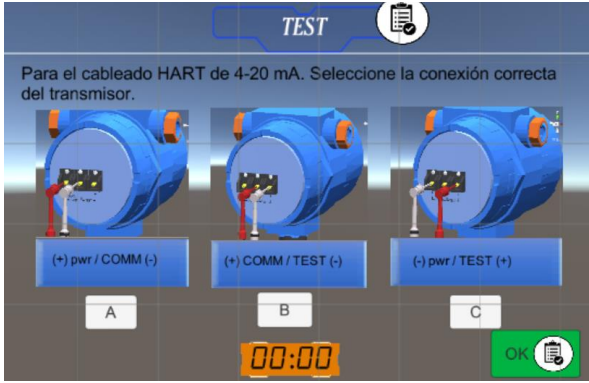


Las preguntas correspondientes a la fase de Conexión tienen por objetivo comprobar que el usuario haya comprendido el modo de conexión de los dispositivos HART (presión y temperatura), con el equipo programador de campo en base a las especificaciones dadas, para lo cual presentan tres opciones pero solo una corresponde a la opción correcta, las otras dos son incorrectas. Cuando el usuario selecciona cualquiera de las opciones, las demás opciones se bloquean, por lo tanto el usuario tiene una sola oportunidad de respuesta. A continuación se describe cada pregunta con sus opciones de selección en las tablas N° 38 y N°39.

**Tabla N°38** Cuestionario de evaluación de Transmisor de Presión (Pregunta 1)


<b>Cuestionario de evaluación de Transmisor de Presión</b>	
<b>Pregunta 1:</b> Para energizar y conectar un dispositivo HART en el módulo de comunicación del Dispositivo Comunicador de Campo se debe conectar en los terminales	
Descripción	Interfaz
<p>Esta pregunta consta de tres opciones de respuestas siendo estas: A) Foundation Fieldbus, B) HART+pwr y C) HART; y de acuerdo al entrenamiento recibido en la conexión del dispositivo para la puesta en marcha del transmisor de presión la respuesta correcta es B, pues es el puerto en el que se debe conectar los cables bajo las especificaciones de que se necesita energizar el equipo.</p>	

**Tabla N°39** Cuestionario de evaluación de Transmisor de Presión (Pregunta 2)


<b>Cuestionario de evaluación de Transmisor de Presión</b>	
<b>Pregunta 2:</b> Para el cableado HART de 4-20 mA. Seleccione la conexión correcta del transmisor.	
Descripción	Interfaz
Las opciones de respuesta de esta pregunta son imágenes que representan modos de conexión del módulo de comunicación del transmisor de presión de los cuales bajo las especificaciones presentadas en la pregunta, la opción correcta corresponde a la A.	

De igual manera para el transmisor de temperatura se presenta en las tablas N°40 y N°41 las preguntas 1 y 2 desarrolladas respectivamente.

**Tabla N°40** Cuestionario de evaluación de Transmisor de Temperatura (Pregunta 1)

<b>Cuestionario de evaluación de Transmisor de Temperatura</b>	
<b>Pregunta 1:</b> Para conectar un dispositivo HART que está energizado externamente, en el módulo de comunicación del Dispositivo Comunicador de Campo se debe conectar en los terminales:	
Descripción	Interfaz
La pregunta consta de tres opciones de respuestas: A) HART, B) mA y C) HART+pwr; y de acuerdo a lo que esta específica, la respuesta correcta es A, pues es el puerto en el que se debe conectar los cables cuando el dispositivo se energiza externamente.	

**Tabla N°41** Cuestionario de evaluación de Transmisor de Temperatura (Pregunta 2)

<b>Cuestionario de evaluación de Transmisor de Temperatura</b>	
<b>Pregunta 2:</b> Para el cableado HART de 4-20 mA. Seleccione la conexión correcta del transmisor.	
Descripción	Interfaz
<p>Similar a la pregunta 2 del transmisor de presión las opciones de respuesta son imágenes que representan modos de conexión del módulo de comunicación del transmisor de presión de los cuales bajo las especificaciones dadas en la pregunta, la opción correcta corresponde a la A.</p>	 <p>The screenshot shows a 'TEST' screen with the instruction: 'Para el cableado HART de 4-20 mA. Seleccione la conexión correcta del transmisor.' Below this are three diagrams of a transmitter module with different wiring configurations:         <ul style="list-style-type: none"> <li><b>A:</b> 'Ambos cables a COMM sin importar la polaridad' (Both cables to COMM, regardless of polarity).</li> <li><b>B:</b> 'Cable "positivo" a COMM' (Positive cable to COMM).</li> <li><b>C:</b> 'Cable "negativo" a COMM' (Negative cable to COMM).</li> </ul>         At the bottom, there is a digital timer showing '00:00' and an 'OK' button with a checklist icon.       </p>

Por otro lado las preguntas correspondientes a la configuración de los equipos pretenden determinar el nivel de reconocimiento de la interfaz del usuario para navegar a través de las opciones de configuración guiada y manual y cambiar los parámetros dados en las especificaciones, como si lo hiciera en el entorno real.

Para lo cual la dinámica de contestación de las preguntas de la fase de configuración es diferente con respecto a la fase anterior, pues el usuario debe desarrollar la actividad propuesta que en este caso corresponden a la configuración de un parámetro tal y como se practicó en el módulo de entrenamiento.

Así pues para determinar el grado de contestación de la pregunta se toma en cuenta acciones imprescindibles en la configuración del dispositivo, teniendo así las siguientes opciones:

- **Correcta:** la respuesta es correcta cuando el usuario ingresa a las opciones de configuración, cambia el parámetro especificado en la pregunta y envía la configuración realizada al transmisor es decir presiona “Send”.

- **Medianamente Correcta:** Este resultado se da cuando el usuario realiza la configuración del parámetro que se le indica pero no envía los cambios al transmisor, es decir olvida presionar “Send”.
- **Incorrecta:** Cuando el usuario no configura el parámetro indicado.

La interfaz con la que se interactúa en la resolución de estas preguntas es una escena general, que cuenta con las opciones de configuración, la visualización del tiempo y un botón “LISTO” cuando el usuario haya finalizado la pregunta. A continuación se describen las preguntas tanto del transmisor de presión como de temperatura.

**Tabla N°42** Cuestionario de evaluación (fase de configuración)

<b>Transmisor de presión</b>	<b>Transmisor de Temperatura</b>
<b>Pregunta 3:</b> Cambie la unidad de Presión a PSI y envíe el cambio realizado al Transmisor.	<b>Pregunta 3:</b> Cambie la unidad de temperatura del sensor a "Kelvin" y envíe el cambio realizado al Transmisor.
<b>Pregunta 4:</b> Cambie el valor del Rango Superior de presión (URV) y envíe el cambio realizado al Transmisor.	<b>Pregunta 4:</b> Cambie el valor del Rango Superior de temperatura del Sensor y envíe el cambio realizado al Transmisor.
<b>Pregunta 5:</b> Cambie el valor de Amortiguación (Damping) y envíe el cambio realizado al Transmisor.	<b>Pregunta 5:</b> Cambie el tipo de sensor a "Copper 10" y envíe el cambio realizado al Transmisor.
<b>Pregunta 6:</b> Cambie el estado de los ítems "Pressure Units" y "% of Range" para que se visualicen en el Display y envíe los cambios al Transmisor.	<b>Pregunta 6:</b> Cambie el estado de los ítems "Temp Unit" y "% of Range" para que se visualicen en el Display y envíe los cambios al Transmisor.
<b>Interfaz General</b>	



### **Encuesta de la aplicación virtual**

Para la encuesta se diseñó un cuestionario corto que consta de 5 preguntas cerradas con una escala de Likert limitadas a responder con los siguientes valores 1= nunca/nada, 2= raramente/poco, 3= ocasionalmente/algo, 4= casi siempre/bastante, 5= siempre/mucho según la pregunta que corresponda, fáciles de comprender y que sobretodo permitirán obtener información sobre la percepción de los usuarios hacia el sistema desarrollado. Las preguntas fueron realizadas dentro de la aplicación como un apartado más del módulo de evaluación. Refiera al Anexo E donde se encuentran especificadas las preguntas de la encuesta realizada para la validación del sistema de realidad aumentada.

#### **3.1.2 Discusión de Resultados**

Usando un conjunto de instrucciones sencillas y siguiendo el modelo, este estudio mostró que un entorno de capacitación virtual puede ayudar a las personas a aprender un nuevo procedimiento de manera más eficiente, para ser aplicarlo cuando lo requiera con módulos de interacción intuitivos, y fáciles de manejar porque no requiere mucho tiempo o esfuerzo especial. También mediante la observación de los participantes de la evaluación fue posible notar que se sentían muy cómodos interactuando con el sistema, pues estaban siendo guiados todo el tiempo y las instrucciones de interacción eran bastante sencillas, además de ser novedosa la aplicación les permitió una mayor inmersión y comprensión del contenido.

El sistema de AR para entrenamiento se evalúa a través de varios intentos en tiempo real y por los actores interesados, obteniendo resultados de evaluación muy satisfactorios. Cuando los usuarios probaron la aplicación se tuvo la oportunidad de realizarles una serie de preguntas abiertas a modo de entrevista, sobre su percepción

sobre el sistema desarrollado; de la cuales ellos mencionaron que encontraron interesante la aplicación y que les pareció novedoso e interactivo poder ver los modelos 3D en la pantalla y poder moverlos, también comentaron que la aplicación demostró ser intuitiva y muy útil para conocer el funcionamiento de dispositivos con los que se encuentran en constante interacción en los procesos de campo como ingenieros industriales.

Los usuarios hicieron alusión a los medios utilizados para dar a conocer la información, explicando que las instrucciones escritas los guiaban en todo el entrenamiento y los videos explicativos reforzaban el conocimiento. Incluso hubo menciones al aprendizaje, todos los usuarios dijeron haber entendido como se utiliza el software y que el haber podido utilizar las gafas de realidad aumentada permitía una mayor comprensión del contenido pues es una forma novedosa y más inmersiva, en comparación a la manera convencional de recibir un entrenamiento o capacitación en el manejo de equipos de campo, y que para la industria manufacturera le permite avanzar en el proceso de programación de los sistemas de capacitación. En la figuras N° 26 y N° 27 se puede observar a los usuarios utilizando el sistema de realidad aumentada para entrenamiento en el manejo de equipos HART.



**Figura N°26** Estudiantes usando la aplicación de RA.





**Figura N°27** Trabajadores usando la aplicación de RA

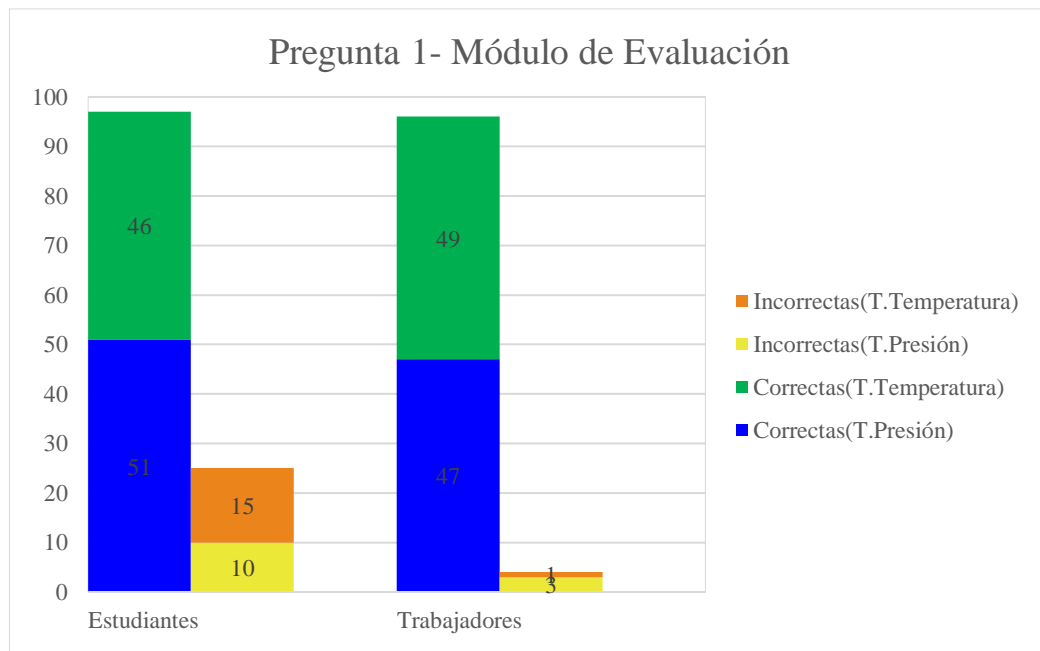
### **Resultados del Módulo de Evaluación**

A continuación se presentan los resultados obtenidos a través del “Cuestionario del módulo de evaluación” que fue completado por un grupo de 111 usuarios de los cuales 61 fueron estudiantes y 50 profesionales seleccionados por muestreo como se observa en el apartado Población y muestra del capítulo III. Por cada pregunta del Test se presenta un gráfico de barras apiladas y agrupadas que muestran los resultados obtenidos en cada uno de los puntos evaluados, tanto por los estudiantes como por los trabajadores. En la tabla N°47 se presenta los gráficos con su análisis e interpretación.

Los mismos usuarios realizaron la práctica tanto con el transmisor de presión como con el transmisor de temperatura, así pues para cada pregunta especificada anteriormente, los resultados obtenidos fueron los siguientes.

## Preguntas de la fase de conexión

### Pregunta 1



Grafica N°1 Pregunta 1 del módulo de evaluación

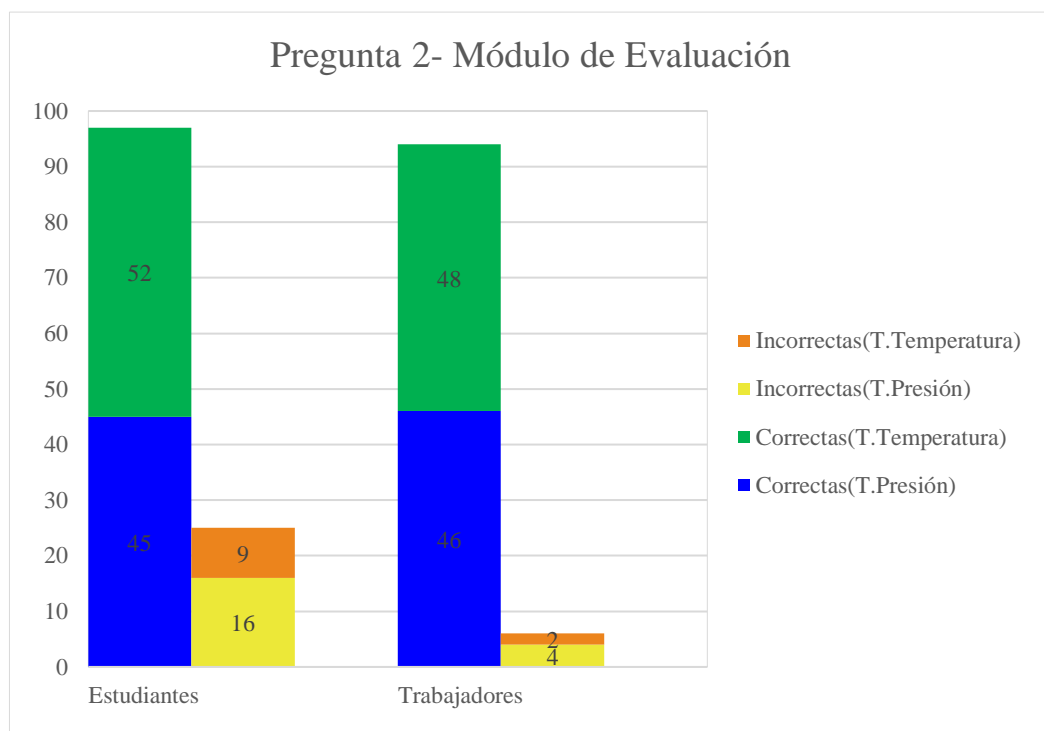
**Análisis e Interpretación:** En la gráfica se pueden observar el número de estudiantes y trabajadores que contestaron la pregunta 1 de manera correcta e incorrecta. De los 61 estudiantes evaluados se tiene que, 51 contestaron correctamente y 10 contestaron de forma incorrecta la pregunta correspondiente al módulo de evaluación del transmisor de presión, de igual manera para el transmisor de temperatura 46 estudiantes contestaron de manera correcta y 15 de manera incorrecta; Haciendo un análisis global se tiene que el 79% de los estudiantes evaluados contestó de forma correcta y el 21% de manera incorrecta.

