



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA
CAPACITACIÓN EN PROCESOS DE SOLDADURA Y EL USO
RESPECTIVO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Pierina Nicole Moncada Santos
Jimmy Enmanuel Rivera Tobar
TUTOR: David Mateo Cortez Saravia

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Jimmy Enmanuel Rivera Tobar** con documento de identificación N° **0923960892** y **Pierina Nicole Moncada Santos** con documento de identificación N° **0928728013**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 23 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jimmy Enmanuel Rivera Tobar
0923960892



Pierina Nicole Moncada Santos
0928728013

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Jimmy Enmanuel Rivera Tobar** con documento de identificación N° **0923960892** y **Pierina Nicole Moncada Santos** con documento de identificación N° **0928728013**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA CAPACITACIÓN EN PROCESOS DE SOLDADURA Y EL USO RESPECTIVO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jimmy Enmanuel Rivera Tobar
0923960892



Pierina Nicole Moncada Santos
0928728013

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA CAPACITACIÓN EN PROCESOS DE SOLDADURA Y EL USO RESPECTIVO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**, realizado por **Jimmy Enmanuel Rivera Tobar** con documento de identificación N° **0923960892** y por **Pierina Nicole Moncada Santos** con documento de identificación N° **0928728013**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. David Mateo Cortez Saravia, Msc.
0963020193

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi padre, Jaime Virgilio Rivera Cabezas, que siempre ha sido mi ejemplo de esfuerzo y dedicación. Culminar esta etapa de mi vida es, sin duda, una manera de honrar el sacrificio y amor que has puesto en cada paso de mi camino. Sé que esto te llenará de orgullo, y ese pensamiento ha sido mi motor en los momentos más difíciles.

A mi madre, Nelly del Carmen Tobar Galarza que con su constante preocupación por mi bienestar ha sido mi roca silenciosa. Tu cariño y cuidado, desde asegurarme que comiera bien hasta motivarme en cada semestre, han sido una parte fundamental de mi éxito.

A mi tutor de tesis, al ingeniero y Máster David Mateo Cortez Saravia un verdadero ejemplo de dedicación y enseñanza. Gracias por las lecciones que van más allá de lo académico y que sin duda me acompañarán a lo largo de mi vida.

A mi novia, Stefania Cristina Falcones Chavez quién ha sido mi compañera incondicional durante estos seis años de carrera universitaria, brindándome apoyo, amor y paciencia en cada paso del camino.

A mis hermanas, Juliana Brithany Rivera Tobar y María Noemí Rivera Tobar a quienes quiero profundamente. Cada uno de ustedes ha sido parte de este logro, y esta tesis es también para ustedes.

Y a Grace María Pino Palau, mi mejor amiga durante la vida universitaria, una persona a quien he llegado a querer mucho a lo largo de estos años. Tu amistad ha sido un pilar que ha hecho de este recorrido algo más llevadero y significativo.

Gracias a todos por creer en mí, incluso cuando yo dudaba. Este es solo el comienzo de muchas más metas por cumplir.

Jimmy Enmanuel Rivera Tobar

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre Pierina del Rocío Santos Realpe, es la persona que ha sido mi pilar durante toda mi vida. Me ha enseñado lo ardua que es la vida, y ha sacrificado todo para que pueda ser la profesional que soy ahora. Le dedico esta investigación a mi familia que me ha apoyado tanto, y que me ha mostrado a ser perseverante y honesta, las cosas que motivan a una persona a mejorar cada día más.

Adicionalmente a mis mejores amigos, que en mis momentos mas bajos, me dieron su hombro para llorar, y así mismo compartimos momentos que duraran una eternidad. Este proyecto esta dedicado a todas las personas en mi vida que confiaron en mí.

Pierina Nicole Moncada Santos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza para continuar en este camino. A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo constante. A mi tutor, David Mateo Cortez Saravia, por su guía y dedicación. A mi novia y a mis hermanas, por estar siempre a mi lado. A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a este logro.

Jimmy Enmanuel Rivera Tobar

Agradezco a mi familia por todo el amor y su confianza en mí para poder cumplir cada meta propuesta.

Agradezco principalmente a nuestro tutor el Ing. David Cortez, que nos motivo, fue paciente y amable, estuvo para nosotros brindándonos consejos para poder llevar a cabo esta investigación. A todos los docentes que pertenecen a la carrera de ingeniería mecatrónica, que constantemente brindan sus conocimientos para que el alumnado pueda obtener éxito como profesionales y buenas personas.

Pierina Nicole Moncada Santos

RESUMEN

El trabajo de titulación se centra en la creación de un entorno virtual innovador que busca transformar la manera en que se enseña y se aprende sobre soldadura. Este proyecto tiene como objetivo principal proporcionar a los estudiantes una plataforma segura y efectiva para adquirir habilidades prácticas en soldadura, un campo que tradicionalmente ha requerido un enfoque práctico en entornos potencialmente peligrosos. La soldadura es una técnica esencial en diversas industrias, y la capacitación adecuada es crucial para garantizar la seguridad y la competencia de los futuros profesionales.

El entorno virtual permite a los estudiantes interactuar con simulaciones realistas que replican los procesos de soldadura, incluyendo la fusión y solidificación de materiales. A través de esta experiencia inmersiva, los estudiantes pueden practicar técnicas de soldadura sin el riesgo de lesiones o accidentes, lo que les permite aprender a su propio ritmo y desarrollar confianza en sus habilidades. Además, se incorpora el uso de equipos de protección personal (EPP), lo que es fundamental para preparar a los estudiantes para las exigencias del mundo laboral. La capacitación en el uso adecuado de EPP no solo es una cuestión de cumplimiento normativo, sino que también es vital para la prevención de accidentes y la promoción de un entorno de trabajo seguro.

El desarrollo de este entorno virtual se basa en la integración de tecnologías avanzadas, como gráficos en 3D, simulaciones interactivas y herramientas de realidad virtual, siendo la fuente Unity. Esta tecnología permiten crear un espacio de aprendizaje que es tanto educativo como atractivo, facilitando la comprensión de conceptos complejos relacionados con la soldadura. Además, se implementan mecanismos de retroalimentación que permiten a los estudiantes evaluar su desempeño y recibir orientación sobre cómo mejorar sus técnicas. Este enfoque no solo fomenta el aprendizaje activo, sino que también ayuda a los estudiantes a identificar áreas de mejora y a establecer metas de desarrollo personal.

Finalmente, se destaca la relevancia de este trabajo en el contexto educativo actual, donde la tecnología juega un papel cada vez más importante en la enseñanza y el aprendizaje. La implementación de un entorno virtual para la capacitación en soldadura no solo representa un avance en la metodología de enseñanza, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro laboral en un mundo en constante evolución. Este proyecto ha demostrado ser una herramienta eficaz debido a que minimiza los riesgos asociados a prácticas físicas, aumenta la habilidad de los estudiantes y su conocimiento de manera segura.

ABSTRACT

The thesis project focuses on the creation of an innovative virtual environment aimed at transforming the way welding is taught and learned. The primary goal of this project is to provide students with a safe and effective platform to acquire practical welding skills, a field that traditionally requires hands-on experience in potentially hazardous environments. Welding is an essential technique in various industries, and proper training is crucial to ensure the safety and competence of future professionals.

The virtual environment allows students to interact with realistic simulations that replicate welding processes, including the fusion and solidification of materials. Through this immersive experience, students can practice welding techniques without the risk of injury or accidents, enabling them to learn at their own pace and build confidence in their skills. Moreover, the use of personal protective equipment (PPE) is incorporated, which is essential for preparing students for the demands of the workplace. Training in the proper use of PPE is not only a matter of regulatory compliance but also vital for preventing accidents and promoting a safe work environment.

The development of this virtual environment is based on the integration of advanced technologies, such as 3D graphics, interactive simulations, and virtual reality tools, with Unity as the main source. These technologies create a learning space that is both educational and engaging, facilitating the understanding of complex welding-related concepts. Additionally, feedback mechanisms are implemented to allow students to assess their performance and receive guidance on how to improve their techniques. This approach not only encourages active learning but also helps students identify areas for improvement and set personal development goals.