En cuanto a los trabajadores se tiene que para el Transmisor de Presión 47 contestaron de manera correcta y tan solo 3 de manera incorrecta y para la pregunta correspondiente al módulo de evaluación del transmisor de temperatura 49 trabajadores contestaron de manera correcta y solo 1 trabajador contestó de manera incorrecta, teniendo de igual forma un porcentaje general de 96% de técnicos evaluados que contestaron de manera correcta y tan solo 4% que respondió de forma incorrecta.



De acuerdo a estos resultados se puede apreciar que la mayor parte de los usuarios tuvo más aciertos que fallas, es decir, tiene claro como energizar y conectar los dispositivos HART con las respectivas terminales del módulo de comunicación del programador de campo Trex; además se puede destacar que el número de errores cometidos por los técnicos es mucho menor, en referencia a los de los estudiantes, pues ellos están en constante interacción con los dispositivos HART en los procesos de la empresa.

## Pregunta 2



**Grafica N°2** Pregunta 2 del módulo de evaluación

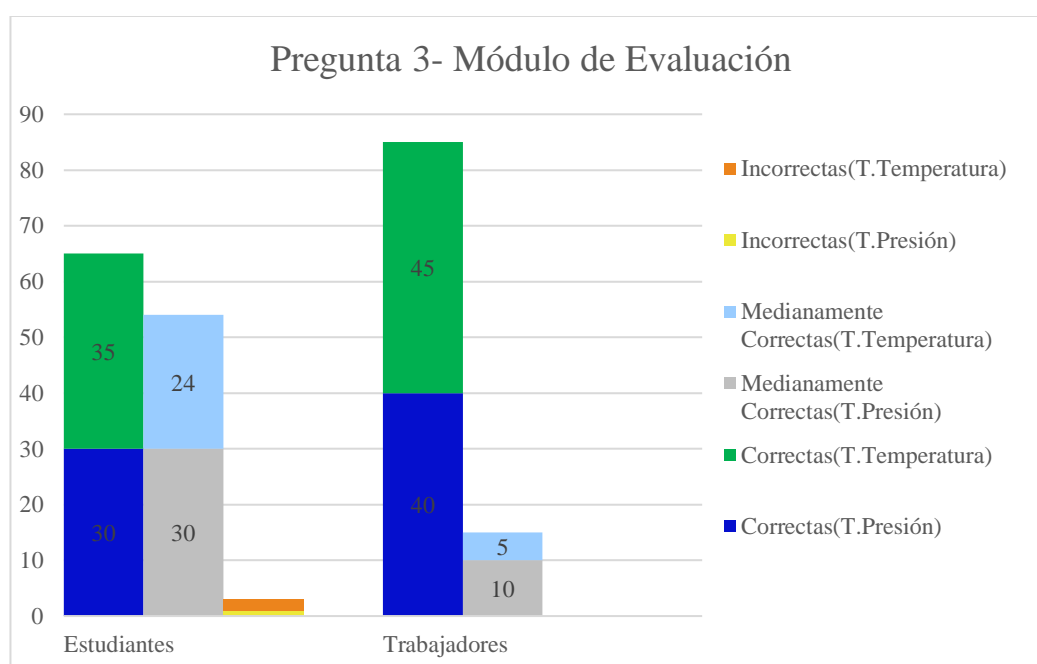
**Análisis e Interpretación:** De los 61 estudiantes evaluados tanto del transmisor de presión como de temperatura, para esta pregunta que igual hace referencia al modo de conexión de los dispositivos, cerca del 80% contestó correctamente la pregunta y tan solo el 20% la contestó incorrectamente.

De igual manera de los 50 trabajadores evaluados, la mayor parte de ellos, alrededor del 94% contestó de forma correcta y tan solo un 6% lo hizo de manera incorrecta. Lo que se puede evidenciar es que al igual que con la pregunta 1, los estudiantes y trabajadores están en la capacidad de realizar el cableado (4-20 mA) en el bloque de terminales del dispositivo HART, para establecer comunicación con el equipo

comunicador de campo Trex. Así mismo el porcentaje de respuestas fallidas por parte de los trabajadores es menor en comparación con las de los estudiantes; sin embargo los estudiantes solo realizaron la evaluación una sola vez y obtuvieron buenos resultados, lo que permite deducir que mediante la práctica pueden obtener un nivel de conocimiento mayor, y por ende obtener mejores resultados que es en sí el objetivo de la aplicación.

### Preguntas de la fase de configuración

#### Pregunta 3



Gráfica N°3 Pregunta 3 del módulo de evaluación

**Análisis e Interpretación:** Como ya se explicó para la fase de configuración la dinámica de contestación cambia, teniendo así una gráfica tanto para estudiantes como para trabajadores con los modos de respuesta etiquetados por colores, en la leyenda al lado derecho de la gráfica para el transmisor de presión y temperatura. Como se puede evidenciar en el gráfico de los 61 estudiantes el 53% contestó correctamente, el 44% medianamente correcto y solo el 3% no contestó o lo hizo incorrectamente, es decir no realizó la tarea especificada. Así mismo de los 50 trabajadores evaluados el 85% contestó correctamente, el 15% lo hizo medianamente correcto y ninguno tuvo respuestas incorrectas.

En lo que concierne a esta pregunta que en términos generales pedía cambiar la unidad de medida de la variable de proceso y enviar el cambio realizado al transmisor, se destaca el hecho de que es mínimo el porcentaje de estudiantes que contestaron incorrectamente y en el caso de trabajadores ninguno lo hizo, lo que significa que la mayoría de los evaluados reconocieron fácilmente la interfaz, para poder navegar entre las opciones y encontrar el parámetro configurable, sobre el cual debían realizar el cambio; lo cual da a entender que el objetivo de la aplicación se está logrando, sin embargo aún es necesario trabajar sobre ese pequeño grupo de estudiantes. Por otro lado el porcentaje de trabajadores y estudiantes que contestaron correctamente es bastante significativo, evidenciando que siguieron las especificaciones dadas, y realizaron la configuración de parámetros tal y como si tuvieran el equipo físico en un entorno real, no obstante varios estudiantes tuvieron la misma falla y es que a pesar de que realizaron bien la configuración olvidaron enviarla al transmisor y son los que corresponden al grupo de las respuestas “medianamente correctas”, pero como ya se mencionó mediante la práctica estos detalles se van reforzando.

#### Pregunta 4

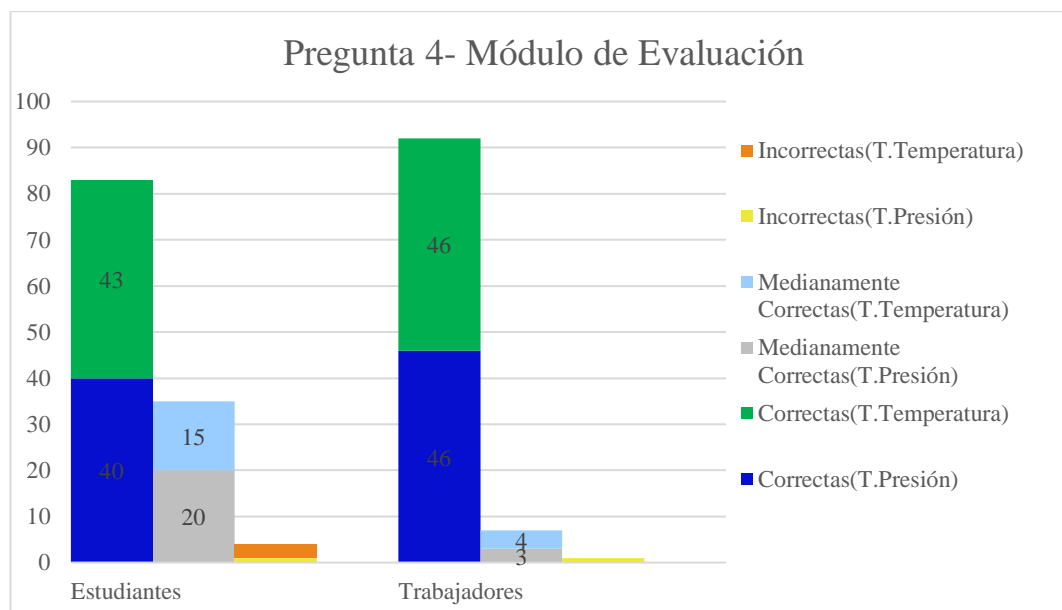


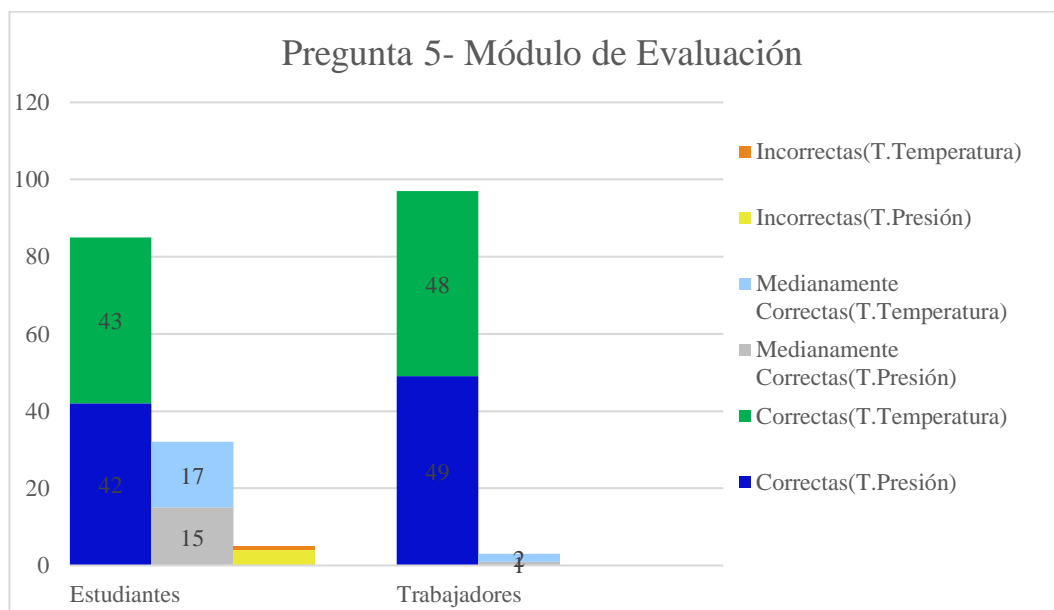
Gráfico N°4 Pregunt 4 del módulo de evaluación

**Análisis e Interpretación:** Para la pregunta 4 que pedía la configuración del parámetro de URV (valor de rango superior) tanto de presión como del sensor de temperatura, De los estudiantes evaluados el 68% realizó la configuración completa

de manera correcta, el 29% lo hizo medianamente correcta y solo 4 estudiantes, es decir el 3% no realizaron lo que especificaba la pregunta. Por otro lado de los trabajadores el 92% contesto correctamente la pregunta, 7% lo hizo medianamente correcto y tan solo el 1% contesto de manera incorrecta o no realizo lo especificado. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede notar que el porcentaje de respuestas correctas tanto de estudiantes como trabajadores es alto y demuestra que están en capacidad de configurar este parámetro, que es uno de los más importantes al momento de determinar los valores de los cuales no puede excederse mi variable de proceso, además es mayor en referencia a los porcentajes obtenidos en la pregunta anterior lo que significa que a medida que los usuarios contestan las preguntas lo toman como un modo de práctica, mejoran su interacción y recorrido por la interfaz, reconocen con mayor facilidad los parámetros configurables mejorando sus habilidades y destrezas. Sin embargo aún existe un porcentaje de estudiantes y trabajadores que olvidan enviar los cambios al transmisor y aunque no es significativo, es necesario seguir trabajando en ello.

En el caso de los trabajadores aunque es mínimo el porcentaje de respuestas medianamente correctas e incorrectas el poder practicar sobre este sistema les permite tomar medidas y mejorar al aplicarlas en entrono real de trabajo.

### Pregunta 5

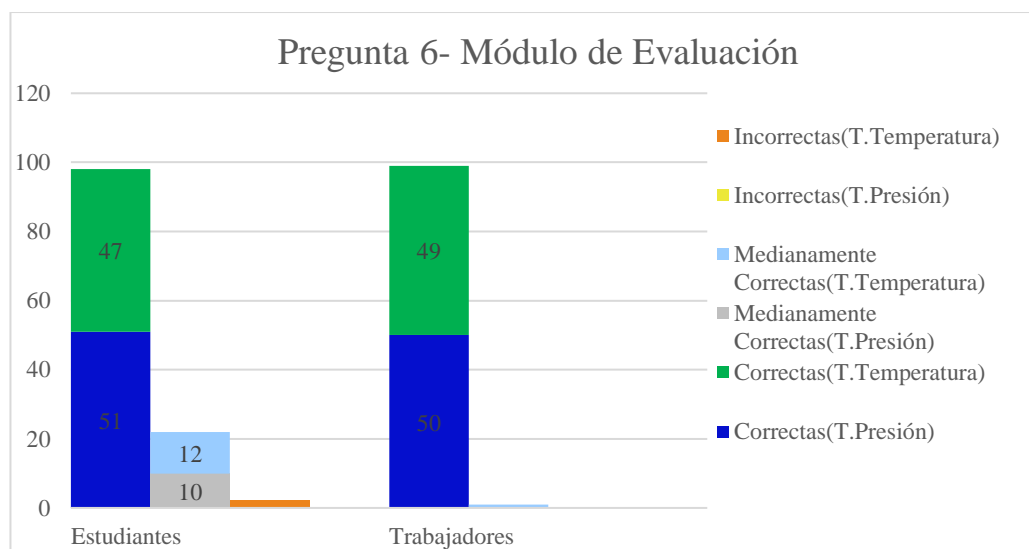


Gráfica N°5 Pregunta 5 del módulo de evaluación

**Análisis e Interpretación:** De los 61 estudiantes evaluados, alrededor del 70% respondieron correctamente a las especificaciones dadas, el 26% contesto medianamente correcto, y tan solo el 4% contesto de forma incorrecta. En cuanto a los trabajadores evaluados, se tiene que casi el total de ellos, es decir un 97% contesto de manera correcta y un 3% lo hizo medianamente correcto, casi un resultado perfecto, demostrando que con cada respuesta a medida que practican el nivel de comprensión mejora, aprenden a manejar mejor el equipo virtual, configurando parámetros de importancia en un proceso industrial, y desarrollan más sus habilidades lo cual les permitirá manejar los dispositivos reales con la misma destreza y facilidad como lo hacen en el entorno virtual.