Finally, the significance of this work is highlighted in the current educational context, where technology plays an increasingly important role in teaching and learning. The implementation of a virtual environment for welding training not only represents an advancement in teaching methodology but also prepares students to face the challenges of the future workforce in a constantly evolving world. This project has proven to be an effective tool as it minimizes the risks associated with physical practices, enhances students' skills and knowledge in a safe manner.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Objetivos	3
III-A.	Objetivo general	3
III-B.	Objetivos específicos	3
III-C.	Matriz de objetivos	3
IV.	Fundamentos Teóricos	4
IV-A.	Soldadura y prácticas de seguridad industrial	4
IV-A1.	Tipos de máquinas de soldadura	4
IV-A2.	Tipos de juntas	5
IV-B.	Proceso de soldadura MIG	6
IV-C.	Proceso de soldadura TIG	7
IV-D.	Proceso de soldadura SMAW	7
IV-E.	Normativas del proceso de soldadura	7
IV-E1.	Código de Soldadura ASME	7
IV-E2.	Código de soldadura API	8
IV-E3.	Código de soldadura AWS	8
IV-F.	ISO 45001 de salud industrial y seguridad	8
IV-G.	Realidad Virtual	8
IV-G1.	Visor Meta Quest 2	9
IV-H.	Unity como plataforma para realidad virtual en procesos de soldadura	10
IV-I.	ISO 45001 Medición del desempeño	11
V.	Marco Metodológico	12
V-A.	Diseño y elección de componentes	12
V-B.	Selección de componentes para el simulador de soldadura	13
V-C.	Diseño CAD de entorno virtual	18
VI.	Resultados	44
VI-A.	Evaluación de estudiantes con un simulador de soldadura en realidad Virtual	44
VII.	Cronograma	46
VIII.	Presupuesto	47
IX.	CONCLUSIONES	48
X.	RECOMENDACIONES	48
XI.	Anexos	49
XI-A.	Resultados de la encuesta	49
XI-B.	Validación de simulación	49
XI-C.	Toma de datos	52
	Referencias	56

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Tipos de juntas de soldadura	6
2.	Meta Quest 2.	10
3.	Unity.	11
4.	Requerimientos para la formación en soldadura a través de un sistema de simulación utilizando Oculus Quest 2.	12
5.	Verificación de la instalación del XR Plug-in.	18
6.	Verificación de todas las configuraciones del toolkit	19
7.	Importación de los modelados CAD realizados en Autodesk Inventor	20
8.	Proceso de configuración de colisiones	20
9.	Integrar interacciones en realidad extendida al reutilizar configuraciones predefinidas	21
10.	Ajuste los objetos virtuales de acuerdo con los modelos 3D específicos del proyectos	22
11.	Integración y configuración del “XR Interaction Setup”	23
12.	Configuración de la detección de objetos.	24
13.	Personalización del script Dynamic Move Provider.	25
14.	Creación de menú principal.	26
15.	Personalización del agarre de objetos mediante el script modificado	27
16.	Ajustes en la posición, tamaño y estilo de la UI dentro de la escena	27
17.	Programación de la puerta	28
18.	Cuarto de soldadura	28
19.	Configuración de máscara para soldadura	29
20.	Agarre y manipulación para el usuario	29
21.	Integración de pistola MIG	30
22.	Integración de portaelectrodo	30
23.	Configuración de pinzas a tierra	31
24.	Interfaz de selección de soldadura	31
25.	Diagrama de flujo de la gestión de selecciones de usuario en GameManager	32
26.	Configuración del trigger.	33
27.	Selección de tipo de junta a trabajar	33
28.	Selección de alambres para soldadura	34
29.	Selección de electrodos para soldadura	35
30.	Selección de amperaje a trabajar	36
31.	Configuración del trigger de la mesa.	36
32.	Portaelectrodo para soldadura SMAW	38
33.	Trigger en portaelectrodo para soldadura	39
34.	Cordón de soldadura.	39
35.	Alerta de error al soldar	41
36.	Resultados del usuario.	42
37.	Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.	45
38.	Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.	46
39.	Resultados de la encuesta de Likert realizada a los estudiantes.	49
40.	Prueba de simulación a estudiantes sin conocimiento de soldadura	50
41.	Toma de datos por medio de código QR para evaluación de satisfacción	50
42.	Prueba de entorno virtual a estudiantes que realizan prácticas de soldadura	51
43.	Medición de equipos utilizados en practicas para su familiarización	52
44.	Puntos de información importantes a estudiantes o practicantes	52
45.	EPP indispensable para estudiantes en sus prácticas	53
46.	Visualización de EPP que usan estudiantes para sus prácticas	53
47.	Toma de datos de tiempo de soldadura a estudiantes en sus practicas	54
48.	Cordones de soldadura realizado por estudiantes en prácticas	54
49.	Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.	55