**Análisis e Interpretación:** En cuanto al requisito de esta pregunta que se trata básicamente de la configuración de los parámetros que se visualizan en el Display del dispositivo HART tanto de presión como de temperatura, se tiene que de los estudiantes, el 80% realizo la pregunta de manera correcta, el 18% lo hizo de manera medianamente correcta y tan solo el 2% contesto de forma incorrecta o no hizo lo especificado. En cuanto a los trabajadores se tiene que el 99% lo hizo de forma correcta siguiendo las instrucciones y tan solo 1% lo realizo medianamente correcto, sin embargo es un resultado excelente, que permite interpretar que para este punto de la evaluación, el usuario conoce la dinámica del sistema, y está en capacidad de configurar los parámetros que desea visualizar en la pantalla LCD del transmisor.

### Pregunta 6

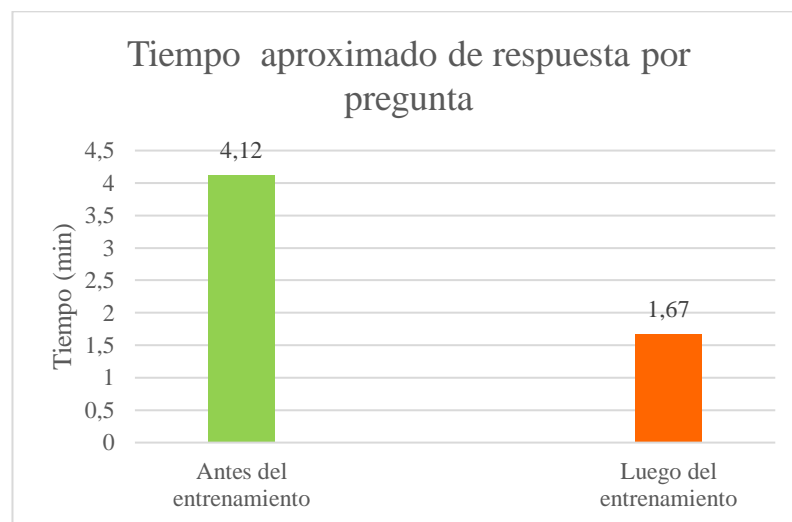


**Gráfica N°6** Pregunta 6 del módulo de evaluación

Además en comparación con las preguntas anteriores el porcentaje de respuestas correctas incrementa por lo tanto el usuario está realizando una retroalimentación de lo aprendido, y de los errores cometidos que puede ir puliendo mientras más practique en la sistema virtual y estar completamente seguro de sus acciones para la puesta en marcha y manejo cuando lo lleve a la práctica en el entorno real.

### **Comparación de tiempos de configuración de parámetros**

Como parte de la evaluación de funcionalidad de la herramienta se realiza una comparación del tiempo que emplearon los usuarios en realizar la configuración de los parámetros antes y después del entrenamiento con la herramienta virtual para esto se seleccionó 15 estudiantes de la muestra de manera aleatoria y antes de realizar el entrenamiento se les pidió que realizaran la configuración de los mismos parámetros que constan en el módulo de evaluación, con el dispositivo real, y se tomó el tiempo que tardaban en realizar cada configuración propuesta, luego se compara con los tiempos que les tomo realizar las mismas configuraciones dentro del entorno virtual y se obtuvo los resultados presentados en la gráfica N°7



**Gráfica N°7** Tiempo de respuesta por pregunta

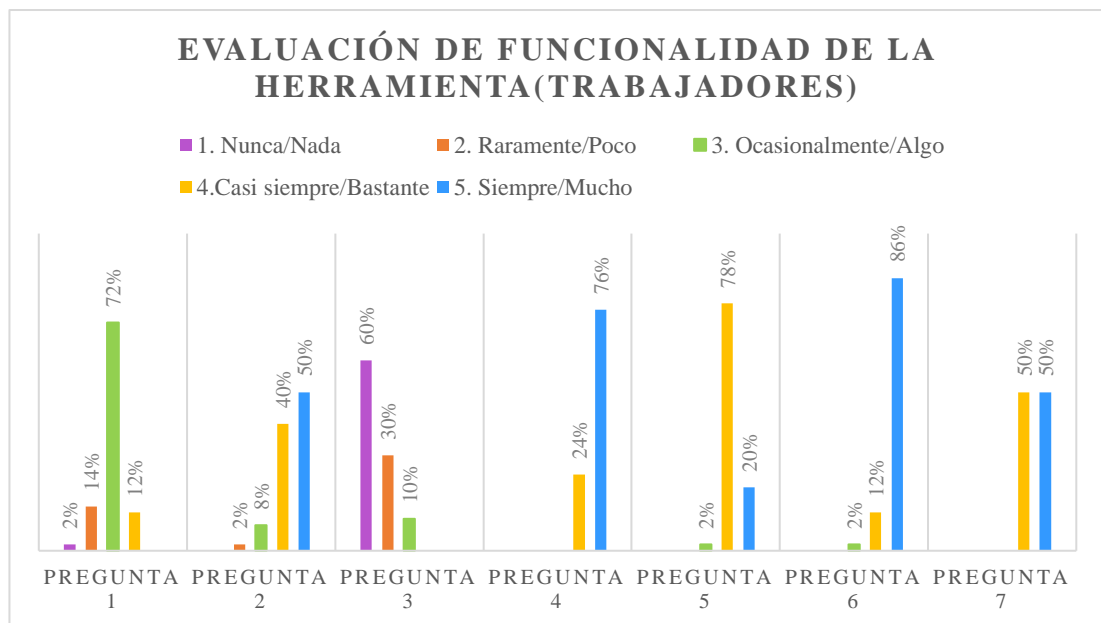
Obteniendo que el tiempo aproximado de respuesta de cada ítem propuesto es de 4,12 min antes de realizar el entrenamiento y de 1,67 min, después de haber utilizado la herramienta virtual evidenciando que efectivamente el tiempo que tardaron en realizar

la configuración por parámetro después del entrenamiento es menor con un aprovechamiento de aproximadamente el 55% pues para este punto ya reconocían la interfaz, sabían dónde se encontraban las opciones configurables, y lo realizaban seguros, sin preocuparse de estarlo haciendo de manera incorrecta.

### Resultados de la evaluación de usabilidad

Como ya se mencionó a parte del cuestionario correspondiente al módulo de evaluación se realizó también una encuesta virtual. A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de la encuesta de evaluación de usabilidad de la herramienta, que fue completado por los usuarios luego de realizar todas las tareas definidas en el módulo de evaluación, y en la que explican sus experiencias y opiniones al usar el sistema en términos de diseño, facilidad de uso, necesidad, utilidad y aplicación en su campo de estudio. De esta manera se presenta un análisis que permite tener una referencia de la percepción de los usuarios del sistema, para ello se divide las apreciaciones recibidas en evaluación por parte de trabajadores y por parte de estudiantes

### Evaluación de la herramienta por parte de trabajadores



**Gráfica N°8** Evaluación de funcionalidad de la aplicación (trabajadores)

En cuanto a los datos recolectados sobre la funcionalidad de la herramienta virtual por parte de técnicos y profesionales, los siguientes comentarios pueden deducirse:

En base a la primera pregunta un 12% de los encuestados contestaron haber usado una aplicación virtual casi siempre para capacitación, pero solo aplicaciones celulares no inmersivas, la mayoría de los trabajadores con un 72% comento haber usado ocasionalmente una aplicación virtual para entrenamiento dentro de industria pero en diferentes áreas, sobre todo aplicaciones de seguridad industrial, también un 14% y 2% respondieron haber usado raramente y nunca respectivamente una aplicación virtual de entrenamiento pues solo han recibido capacitación teórica.

En referencia a la segunda pregunta el mayor porcentaje se concentra en las opciones “bastante” con un 40% y “mucho” con 50%, es decir la mayoría de los trabajadores considera que es realmente importante y bastante necesario que los técnicos se capaciten en la puesta en marcha y manejo de dispositivos HART, pues son equipos con los que diariamente interactúan en el proceso.

Al preguntarles si habían utilizado alguna vez dispositivos de realidad aumentada como visores o gafas para visualizar entornos simulados la mayoría de ellos (60%) contesto no haberlo hecho nunca, un 30% dijo haberlo hecho raramente y tan solo un 10% haberlos usado en ocasiones, señalando que a pesar de que han realizado capacitaciones virtuales nunca lo han realizado de manera inmersiva con equipos que le permitan interactuar dentro del entorno virtual.

A partir de la pregunta 4 se obtienen respuestas bastante favorables ya que se refieren exclusivamente a su percepción del sistema simulado teniendo así que todos los trabajadores comentaron estar en la capacidad de poder identificar claramente “siempre” con un 76% y “casi siempre” con un 24% los equipos involucrados en la puesta en marcha y configuración de los equipos HART, y aplicarlo de manera correcta en el entorno real, en base al entrenamiento impartido con la herramienta virtual.

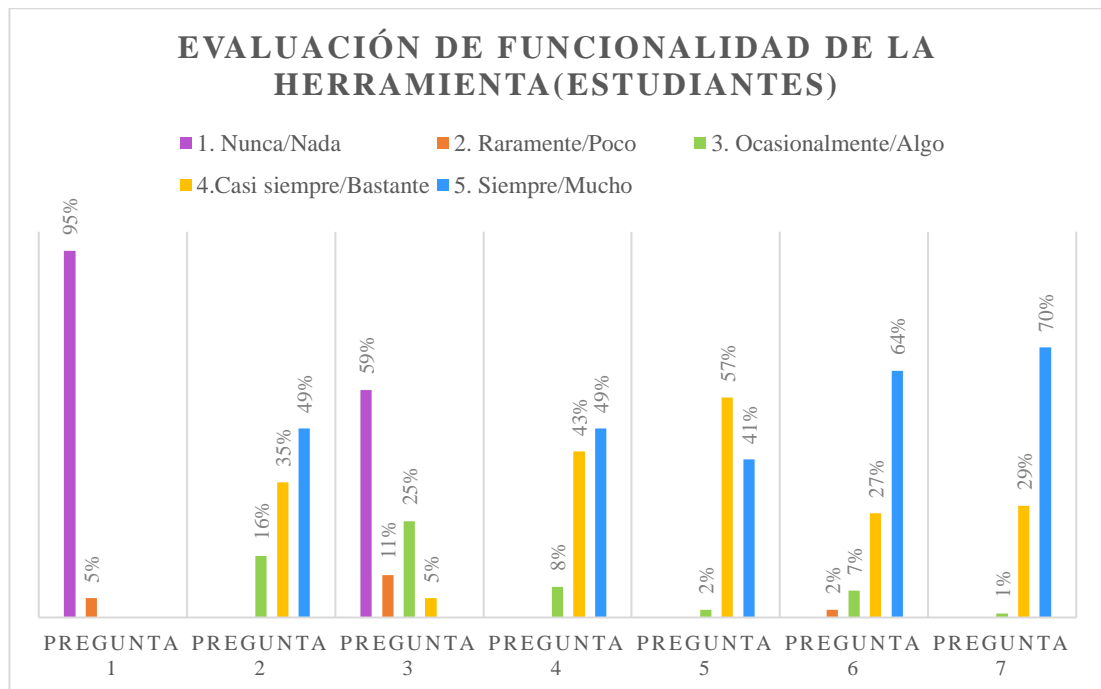
De igual manera respondieron que el grado de inmersión alcanzado al utilizar el sistema de RA es bastante alto con un 78% y un 20% de los encuestados comento que es muy alto, debido a que la persona se adentra en el entorno virtual, puede interactuar con los objetos como si los tuviera en el espacio físico, puede agarrarlos, moverlos de un lado a otro, rotarlos, escalarlos, ver los videos demostrativos y escuchar los clics de secuencia de interacción tal como en el entorno real, y por estas mismas razones es que para la pregunta 6 el 86% de los trabajadores consideran que la utilización de la



herramienta de realidad virtual les ayudó “mucho” a comprender y retener de mejor manera la información recibida, pues por su característica de inmersión, la facilidad de uso, el entrenamiento guiado en todo momento por instrucciones les permitió adquirir mejor la información y analizar detalles de configuración que son realmente importante al trabajar con este tipo de equipos HART.

Finalmente todos los trabajadores concordaron en que la herramienta creada es bastante útil, fácil de usar y con una experiencia de navegación e interacción con los objetos 3D muy inmersiva por lo cual consideran necesario que el sistema se implemente como una herramienta complementaria a la capacitación teórica que se imparte en la industria y la recomiendan “bastante”(50%), y “mucho”(50%)

### Evaluación de herramientas por estudiantes



**Gráfica N°9** Evaluación de funcionalidad de la aplicación (estudiantes)

Al igual que con los trabajadores, los estudiantes llenaron la encuesta realizada y como resumen de los datos recopilados se tiene:

En cuanto a la pregunta que hace alusión a si alguna vez han usado una aplicación para entrenamiento industrial, el 95% de los estudiantes respondió nunca haber utilizado

una aplicación de este tipo, dando a conocer que era la primera vez que interactuaban con un sistema de entrenamiento virtual que les pareció novedoso, y que a pesar de no tener conocimiento previo sobre el uso de estos sistemas pudieron adaptarse a la dinámica de funcionamiento, por otro lado un 5% lo ha realizado “raramente” comentando que, en algún momento tuvieron la oportunidad de tomar un curso donde aprendieron un poco este tipo de aplicaciones sin embargo no fue de tipo inmersiva.

En referencia a la segunda pregunta el mayor porcentaje se concentra en las opciones “bastante” con un 35% y “mucho” con 49%, es decir los usuarios mencionaron que es necesario que como estudiantes en formación ,que van a tener que controlar procesos de producción, se capaciten en la puesta en marcha y manejo de dispositivos HART, pues consideran que es importante aprender a trabajar con las variables involucradas dentro de un proceso industrial, por otro lado un 16% de estudiantes considera que es algo necesario solo si vas a enfocarte en el área de procesos industriales, mas no para otras áreas, pero es importante mencionar que en una industria, ya sea desde gerencia o el área de seguridad industrial, el éxito se basa en que todos conozcan cómo funciona cada parte del proceso.

Al preguntar a los estudiantes si habían utilizado alguna vez dispositivos de realidad aumentada los porcentajes más relevantes fueron 59% que corresponde a los estudiantes que “nunca” han utilizado dispositivo de realidad aumentada como visores o gafas y 25%, que hace referencia a los estudiantes que han utilizado gafas de realidad virtual para aplicaciones de teléfono sin embargo este tipo de dispositivos, son no inmersivos, a diferencia de las meta 2, que le permiten al usuario total inmersión con el entorno virtual.

Las preguntas a continuación hacen referencia a la percepción de los estudiantes sobre la aplicación presentada luego de usarla obteniendo porcentajes positivos de respuestas de 49% “siempre”, y 43% “casi siempre” para la pregunta “¿Podría identificar los equipos involucrados en el módulo de entrenamiento impartido previamente, y aplicarlo de manera correcta en un entorno real?”, permitiendo interpretar que los estudiantes están en la capacidad de reconocer los dispositivos y sus componentes, así como de realizar su conexión y configuración, en un entorno real. Por otro lado también existe un 8% de estudiantes que consideran que no podrían identificar con facilidad los equipos, sin embargo a medida que practiquen en la aplicación podrán

mejorar su habilidad de reconocimiento y manejo, pero para ser una primera percepción, la respuesta es muy buena.