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Matriz de objetivos. Fuente: Los Autores.	3
II.	Millermatic y cst 280.	5
III.	Características entre Millermatic 252 y CST 280	5
IV.	Comparación entre pantalla montada y pantalla externa.	9
V.	Cuadro de necesidades y alternativas de solución en el desarrollo del software de simulación de soldadura utilizando Unity.	12
VI.	Cuadro de ponderación de criterios para el desarrollo del software de simulación de soldadura utilizando Unity.	13
VII.	Selección de componentes y su ponderación para el simulador de soldadura en realidad virtual con Oculus Quest 2.	13
VIII.	Comparación entre el modelo real del casco de soldadura y el diseño dibujado para el entorno virtual.	14
IX.	Comparación entre el modelo real del overall de seguridad y el diseño dibujado para el entorno virtual.	14
X.	Comparación entre el modelo real de la mascarilla de seguridad y el diseño dibujado para el entorno virtual.	15
XI.	Comparación entre el modelo real de los guantes de seguridad y el diseño dibujado para el entorno virtual.	15
XII.	Comparación entre el modelo real de la antorcha XR-Aluma-Pro™ Lite 300948 y el modelo CAD para el entorno virtual.	16
XIII.	Comparación entre el modelo real del portaelectrodo PE 300-Infra Miller y el modelo CAD para el entorno virtual.	16
XIV.	Comparación entre el modelo real de la fuente de poder CST 280 y el diseño dibujado para el entorno virtual.	17
XV.	Comparación entre el modelo real de la Soldadora MIG MILLERMATIC 252 y el diseño dibujado para el entorno virtual.	17
XVI.	Comparación entre el modelo real de las botas de seguridad y el diseño dibujado para el entorno virtual.	18
XVII.	Animación de visualización y previzualización de soldadura	37
XVIII.	Distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes en relación a su experiencia con el simulador de soldadura en realidad virtual.	44
XIX.	Resultados de Soldadura de Estudiantes	45
XX.	Lista de elementos y sus valores totales	47

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la educación técnica y la formación profesional, la adquisición de habilidades prácticas y conocimientos especializados desempeña un papel fundamental en la preparación de los estudiantes para el mercado laboral. En particular, en disciplinas como la soldadura y la seguridad industrial, donde la precisión, destreza y adherencia a protocolos de seguridad son críticos, es esencial proporcionar a los estudiantes una formación efectiva que les permita desarrollar competencias sólidas y prácticas seguras desde el inicio de su carrera. La Realidad Virtual (VR) se ha convertido en una herramienta educativa tecnológica innovadora, que proporciona un entorno de aprendizaje inmersivo que permite a los estudiantes practicar habilidades tecnológicas de manera segura y controlada. Según la investigación de Min Jou [1], la realidad virtual no sólo mejora la experiencia de aprendizaje, sino que también mejora la retención de conocimientos y el desarrollo de habilidades prácticas. Las investigaciones muestran que la inmersión en un entorno virtual promueve la comprensión de conceptos complejos y la aplicación de habilidades técnicas, proporcionando así mejores resultados de aprendizaje en comparación con los métodos de aprendizaje tradicionales. Esto resalta la importancia de integrar la realidad virtual en la formación vocacional, particularmente en disciplinas que requieren precisión y énfasis en protocolos de seguridad, como la soldadura y la seguridad industrial.

Dentro de la educación actual, la formación virtual se ha convertido en una importante herramienta para el desarrollo de habilidades técnicas. La realidad virtual inmersiva en entornos de aprendizaje inteligentes no solo puede mejorar la interacción y el compromiso de los estudiantes, sino también simular escenarios reales que son difíciles de replicar en entornos tradicionales. Las investigaciones muestran que estas plataformas virtuales permiten a los estudiantes practicar habilidades en un entorno seguro donde pueden experimentar y aprender de sus errores sin las consecuencias que ocurrirían en un entorno real. Además, la formación virtual promueve un aprendizaje autodirigido y personalizado que se adapta a las necesidades individuales de cada alumno, proporcionando así una formación más eficaz y relevante para el mercado laboral actual [2].

El aprendizaje virtual ha demostrado ser una alternativa eficaz a los métodos tradicionales de aprendizaje basados en tecnología. Según el artículo de Ngoc-Hien Tran [3], la implementación de un sistema de realidad virtual para simular el proceso de soldadura permite a los estudiantes practicar habilidades importantes en un entorno seguro y controlado. Los resultados del estudio mostraron que los participantes que recibieron capacitación en realidad virtual tardaron significativamente menos tiempo en completar la tarea de soldadura y tuvieron una mayor precisión y cumplimiento de los estándares de seguridad en comparación con aquellos que recibieron capacitación tradicional. Además, los estudiantes que utilizaron el sistema VR quedaron más satisfechos y motivados con el proceso de aprendizaje. Estos hallazgos resaltan el potencial del aprendizaje virtual para transformar la educación tecnológica al brindarles a los estudiantes experiencias de aprendizaje más efectivas y atractivas.