Con respecto al grado de inmersión alcanzado al utilizar el sistema de RA, la mayoría de los estudiantes selecciono “bastante”(57%) y “mucho”(41%), es decir el 98% de los encuestados considero que el nivel de inmersión es alto pues lograron interactuar con los modelos 3D como si estuvieran en un entorno real, agarrándolo, moviéndolo de un lado a otro, rotándolo e incluso escalándolo, y no solo en lo que a los objetos modelados se refiere sino que también pudieron ver los videos demostrativos y escuchar los clics de secuencia de interacción tal como en el entorno real; por tanto la inmersión es una de las razones por las que en la siguiente pregunta que hace referencia a si el uso de la herramienta de realidad virtual les ayudó a comprender y retener de mejor manera la información recibida, la mayoría de los estudiantes, alrededor del 97% de encuestados dió una respuesta positiva, afirmando que efectivamente el hecho de que la aplicación brinde instrucciones que guían la navegación en todo momento, además de las diversas formas de presentar el contenido por videos y texto, la oportunidad de toma de decisiones al poder realizar las configuraciones libres en base al criterio propio de los estudiantes, la facilidad de uso y navegación intuitiva, entre otras tantas características , les permitió obtener la información de mejor manera, y de forma diferente a la que normalmente se acostumbra.

Finalmente, los estudiantes calificaron su satisfacción general con el sistema, y un 99% de ellos coinciden en que es muy útil, y les gustaría que la fuera un servicio ofrecido por la Universidad como parte de su preparación como profesionales por lo tanto recomiendan este sistema de entrenamiento como una herramienta complementaria a la capacitación teórica que se imparte.

## CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se seleccionó el software de desarrollo UNITY 3D para el diseño de las interfaces virtuales ya que al ser versátil, ofreció un enfoque en el que las demandas actuales de capacitación y los requisitos necesarios que se debe cumplir para la utilización de dispositivos HART, se integran en una sola aplicación, ofreciendo una increíble ventaja a los usuarios, que lograron operar equipos costosos en un entorno que perdona los errores y que además, al trabajar con múltiples plataformas permitió integrar el SDK del Hardware de realidad aumentada META 2, mediante el cual el usuario logró interactuar con los objetos virtuales en el entorno real de forma intuitiva e inmersiva.
- La interacción entre el usuario y el sistema de RA propuesto se estableció mediante el diseño de la arquitectura tanto Hardware como Software del sistema, la cual permitió constituir la organización fundamental, la estructura detallada y el conjunto de relaciones entre cada una de las partes de la aplicación, mismas que resultaron necesarias para definir el comportamiento de cada componente, módulo, y clase, y de esta manera se logró optimizar tiempos de creación de escenas, modelos 3D y recursos multimedia ,además proporcionó un marco de referencia general necesario para guiar la construcción del sistema, cubriendo todos los objetivos y restricciones de la aplicación.
- El sistema de RA para entrenamiento se desarrolló en base a las especificaciones de arquitectura de software utilizando diferentes elementos UI de interfaz en la creación de escenas virtuales para exponer contenido teórico, modelos 3D, contenido multimedia, e instrucciones bajo las cuales el usuario realizó su entrenamiento, así pues la aplicación demostró ser de navegación intuitiva y muy útil para el aprendizaje de los usuarios pues, al utilizar las gafas de realidad aumentada obtuvieron una mayor comprensión del

contenido, presentado de forma novedosa y más inmersiva, diferenciándolo de la manera convencional de recibir un entrenamiento o capacitación en el manejo de equipos industriales.

- La validación del sistema desarrollado e implementado involucró una evaluación y encuesta de funcionalidad de la herramienta permitiendo establecer que del total de usuarios evaluados, tanto profesionales como estudiantes alrededor del 82 % percibe un aprendizaje satisfactorio luego del uso de la herramienta, incluso se obtuvo un porcentaje de disminución de tiempo de configuración de equipos del 55%, evidenciando que el sistema de realidad aumentada para entrenamiento permite optimizar el tiempo de capacitación de personal en el manejo de instrumentación HART, y lo realiza de una manera eficiente, interactiva, e inmersiva y sin duda debería ser implementada como una herramienta complementaria a la capacitación teórica que se imparte en las industrias.

## **4.2 Recomendaciones**

- En referencia a la muestra seleccionada, realizar el análisis de un estudio piloto para obtener una estimación del efecto que se quiere conseguir con la investigación, e intentar disminuir el error para asegurarse que la muestra con la que trabaja provenga de la población que desea investigar, es decir, que la muestra sea representativa.
- Para facilitar la conceptualización de ingeniería es de gran ayuda apoyarse en la metodología UML, para tener un referente del modelo a seguir.
- Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue este, siempre se desea que exista mejora continua, por lo tanto se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto, la complementación del sistema con más herramientas y propiedades de configuración.
- Continuar desarrollando investigaciones dirigidas a la capacitación y entrenamiento de personal en el manejo de instrumentación y maquinaria industrial, utilizando herramientas virtuales inmersivas.

### 4.3 Trabajos Futuros

Como desarrollos futuros de investigaciones se sugiere dos líneas principales a seguir desde este punto:

- La primera línea cubre la integración de guantes háptico de realidad virtual al sistema de RA para entrenamiento en la puesta en marcha de instrumentación HART creado, ya que estos guantes le dan al usuario una sensación de tacto mientras maneja los modelos 3D, permitiéndole sentir el peso y tacto de las cosas en el mundo virtual que se está viendo.
- La segunda línea promueve que se añada un “módulo de práctica en escenarios reales dentro de la industria” en donde se exponga al usuario a situaciones que se presentan en el sitio de trabajo en referencia al funcionamiento de los transmisores HART y él deba tomar una decisión frente a opciones de solución generadas virtualmente; para esto además se debe crear un avatar que represente al usuario y que siga su movimiento y realice una acción, de esta manera a parte de capacitar al trabajador en la programación del transmisor HART, también se lo capacita para la toma de decisiones en un proceso de producción para mantener ambientes intrínsecamente seguros. Es decir enlazar el entrenamiento en el uso del equipo con prácticas de seguridad industrial en el caso de daño, o fallas del equipo y las acciones que debe realizar el usuario frente a estas.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

- [1] E. Encalada, E. Merchán., and Q. Ruíz, “Norma internacional de información financiera: diseño e implementación en las pequeñas y medianas empresas,” *RIIT. Rev. Int. Investig. e innovación tecnológica*, vol. 6, no. 35, pp. 0–0, 2018.
- [2] D. N. L. Nasser, “Augmented reality in education learning and training,” in *Proceedings of 2018 JCCO Joint International Conference on ICT in Education and Training, International Conference on Computing in Arabic, and International Conference on Geocomputing 2018*, 2018, pp. 154–161.
- [3] E. P. Lucas, J. C. Benito, and O. G. Gonzalo, “USALSIM: learning, professional practices and employability in a 3D virtual world,” *Int. J. Technol. Enhanc. Learn.*, vol. 5, no. 3/4, p. 307, 2013.
- [4] F. Wild, “The Future of Learning at the Workplace Is Augmented Reality,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 49, no. 10, pp. 96–98, Oct. 2016.
- [5] L. I. Urquiza, B. A. Auria, S. K. Daza, F. D. R. Carriel, and R. I. Navarrete, “Use of virtual reality for future education in schools of Ecuador,” *J. Sci. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 26–30, 2016.
- [6] J. A. Ballesteros Ricaurte and L. Bernal Zamora, “Metodología para la construcción de Objetos Virtuales de Aprendizaje, apoyada en Realidad Aumentada,” *Sophia*, vol. 13, no. 1, pp. 4–12, 2017.
- [7] D. Nguyen and G. Meixner, “Gamified augmented reality training for an assembly task: A study about user engagement,” in *Proceedings of the 2019 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2019*, 2019, pp. 901–904.
- [8] I. Galvan-Bobadilla, A. Ayala-Garcia, E. Rodriguez-Gallegos, and G. Arroyo-Figueroa, “Virtual reality training system for the maintenance of underground lines in power distribution system,” in *Third International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH 2013)*, 2013, pp. 199–204.
- [9] Y. Peng, G. Yu, W. Ni, Z. Lv, Y. Jiang, and J. Chen, “Design and development of intelligent operation and maintenance training system for substation based



- on augmented reality,” in *Proceedings - 2017 Chinese Automation Congress, CAC 2017*, 2017, vol. 2017–January, pp. 4765–4769.
- [10] B. Xie, Q. Zhou, and L. Yu, “A real-time welding training system base on virtual reality,” in *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, 2015, pp. 309–310.
- [11] M. Ulema, “Future Technologies for Critical Communications Systems,” in *Fundamentals of Public Safety Networks and Critical Communications Systems*, Wiley, 2018, pp. 145–155.
- [12] E. B. S. Lustosa, D. V. De MacEdo, and M. A. F. Rodrigues, “Virtual simulator for forklift training,” in *Proceedings - 2018 20th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2018*, 2018, pp. 18–26.
- [13] C. Prendes Espinosa, “Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas,” *Píxel-Bit, Rev. Medios y Educ.*, no. 46, pp. 187–203, 2014.
- [14] P. C. Grigore C. Burdea, *Virtual Reality Technology*. 2003.
- [15] A. Martins *et al.*, “Desarrollo de Herramientas Informáticas y sus Aplicaciones en el Ámbito Educativo,” 2018.
- [16] C. Prendes Espinosa, “Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas augmented reality and education: analysis of practical experiences,” *Rev. Medios y Educ. N<sup>o</sup>*, vol. 46, 2015.
- [17] Y. G. Ji, J. H. Park, C. Lee, and M. H. Yun, “International Journal of Human-A Usability Checklist for the Usability Evaluation of Mobile Phone User Interface A Usability Checklist for the Usability Evaluation of,” *Int. J.*, vol. 20, no. September 2011, pp. 37–41, 2010.
- [18] M. J. Abásolo *et al.*, “Aplicaciones de Realidad Virtual, Realidad Aumentada e Interfaces Multimodales,” 2018.
- [19] J. Cabero Almenara and J. Barroso Osuna, “Posibilidades educativas de la Realidad Aumentada,” *J. New Approaches Educ. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 44–50, Jan. 2016.
- [20] M. Vidal Ledo *et al.*, “Realidad aumentada Augmented reality,” 2017.

- [21] G. L. I. Molina, L. Martinez, “Utilización de la realidad aumentada en el trabajo de campo geográfico: posibilidades y dificultades para su uso docente,” no. November, 2015.
- [22] R. Buitrago, “Realidad aumentada con fines educativos,” no. March, 2013.
- [23] R. D. Buitrago Pulido, “Incidencia de la realidad aumentada sobre el estilo cognitivo: caso para el estudio de las matemáticas,” *Educ. y Educ.*, vol. 18, no. 1, pp. 27–41, 2015.
- [24] “Virtual and Augmented Reality: Concepts, Methodologies, Tools and Applications,” IGI Global, 2018, p. 355.
- [25] R. Cózar Gutiérrez, J. A. González-Calero Somoza, R. Villena Taranilla, and J. M. Merino Armero, “Análisis de la motivación ante el uso de la realidad virtual en la enseñanza de la historia en futuros maestros,” *EduTec. Rev. Electrónica Tecnol. Educ.*, no. 68, pp. 1–14, 2019.
- [26] Z. Zhang, D. Weng, H. Jiang, Y. Liu, and Y. Wang, “Inverse Augmented Reality: A Virtual Agent’s Perspective,” in *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 2018, pp. 154–157.
- [27] L. Briz-Ponce, J. A. Juanes-Méndez, and F. J. García-Peñalvo, *Handbook of research on mobile devices and applications in higher education settings*. IGI Global, 2016.
- [28] “HART - Instrumentación de procesos - Siemens.” [Online]. Available: <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/comunicación-y-software/pages/hart.aspx>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [29] “Emerson PlantWeb University, Introducción a HART.”
- [30] “AMS Trex™ Device Communicator,” 2016.
- [31] “Transmisor de presión Rosemount 2088.”
- [32] “Guía de instalación rápida Rosemount 648 Wireless,” 2012.
- [33] “Rosemount™ 648 Transmisor de temperatura inalámbrico.”

- [34] “META 2 - Exclusive Augmented Reality Development Kit.” [Online]. Available: <https://www.schenker-tech.de/en/meta-2/>. [Accessed: 14-Mar-2019].
- [35] “(PDF) Oculus Rift: Inmersión y Presencia de la Experiencia de Realidad Virtual.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/310513975\\_Oculus\\_Rift\\_Inmersion\\_y\\_Presencia\\_de\\_la\\_Experiencia\\_de\\_Realidad\\_Virtual](https://www.researchgate.net/publication/310513975_Oculus_Rift_Inmersion_y_Presencia_de_la_Experiencia_de_Realidad_Virtual). [Accessed: 14-Mar-2019].
- [36] “HoloLens 2—Pricing and Options | Microsoft HoloLens.” [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy>. [Accessed: 14-Mar-2019].
- [37] A. S. Lee, J. C. Tang, M. Swift, and H. Chen, “3D Collaboration Method over HoloLens™ and Skype™ End Points,” 2015.
- [38] I. Pedersen, N. Gale, P. Mirza-babaei, S. Reid, and P. Mirza-Babaei, “More than Meets the Eye: The Benefits of Augmented Reality and Holographic Displays for Digital Cultural Heritage,” *J. Comput. Cult. Herit*, vol. 10, no. 11, 2017.
- [39] “Meta View.” [Online]. Available: <https://www.metavision.com/>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [40] “What is Unreal Engine 4.” [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/>. [Accessed: 14-Mar-2019].
- [41] “Unity Real-Time Development Platform 3D, 2D VR & AR Visualizations.” [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [42] “Blender.” [Online]. Available: <https://www.blender.org/>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [43] “Herramientas de Visual Studio para Unity - Visual Studio.” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/cross-platform/visual-studio-tools-for-unity?view=vs-2019>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [44] “Unity - Scripting API: PlayerPrefs.” [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/PlayerPrefs.html>. [Accessed: 18-

Mar-2019].

- [45] A. Andres and D. Acurio, “Implementación de una herramienta virtual mediante un dispositivo háptico para la rehabilitación de pacientes con daño cerebral adquirido,” 2017.
- [46] “Meta 2 Dev 101: Cómo comenzar a desarrollar Meta 2 en Unity «Next Reality.” [Online]. Available: <https://next.reality.news/news/meta-2-dev-101-get-started-developing-for-meta-2-unity-0181957/>. [Accessed: 28-Mar-2019].

# **ANEXOS**

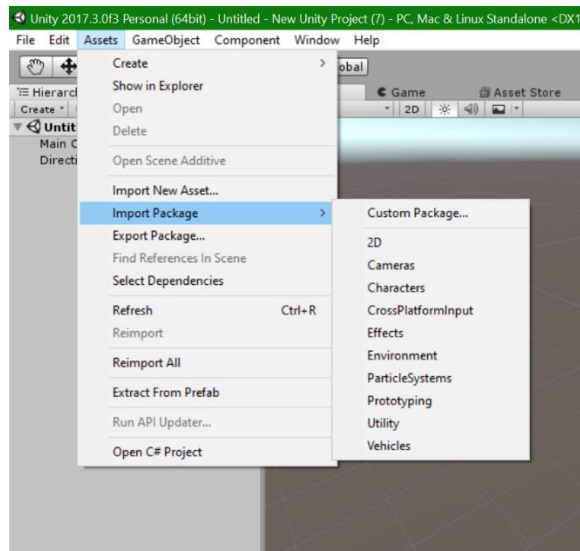
# **Anexo A**

## Manual de Integración de Meta 2 a Unity 3D

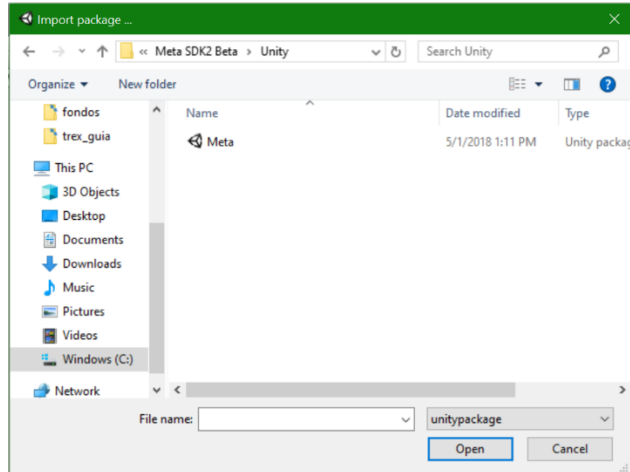
Para establecer comunicación entre el visor de realidad aumentada Meta 2 y el motor gráfico Unity 3D es necesario instalar y calibrar el dispositivo, para ello en la página oficial de Meta es posible descargar el paquete de inicio el cual incluye el kit de desarrollo de software (SDK), drivers y firmware.

El paquete al que se hace referencia contiene todo lo que necesita para comenzar, incluidos códigos, archivos de biblioteca y ejemplos, a continuación, se especifica el proceso a seguir en la integración del dispositivo.

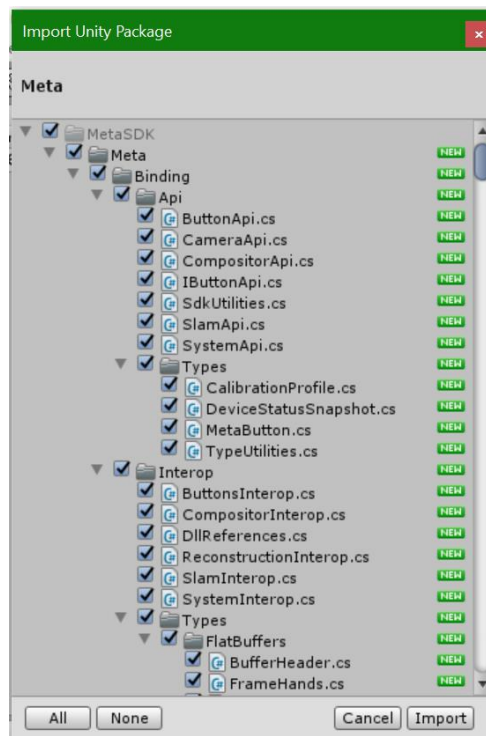
1. Descargar e instalar el motor gráfico Unity 3D en la página principal de Unity [39].
2. Descargar y extraer el paquete de instalación que contiene el complemento para el visor Meta 2.
3. Ejecutar un nuevo proyecto en Unity 3D.
4. En el menú principal, haga clic en la opción "Activos", seleccione "Importar paquete", luego haga clic en "Paquete personalizado"



5. Ubicarse en el directorio donde se instaló Meta, y seleccione el paquete Meta.unity que está allí y haga clic en el botón "Abrir".



6. Luego, aparecerá la ventana Importar paquete de Unity. Después de que esto suceda, haga clic en el botón "Importar".



Con los pasos anteriores se habrá logrado la comunicación entre el Dispositivo y el software Unity3D.



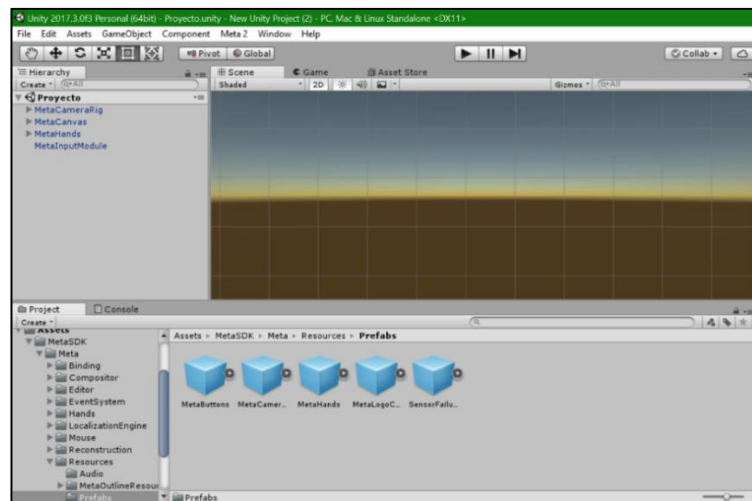
# **Anexo B**

## Integración de interacciones de usuario en la escena

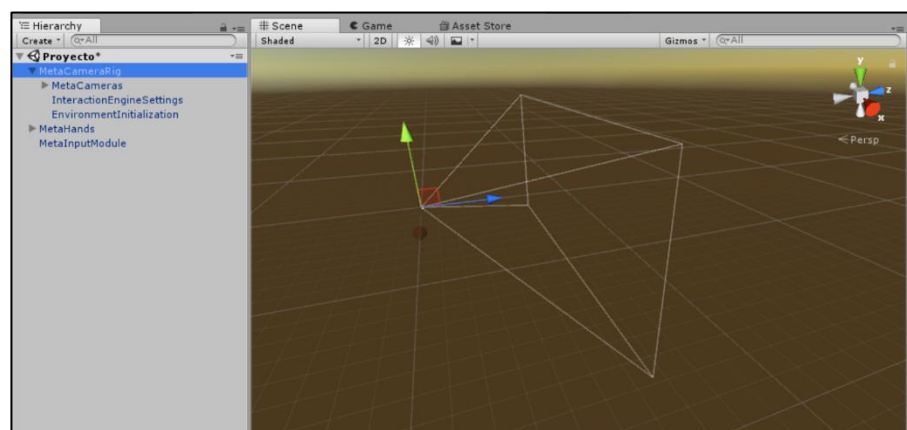
Ahora en el desarrollo de AR, para la vista del usuario es necesario agregar una cámara virtual, los “GameObjetes” (Objetos virtuales de Unity) y diferentes componentes de Script para la interacción del usuario con el motor de desarrollo.

La cámara es, simplemente, un objeto en forma de pirámide que le dice al motor cuál debe ser el resultado que se envía a la vista del usuario. Además, para la interacción con las manos se debe agregar el componente “MetaHands” y para el uso del mouse y teclado se utiliza “MetaInputModule” , para aceptar esos datos y ayudar al programa a usarlos para lograr lo que el desarrollador esté tratando de hacer[46].

1. Dentro de la ventana de proyecto están todos los archivos de activos para el proyecto. Al importar el paquete meta se crea la carpeta "MetaSDK".
2. Ubicarse en la carpeta “Meta SDK” y haga click sobre "Recursos", y luego en la carpeta "Prefabs". A continuación, seleccione el objeto MetaCameraRig., como se observa en la figura.



3. Arrastre el objeto seleccionado a la ventana Jerarquía y suéltelo.

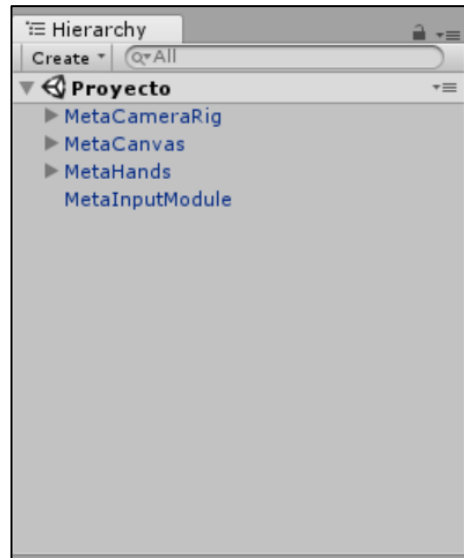


En la figura mostrada se puede observar el alcance de la cámara, dentro del cual se debe desarrollar el entorno virtual.

### **Control de eventos UGUI**

En la interfaz gráfica del usuario se utiliza un conjunto de imágenes, texto, botones virtuales y objetos gráficos para representar la información tanto de las instrucciones dentro de la aplicación, como para la recreación de la interfaz del dispositivo comunicador de campo.

Simplemente se adjunta Meta Canvas Prefab como objeto principal a la escena y se agrega componentes uGUI como objetos secundarios de este, y puede controlar las partes uGUI a mano o con el mouse.



# **Anexo C**

## Implementación de las Interfaces Virtuales

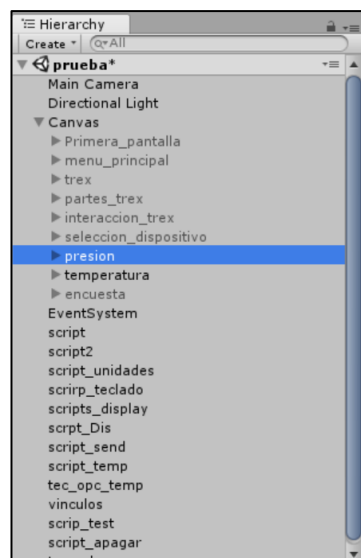
En este apartado se detalla el procedimiento para la implementación de los objetos 3D y los elementos GUI que forman parte de la escena, con los que el usuario interactuará en el ambiente de realidad virtual.

La aplicación cuenta con una sola escena formada por varios elementos padre, que contienen diferentes elementos secundarios, y que representan las interfaces sobre las cuales el usuario puede desplazarse.

De este modo el elemento principal es el “GameObject” que recibirá acciones determinadas mediante código para generar la dinámica de la aplicación. Además como el propósito es crear la interfaz de usuario, es estrictamente necesario añadir los Paneles o Canvas, que en el proyecto son usados para almacenar objetos UI (User Interface) como botones, entradas de datos, textos estáticos, imágenes, entre otros; de esta manera el desarrollador puede elaborar y presentar interfaces intuitivas.

A fin de demostrar el proceso de creación de todos los elementos que forman parte de la aplicación, se presenta a continuación el desarrollo de algunas de las interfaces más relevantes:

- **Menú principal:** Para el desarrollo del menú principal, en la barra “Jerarquías”, se crea un objeto GUI (Canvas) , también conocido como contenedor de objetos, que servirá como base para integrar todo aquello que se desea contenga la interfaz de inicio, caso contrario es imposible proporcionarle funcionalidad a los objetos de la interfaz.

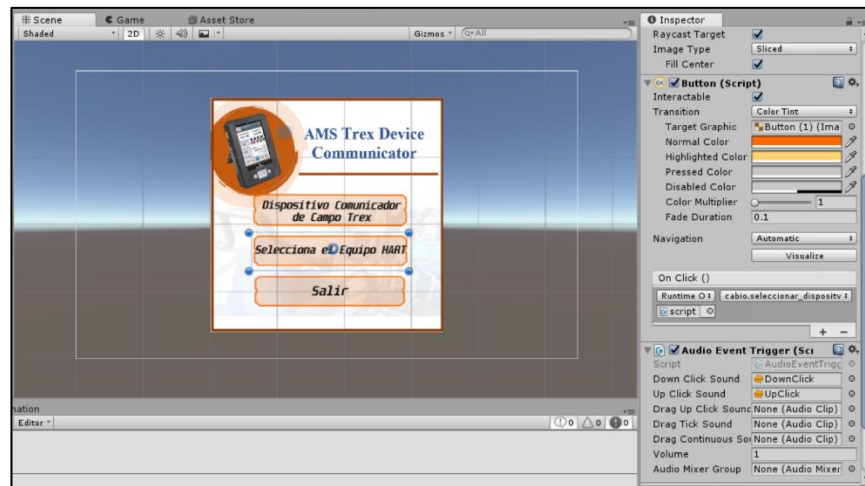


En la figura se observa como el objeto Canvas (objeto padre), contiene todos los objetos de la interfaz de usuario (Objetos secundarios).

Se añadieron tres botones con funcionalidad definida para acceder a las diferentes opciones, colocados sobre una imagen previamente elaborada para lo cual se añadió también un objeto GUI (RawImage), así se tiene el primer botón “Dispositivo Comunicador de Campo” para conocer la función del equipo TREX e interactuar con él; seguido del botón “Selección del Equipo HART” que despliega un submenú donde se puede elegir el transmisor con el que se desea realizar el entrenamiento.

Y finalmente el botón “salir”, que finaliza la aplicación.

Cada elemento en la escena tiene propiedades, como se puede apreciar en la figura siguiente, al seleccionar un botón, en la pantalla Inspector se pueden visualizar las propiedades del mismo como textura, color, incluido un Trigger o disparador de eventos “On Click ()”, asociado al mismo, en el cual se agrega un script para darle la funcionalidad requerida al botón.



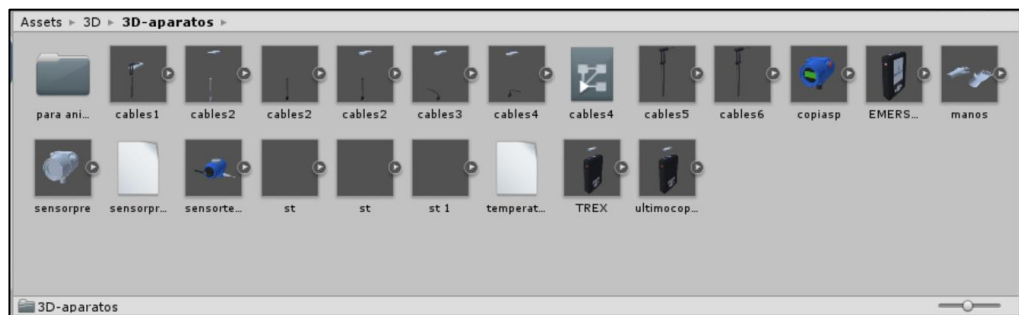
- **Opción: Dispositivo comunicador de Campo**

De la misma forma que al crear el menú, para cada interfaz de la aplicación es necesario crear un “Game object” que contendrá los elementos UI básicos (Raw Image, Text y Button), sobre los cuales se añade la información y funciones necesarias, como se observa en la figura a continuación y una vez integradas dentro del Canvas se puede editar sus propiedades (textura, color, tipo de letra, tamaño, entre otras), según se requiera.

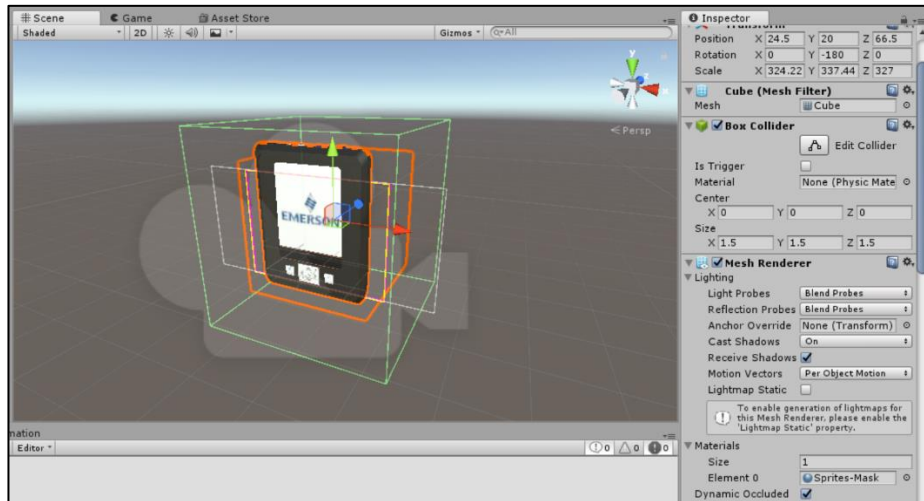


### Interacción con objetos 3D en el entorno aumentado

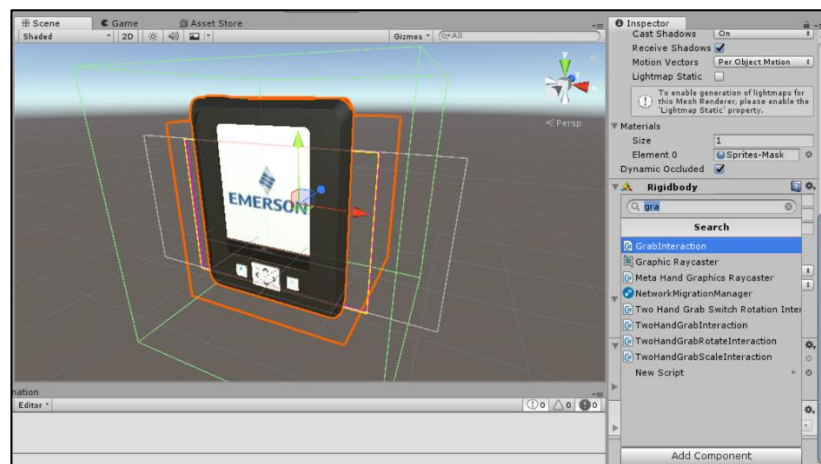
Dentro de esta opción, se le da la oportunidad al usuario de interactuar con el equipo TREX, como en el mundo real. Para esto el proyecto debe contener en la ventana “Assets”, los objetos virtuales 3D que fueron diseñados e importados previamente desde Blender.



Se añade el diseño 3D correspondiente a un GameObject y primeramente en la ventana Inspector se añaden los componentes “Rigidbody”, “Box Collider”, y “Mesh Rendered”, y se crearan capas alrededor del objeto 3D, para atribuirle las propiedades de un cuerpo sólido.



Luego para la interacción, se puede observar en la figura siguiente que añadiendo diferentes scripts que vienen incluidos en el paquete MetaSDK es posible tomar un objeto, y darle la vuelta para inspeccionarlo. Los usuarios también pueden agarrar, escalar y rotar estos objetos en el espacio aumentado.



- Los scripts de interacción se pueden añadir de acuerdo con la operación al objeto que desea controlar en Meta2. Los scripts correspondientes son GrabInteraction.cs, TwoHandGrabRotateInteraction.cs y TwoHandGrabScaleInteraction.cs.

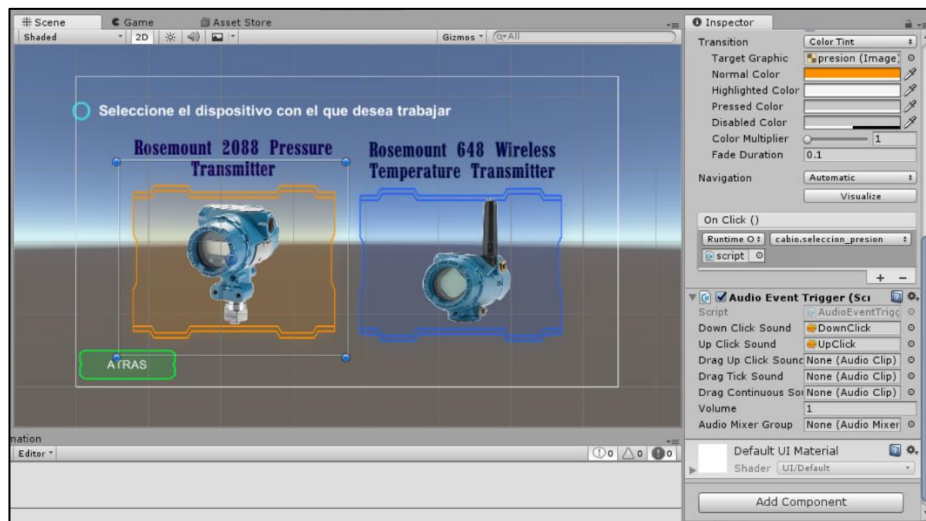




- **Opción: “Selección del equipo HART”**

Al seleccionar esta opción se despliega un submenú, que permite seleccionar el dispositivo con el que se desea realizar el entrenamiento, siendo estos el Transmisor de Presión Rosemount 2088 o el Transmisor de Temperatura Rosemount 648.

De la misma forma que con las interfaces anteriores se utiliza un GameObject que contiene los elementos UI integrados en la escena.



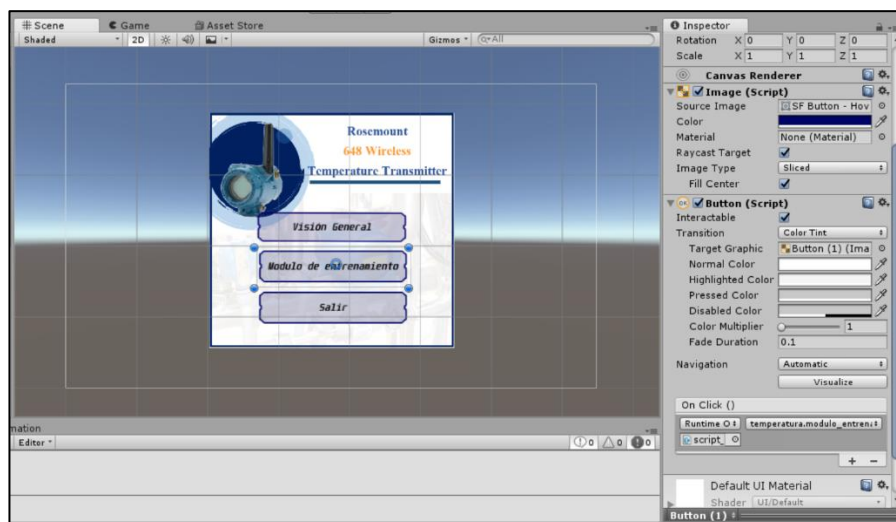
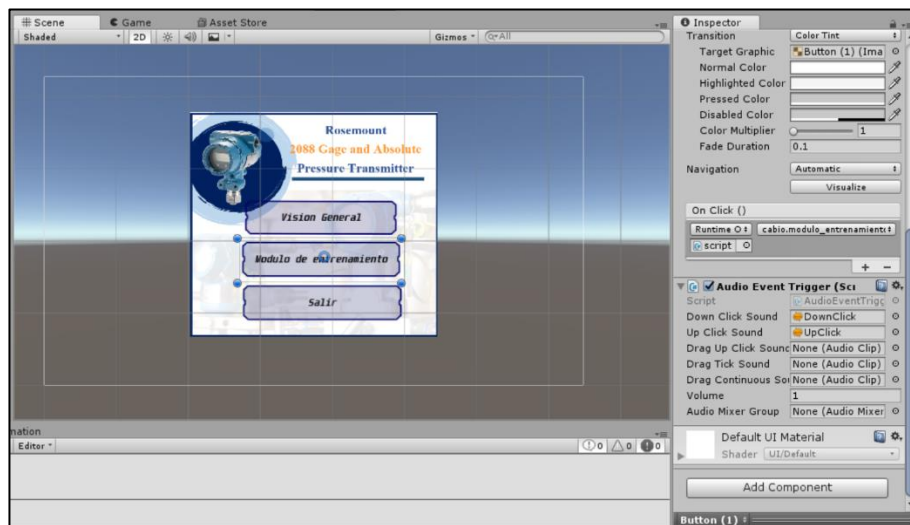
A partir de esta selección ya sea para la opción de “Transmisor de Presión” o para la opción de “Transmisor de Temperatura”, se diseñó el mismo esquema de interacción. Así pues las mismas opciones presentadas en las siguientes

interfaces de un transmisor, se utilizan en la interfaz del otro, a manera de estándar.

- **Menú del dispositivo seleccionado**

En este menú se añadieron tres botones para acceder a las diferentes opciones, colocados sobre una imagen previamente elaborada para lo cual se añadió también un objeto GUI (RawImage).

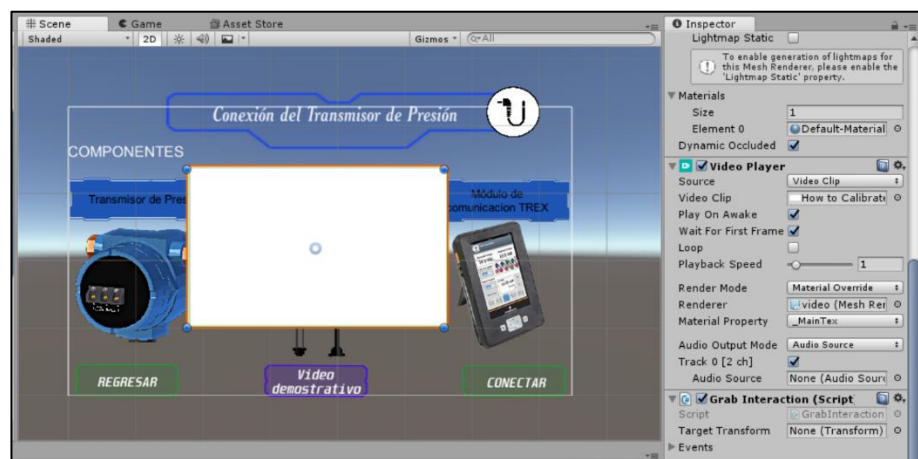
A cada botón se le añade la funcionalidad así se tiene el primer botón “Visión General” permite conocer la función del equipo e interactuar con él; luego el botón “Módulo de entrenamiento” bajo el que se desarrolla la parte principal de este proyecto Y finalmente el botón “salir”, que te lleva al menú principal. A continuación se puede observar el menú de los transmisores de presión y temperatura respectivamente



- **Módulo de entrenamiento Parte 1: Conexión**

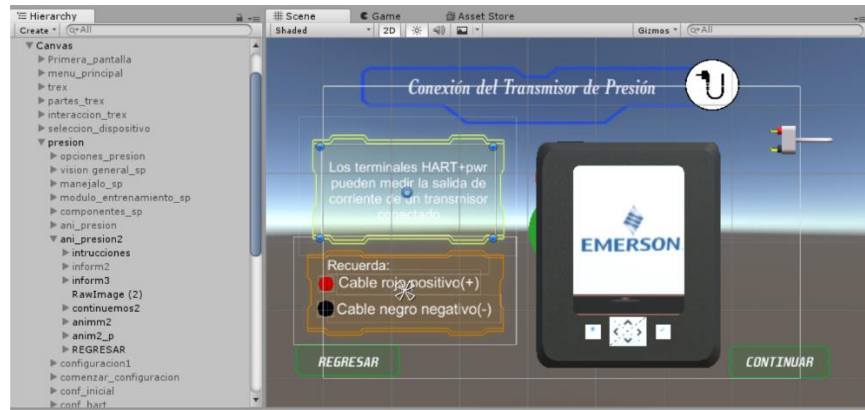
Al empezar la conexión se muestran los componentes necesarios para realizarla, además de un conjunto de botones con ciertas funcionalidades claramente definidas como se muestra en la figura a continuación, siendo una de estas un “video demostrativo” el cual despliega una ventana dentro del espacio virtual con un video explicativo de como se conectan los dispositivos previo a la explicación detallada en el módulo.

Para esto dentro se añade un objeto 3D dentro del Game Object que contiene los elementos de esta interfaz y se le da las dimensiones requeridas para visualizar el video con claridad, luego en la ventana Inspector se añade el componente “Video Player”, el cual me permite agregar el video previamente realizado con la simple acción de arrastarlo desde “Assets” del Proyecto.

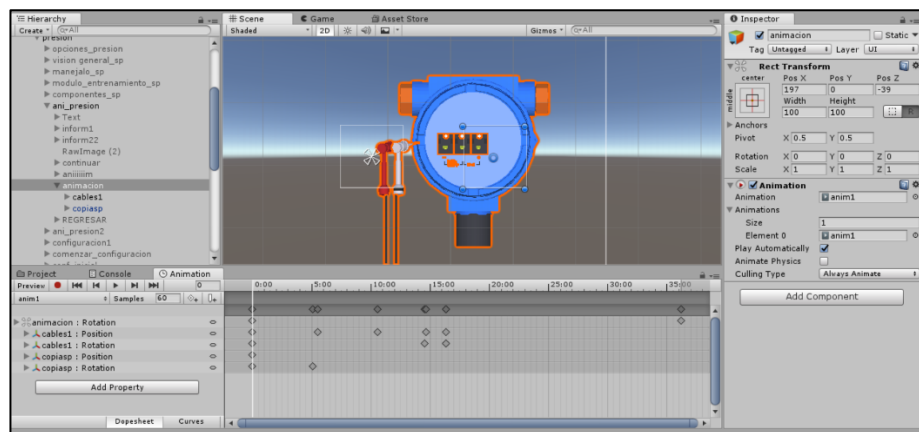


Al presionar el botón “conectar” de la interfaz anterior, la aplicación te lleva por una serie de escenarios en los cuales se visualizan varias instrucciones que es necesario seguir para visualizar cómo se conectan los dispositivos.

En esta interfaz además de colocar los elementos básicos UI ya mencionados anteriormente, se añaden también los diferentes objetos 3D diseñados en Blender así como se observa en la figura presentada a continuación.



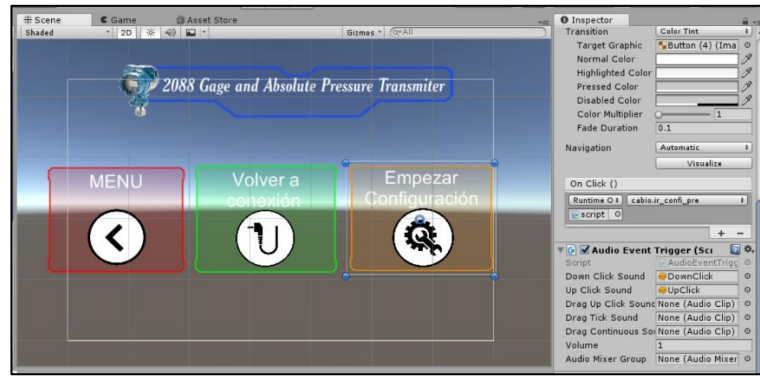
La particularidad de estas escenas es que a estos objetos 3D se les añade el componente “Animation”, al cual se le agrega una animación creada en el mismo motor Unity, con la herramienta “Animation”.



- **Módulo de entrenamiento Parte 2: Configuración**

Luego de que el usuario ha completado la primera parte del módulo de entrenamiento que es la Conexión de los componentes, empieza la configuración del dispositivo conectado.

En esta sección se trabaja bajo los mismos criterios, el uso de instrucciones, botones con funcionalidades intuitivas, y elementos UI, como se muestra a continuación



Se diseña cada escenario en base a la interfaz del comunicador de campo. Para ello varias de las imágenes utilizadas fueron obtenidas del manual del equipo y otros escenarios creados con los elementos UI, según la información recolectada en videos.

Así se empieza esta etapa con la creación de la pantalla de Inicio del comunicador para lo cual se crea un “Game Object”, dentro del cual se agrega una “Raw Image” al que se le carga la imagen de la pantalla del Trex (archivo de formato .png cambiado a UI para poder trabajar en el entorno Unity) que será la base sobre la cual se agregara el botón “Field Communicator” para empezar la configuración.

Al igual que se agrega un elemento “Text” en el cual se añade las instrucciones como se observa en la figura adjunta.



Con esta interfaz empieza la configuración inicial del dispositivo, hasta llegar a las interfaces de menú del tablero del Dispositivo que está compuesto por una serie de botones creados por el desarrollador, y le permiten al usuario acceder a las diferentes opciones de configuración de parámetros, empezando por la

configuración guiada, para luego continuar con la configuración manual. Como ya se mencionó, cada elemento en la escena tiene propiedades, al seleccionar un botón, en la pantalla Inspector se pueden visualizar las propiedades del mismo como textura, color, incluido un Trigger o disparador de eventos “On Click ()”, asociado al mismo, en el cual se agrega un script para darle la funcionalidad requerida al botón.

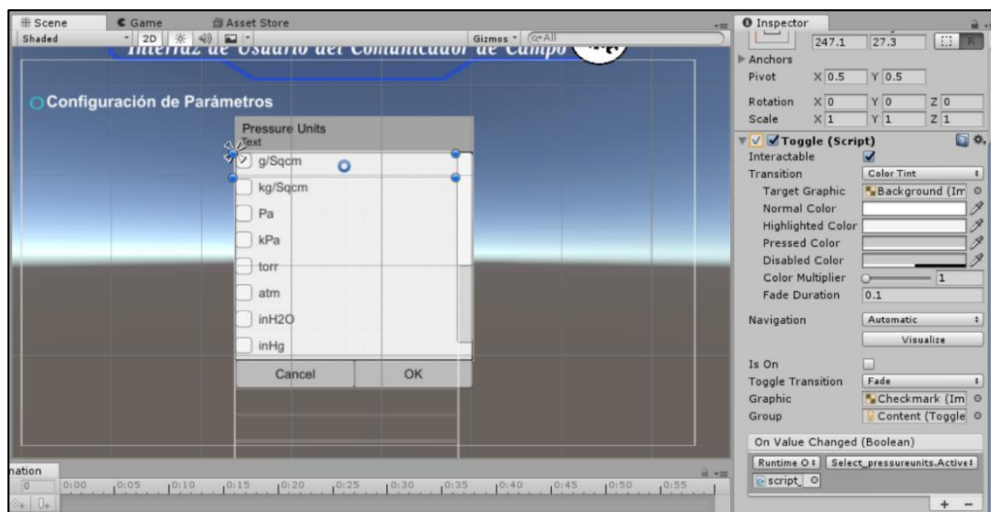
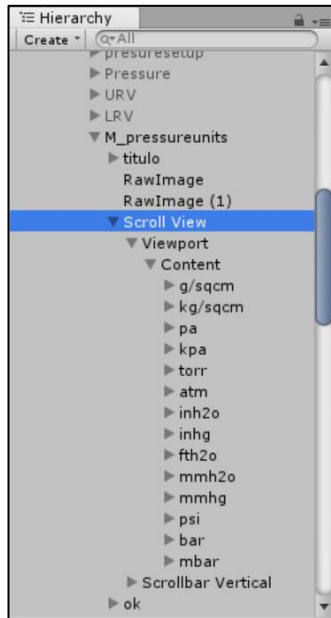


### Configuración de parámetros

En esta etapa para la recreación de diferentes interfaces del dispositivo como por ejemplo selección de unidades, entradas de texto de rangos, entre otros; se utilizan nuevos elementos GUI, a continuación se detallan varias de las interfaces en donde fueron agregados los mismos.

En la siguiente figura se observa como se utiliza los elementos UI Toogle o componente de alternancia, el cual es un seleccionable que controla un gráfico secundario que muestra el estado activado / desactivado, para la selección de las unidades de ingeniería del transmisor, para esto en “Jerarquias” se crea un objeto “Class Toogle” que va a contener todos los elementos “Toogle” secundarios que hacen referencia a cada una de las unidades de medida con las que puede trabajar el transmisor, luego en la ventana escena se ordenan estos componentes de manera que el usuario pueda interactuar con ellos como en el equipo físico.

Seguido de esto, al seleccionar cada elemento “Toogle”, se puede visualizar en la ventana “Inspector” las propiedades que este posee, dentro de las cuales está el “Trigger” o disparador en donde se agrega el script previamente elaborado para que este realice la función requerida al ser seleccionado.



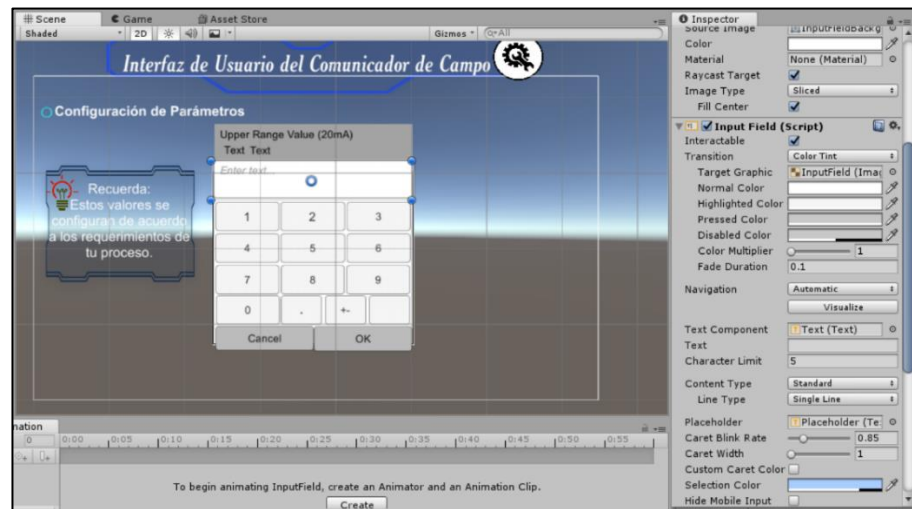
Además se añade el componente “Layout Group” al objeto “Class Toogle” creado, para que funcione como un grupo de opciones, en donde solo se puede escoger una opción por vez

Para las interfaces en donde es necesario ingresar datos por teclado virtual, se utiliza el elemento UI “InputField” el cual convierte una etiqueta simple en un campo de entrada interactivo. Al igual que con las interfaces anteriormente mencionadas, este elemento se añade dentro de un elemento padre “Game Object” y se lo coloca en la ventana “Scene” según el diseño requerido.

Para agregar la funcionalidad al campo, en la ventana “Inspector”, se encuentran las propiedades del mismo, así en Trigger se coloca el script



previamente elaborado para que Cuando se produce un evento de alternancia, se envía una devolución de llamada al programa.



### Visualización en el Display

A medida que la aplicación se desarrolla, cuando el usuario ha realizado la configuración de los parámetros de Display, se le da la opción de visualizar los cambios realizados en la pantalla LCD virtual, tal y como se observan en el transmisor real.

En base a estos requisitos se usa los objetos UI “Button” al que se le agrega el script que activa el evento que permite visualizar la pantalla LCD. También el elemento “Raw Image” para agregar la imagen de la pantalla del Display del transmisor, y el elemento “Text” es el que va a permitir mostrar los valores y campos tomados de los scripts creados para la selección de unidades, lectura del sensor, valores de rango superior e inferior, porcentaje de rango, salida analógica.

Para que el elemento “Text” obtenga los valores de visualización, dentro del script se utiliza una función llamada “PlayerPref” la cual permite Almacenar y acceder a las preferencias del desarrollador.





### Enviar cambios al transmisor

Cada vez que el usuario realice la configuración de un parámetro, debe enviar los cambios realizados al transmisor, esto se realiza mediante el botón “Send”. Para ello se sigue el mismo procedimiento, se crea un escenario con los elementos UI que contiene la opción Send.

Cada vez que se presione el botón “Send” en cualquiera de las interfaces, este llama al escenario Send, en el cual aparecen los parámetros sobre los cuales se realizó alguna configuración y se quieren enviar al transmisor.

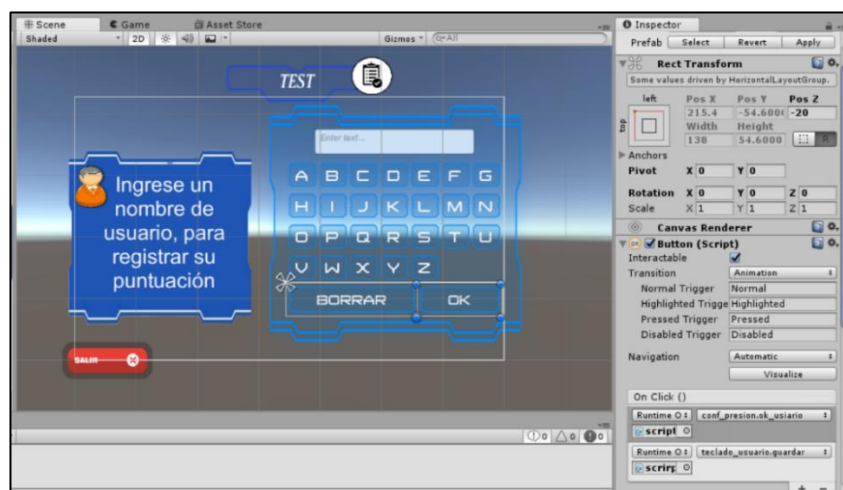


**Módulo de Evaluación** Al finalizar la etapa de entrenamiento se presentan las opciones al usuario para que realice el Test, con preguntas relevantes sobre la aplicación. Como se muestra en la Figura siguiente al Botón “Test” se le añade una rutina en el Trigger que lleva al usuario al módulo de evaluación.



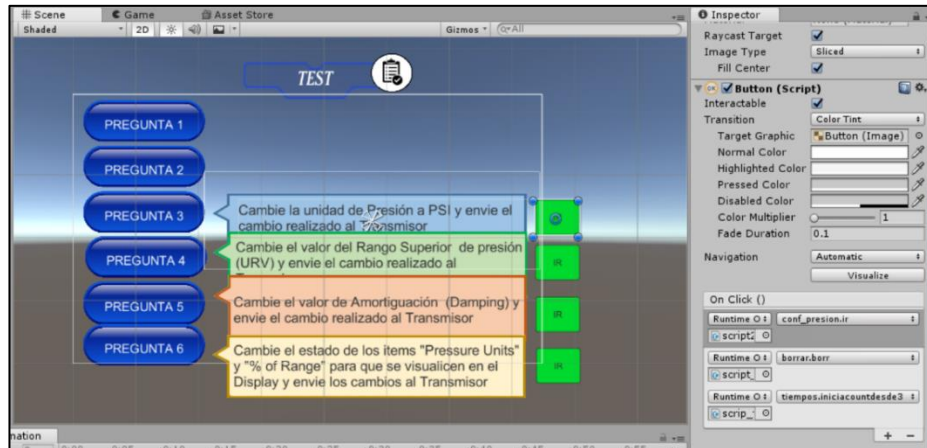
Con el fin de registrar los resultados obtenidos en el módulo, se crea un teclado virtual para que el usuario ingrese su “Nickname”, este teclado esta hecho a base de los elementos UI “Buttons” que hacen las veces de teclas y un “InputField”, que obtiene el valor de las mismas.

Para ello se agregan los elementos UI a la escena y se crea un “GameObject” principal, que contiene el conjunto de botones que representan las teclas del abecedario, un botón para borrar el campo de entrada y el botón Ok que cumple la función de guardar el “Nombre de usuario” y cambiar de escena, agregando ambos Scripts en el disparador de eventos On Click ().



Como se puede observar los elementos UI utilizados en a interfaz de Test son básicamente Texto para las instrucciones, botones y Raw Images como fondos base para colocar las instrucciones.

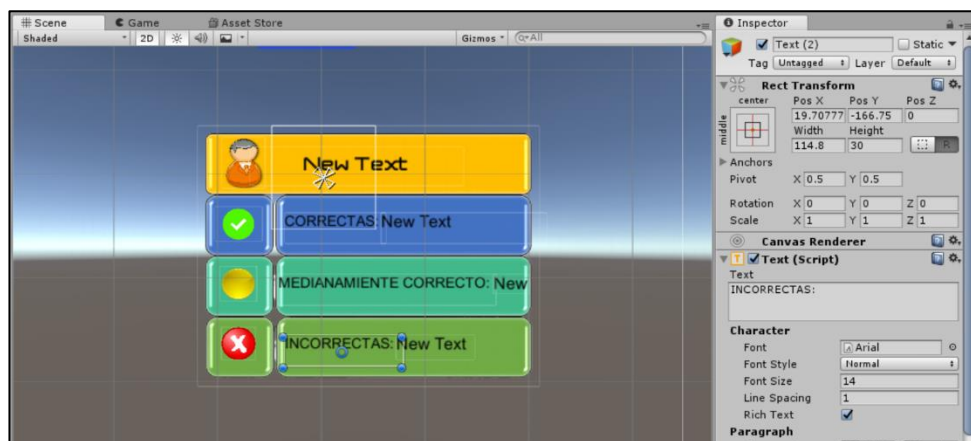
Una particularidad de la creación de este módulo es que cada vez que se presiona el botón que te lleva a la pregunta un cronómetro que representa el tiempo que el usuario tiene para contestar la pregunta, empieza a contar en forma decreciente. Para esto se utiliza el elemento “Text” al cual se lo vincula a un script que le da la funcionalidad al contador.



### Tabla Resumen de Resultados

El objeto “Resumen” está formado por elementos de Texto que corresponden a la contabilización de las respuestas correctas, incorrectas y medianamente correctas.

Cuando el usuario responde cada pregunta, mediante una función de conteo que se implementa en un script, se almacena las repuestas del mismo, y estas respuestas se vinculan a cada elemento “Text”, correspondiente a la manera en la que contesto para detallarlo en una Tabla de Resultados como se observa en la Figura mostrada a continuación.

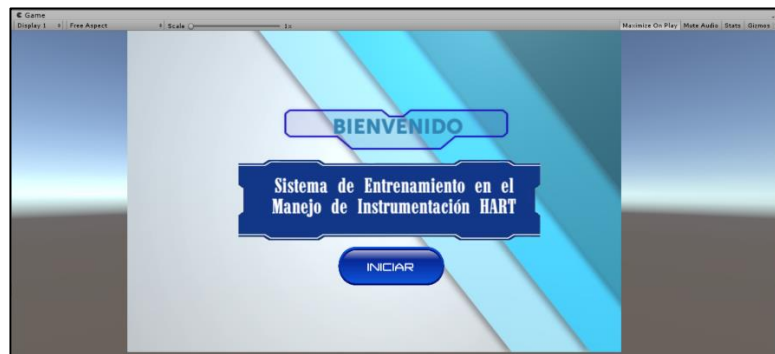


# **Anexo D**

# Manual de Usuario

En esta sección se detalla el modo de funcionamiento del sistema de realidad aumentada para el manejo de instrumentación HART, el cual sigue la secuencia indicada a continuación.

Al correr la aplicación lo primero que aparece es un mensaje de bienvenida al sistema de entrenamiento virtual junto con la opción de “Iniciar la aplicación”



En el menú principal, el usuario puede escoger entre tres opciones de interacción, “Dispositivo Comunicador”, “Selección del Equipo HART” y “Salir” de la aplicación



Al seleccionar la primera opción en “Dispositivo comunicador de campo”, el usuario puede conocer la descripción del dispositivo, además puede seleccionar cada puerto del módulo de comunicación del equipo para saber su función previo a la conexión.

Además en esta opción el usuario puede interactuar con el equipo Trex como en el entorno real.



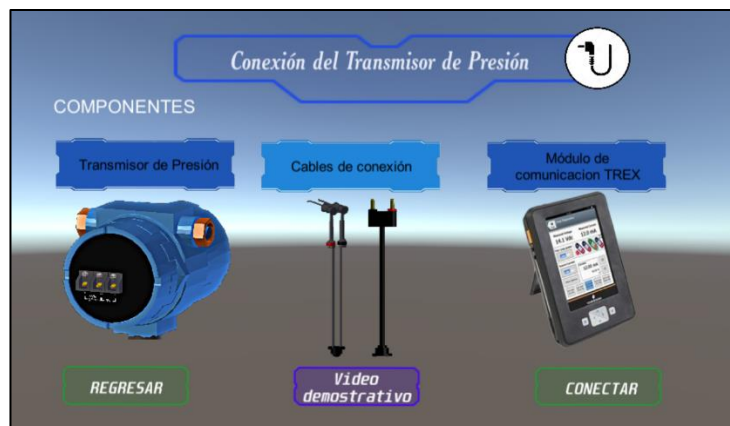
Al finalizar las interfaces correspondientes a la primera opción, el usuario regresa al menú principal y tiene la opción de seleccionar el equipo Hart de presión o temperatura según lo requiera, y posteriormente aparece un menú del equipo.



En este menú el usuario tiene tres opciones a las que puede acceder, “Visión General” en la que se le da una introducción a la función del equipo HART; la opción “Modulo de entrenamiento” en la cual se basa el desarrollo de esta aplicación y “Salir”, que permite volver al menú principal.

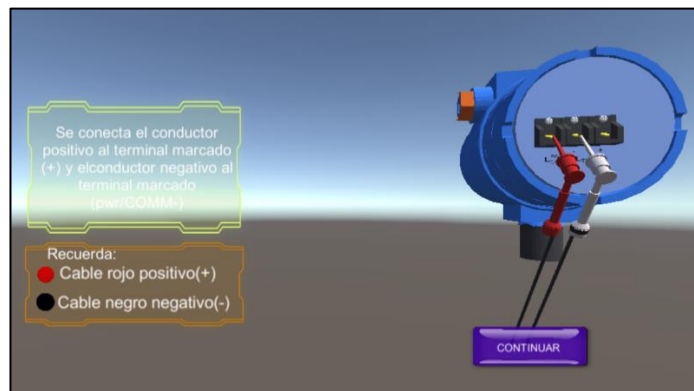
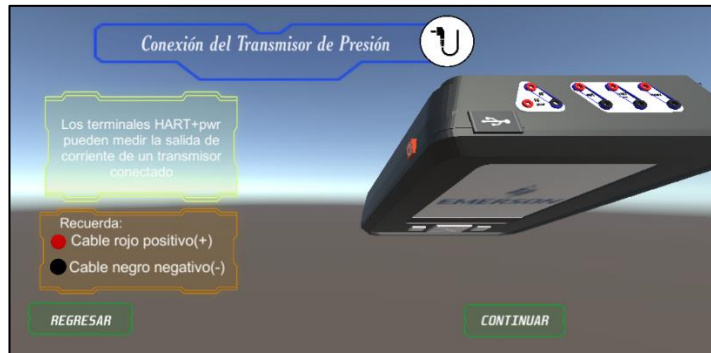


Al seleccionar la opción de módulo de entrenamiento empieza con una pequeña introducción del trabajo que se realizara en el mismo. En la figura siguiente se puede observar que lo primero que se realiza en el módulo es la conexión del equipo HART seleccionado y el Comunicador de Campo, para lo cual se muestran los componentes necesarios para la misma además de un video demostrativo.



Para realizar la conexión del dispositivo el sistema brinda instrucciones intuitivas para el usuario, el cual al seguirlas puede ver las animaciones relacionadas a la conexión como se observa a continuación.





Al finalizar la conexión, empieza la segunda parte del módulo de entrenamiento, de igual manera cuenta con instrucciones que guían al usuario a través de todos los escenarios virtuales, desde que se enciende el comunicador, hacia las diferentes pantallas de la interfaz.

Así pues se llega a la pantalla de inicio del comunicador en donde el Usuario selecciona la opción “Field Communicator” para empezar la configuración.





Luego debe seleccionar el tipo de comunicación, de acuerdo al equipo conectado. En este caso se selecciona HART para iniciar el asistente de conexión del dispositivo y conectarse al mismo.



Continuando con la configuración, se llega a la pantalla “Overview” del dispositivo donde se puede observar el estado de las variables del proceso, tal y como se observaría en el equipo físico.



Al navegar entre las opciones del menú del tablero del dispositivo, en la opción “Configure” se encuentra las opciones de “Guided Setup” y “Manual Setup”, las cuales permiten acceder a todo los parámetros configurables del dispositivo conectado.

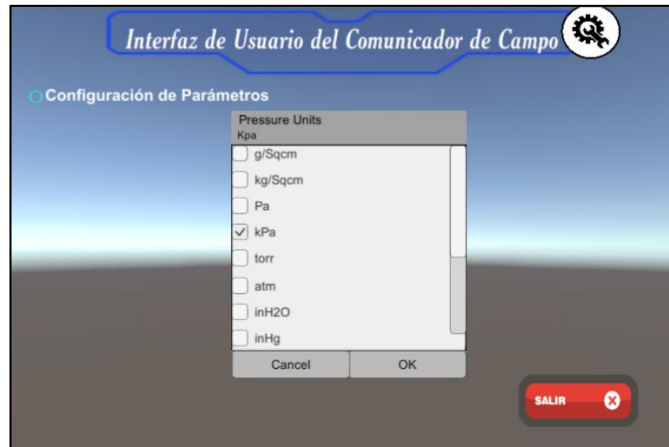


De esta manera, la primera opción a la que el usuario accede es la configuración guiada “Guided Setup”, en donde se le da las instrucciones a través de cada escenario para la configuración de parámetros

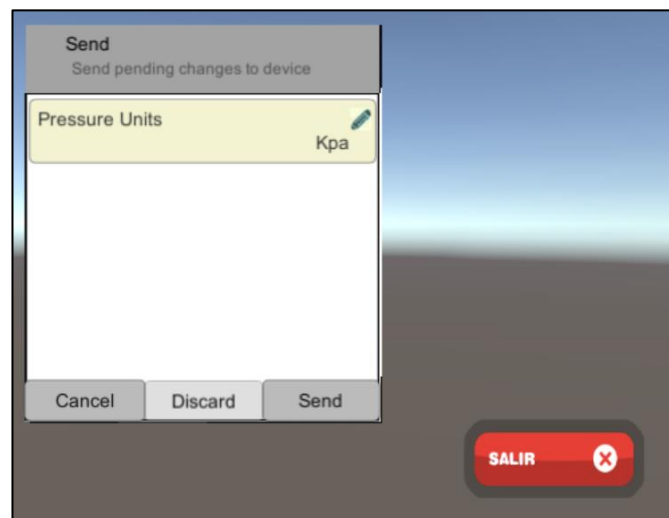


A partir de estas opciones se puede configurar los parámetros de las variables de proceso, como la selección de las unidades de ingeniería tanto en el transmisor de presión y temperatura





Cuando el usuario realiza alguna configuración debe presionar el botón “Send”, para enviar la configuración al dispositivo tal y como lo haría en el equipo físico.



Además de la configuración y visualización del Display





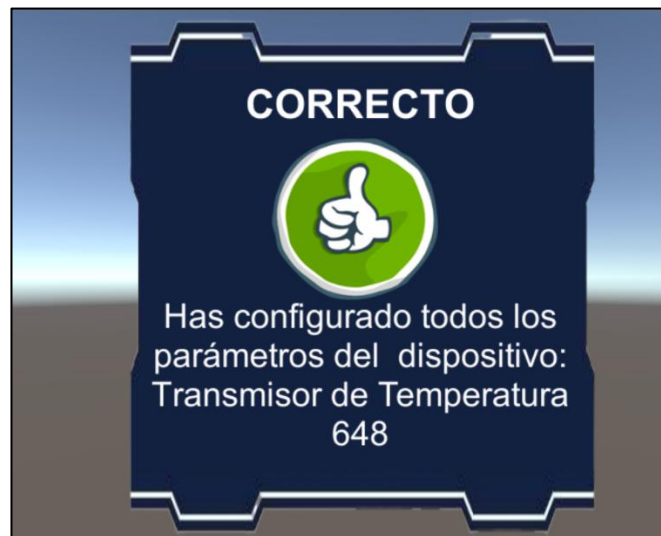
Al finalizar con las opciones de la configuración guiada, el usuario ha analizado el modo de desarrollo de la aplicación y está en la capacidad de moverse a través de la aplicación según él lo requiera.

Por lo tanto puede acceder a la configuración manual y navegar de forma libre entre las opciones de configuración al igual que como lo realizo en la configuración guiada

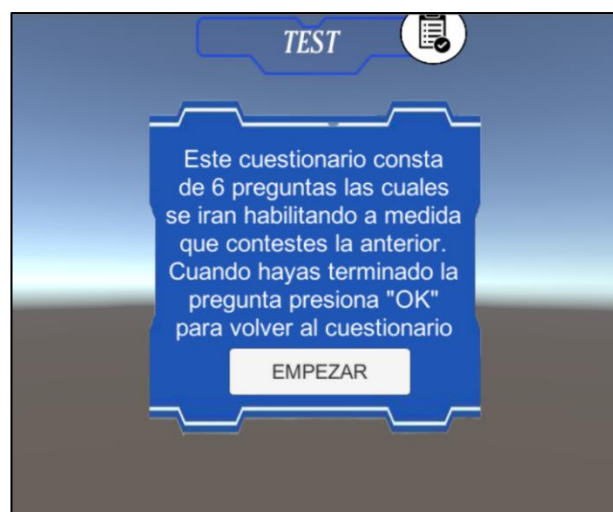


Finalmente cuando el usuario ha completado la configuración se despliega un mensaje y un conjunto de opciones que le permiten volver a la “configuración del dispositivo”

por si desea volver al entrenamiento, realizar un “Test” que permite evaluar lo aprendido en el módulo o ir al menú principal.



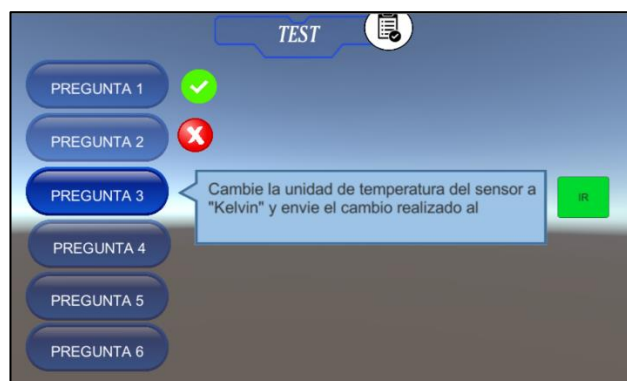
Al seleccionar “Test” el usuario entra al módulo de evaluación, en el cual primeramente debe ingresar un “nombre de usuario” para registrar su puntuación de acuerdo a la forma en que conteste las preguntas.





El módulo cuenta con una serie de preguntas que le permiten al usuario demostrar las habilidades aprendidas en el módulo anterior. Además al responder cada pregunta se despliega un cronometro con dos minutos, el cual se ha considerado como un tiempo propicio para responder cada pregunta.

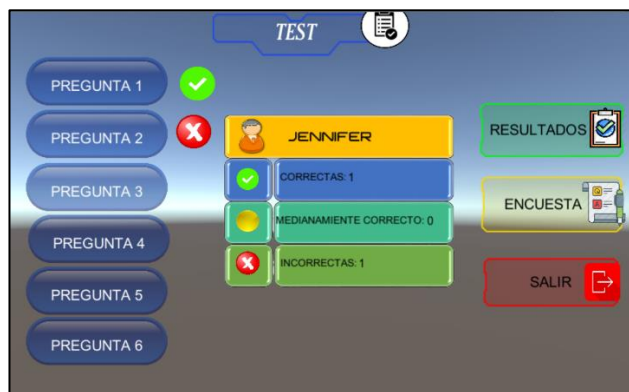
El módulo está diseñado para que se acceda a cada pregunta en forma sistemática, es decir se empieza por la pregunta 1, y a medida que se contesta la pregunta, se activa la siguiente y se desactiva la anterior guardando la respuesta dada.



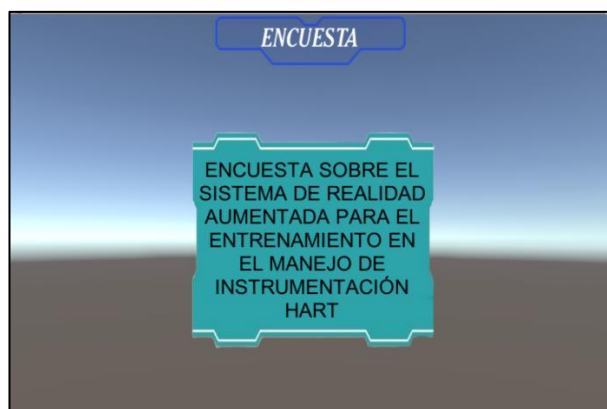
Finalmente cuando el usuario termine de responder la pregunta según el considere correcto, debe presionar el botón "Listo" o de otra forma al culminar el tiempo la escena se cierra sola y regresa al menú de preguntas.



Finalmente cuando el usuario ha contestado todas las preguntas aparece un cuadro de resultados de las respuestas correctas, medianamente correctas e incorrectas.



Además junto con la tabla de resultados se le da al usuario la opción de responder una encuesta, la cual servirá para la validación del sistema desarrollado



# **Anexo E**



## Encuesta de validación del sistema de Realidad Aumentada

Encuesta de validación del sistema de realidad aumentada	
Preguntas	Respuestas
¿Ha usado una aplicación virtual para entrenamiento industrial?	<input type="checkbox"/> 1. Nunca
	<input type="checkbox"/> 2.Raramente
	<input type="checkbox"/> 3.Ocasionalmente
	<input type="checkbox"/> 4.Casi siempre
	<input type="checkbox"/> 5.siempre
¿Cuán importante considera Ud. que es capacitarse en el manejo de dispositivos HART?	<input type="checkbox"/> 1. Nada
	<input type="checkbox"/> 2.Poco
	<input type="checkbox"/> 3.Algo
	<input type="checkbox"/> 4.Bastante
	<input type="checkbox"/> 5.Mucho
¿Ha utilizado dispositivos de realidad aumentada para visualizar entornos simulados?	<input type="checkbox"/> 1. Nunca
	<input type="checkbox"/> 2.Raramente
	<input type="checkbox"/> 3.Ocasionalmente
	<input type="checkbox"/> 4.Casi siempre
	<input type="checkbox"/> 5.siempre
¿Podría identificar los equipos involucrados en el módulo de entrenamiento impartido previamente, y aplicarlo de manera correcta en un entorno real?	<input type="checkbox"/> 1. Nunca
	<input type="checkbox"/> 2.Raramente
	<input type="checkbox"/> 3.Ocasionalmente
	<input type="checkbox"/> 4.Casi siempre
	<input type="checkbox"/> 5.Siempre
¿Cuál fue el grado de inmersión que alcanzó al utilizar el sistema de RA?	<input type="checkbox"/> 1. Nada
	<input type="checkbox"/> 2.Poco
	<input type="checkbox"/> 3.Algo
	<input type="checkbox"/> 4.Bastante
	<input type="checkbox"/> 5.Mucho

<p>¿La utilización de la herramienta de realidad virtual le ayudó a comprender y retener de mejor manera la información recibida?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>1. Nada  2.Poco  3.Algo  4.Bastante  5.Mucho</p>
<p>¿Recomendaría este sistema de entrenamiento como una herramienta complementaria a la capacitación teórica que se imparte en las industrias?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>1. Nada  2.Poco  3.Algo  4.Bastante  5.Mucho</p>