La Universidad Politécnica Salesiana reconoce la importancia de esta preparación integral y se compromete a ofrecer a sus estudiantes las herramientas y recursos necesarios para sobresalir en su campo. En este contexto, surge la necesidad de explorar nuevas metodologías educativas que no solo mejoren la experiencia de aprendizaje, sino también preparen a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo laboral moderno. En respuesta a esta necesidad, el presente proyecto tiene por objetivo la implementación de un entorno de realidad virtual diseñado específicamente para mejorar las habilidades de los estudiantes en procesos de soldadura y promover prácticas efectivas de seguridad industrial.

La realidad virtual ofrece una oportunidad única para proporcionar a los estudiantes una experiencia de aprendizaje inmersiva y realista, donde puedan practicar y perfeccionar sus habilidades en un entorno controlado y seguro. El desarrollo del entorno virtual se desarrolla en la plataforma Unity, misma en la que se configuran la escala de los objetos y respectivos parámetros, así como la interacción que tendrán con los usuarios mediante scripts. Se toma en cuenta que el entorno promueva prácticas efectivas de equipos de protección personal, señalización y protocolos de seguridad. Los resultados de la evaluación de la eficiencia del entorno de realidad virtual después de realizar la comparación entre el desempeño de los estudiantes antes y después de la capacitación, demuestra una mejoría en cuanto a la reducción de errores cometidos durante la práctica de soldadura.

II. PROBLEMA

La formación de los estudiantes en procesos de soldadura y prácticas de seguridad industrial enfrenta desafíos significativos debido a la falta de recursos educativos interactivos y la limitada exposición a situaciones prácticas en entornos industriales reales. Esta carencia puede resultar en un déficit en las habilidades técnicas necesarias para llevar a cabo trabajos de soldadura de manera competente y en un conocimiento insuficiente sobre los protocolos de seguridad industrial, lo que potencialmente aumenta el riesgo de accidentes laborales y afecta la calidad del trabajo en el ámbito de la industria [4].

La soldadura presenta desafíos adicionales debido a su complejidad, especialmente en lo que respecta a las prácticas seguras, por ejemplo la exposición a humos y gases puede ser perjudicial para la salud respiratoria, lo cual resalta la importancia crucial de seguir meticulosamente los protocolos de seguridad en entornos industriales. Esto no solo es fundamental para proteger la salud y seguridad de los trabajadores, sino también para asegurar la excelencia en los productos fabricados. Por lo tanto, la necesidad de una solución innovadora y efectiva para mejorar la formación en soldadura y promover prácticas seguras en entornos industriales se vuelve imperativa para las universidades [5].

La Universidad Politécnica Salesiana (UPS) dispone de equipos para el desarrollo de prácticas de soldadura, sin embargo, el acceso a estas prácticas se ve restringido debido a factores como los procedimientos internos para el uso de laboratorios, los riesgos inherentes a la manipulación de las máquinas y la alta demanda de estudiantes que requieren utilizar dichos recursos.

Por otro lado, la pandemia y otros eventos a nivel mundial, como es el alza en el nivel de criminalidad, y los conflictos bélicos han derivado en que las universidades opten por el desarrollo regular de sus actividades de forma virtual o híbrida. Sin embargo, existen ciertas actividades que no se pueden llevar a cabo de forma virtual, como las prácticas de laboratorio, pues estas requieren de equipos que únicamente se encuentran en los laboratorios [6].

Aunque en la actualidad existen herramientas y software que se puede usar para simular estas prácticas, entre ellas, software de realidad virtual, se debe tomar en cuenta que existen limitaciones en cuanto al uso de esta tecnología tal como la falta de una retroalimentación táctil, ya que los estudiantes pueden simular visualmente la soldadura, pero no sentir la resistencia o la temperatura asociada con la soldadura, lo que puede afectar su capacidad para desarrollar habilidades prácticas precisas [7]. Otra limitante está en la precisión de la física. Aunque la realidad virtual puede simular ciertos aspectos de la física, como la gravedad y la interacción entre objetos, puede haber limitaciones en cuanto a la precisión de estas simulaciones. Esto podría afectar la autenticidad de la experiencia de soldadura y la transferencia de habilidades a un entorno real [8].

En estudios recientes se han tratado los diferentes problemas en cuanto al desarrollo de entornos virtuales, por ejemplo, Gavilanez y Borbor, mencionan que el desarrollo de estos entornos virtuales se vuelve complejo, así como su implementación en un centro educativo. Dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, señalan que el laboratorio de manufactura cuenta con dos máquinas fresadoras, por ejemplo, sin embargo el acceso para los estudiantes es limitado, primero porque la cantidad de estudiantes es alta y luego por los procedimientos internos a seguir para solicitar acceso a las máquinas, luego están los riesgos presentes durante el uso [9].

En otro estudio, se menciona que la realidad virtual es una tecnología aún poco conocida en entornos industriales y en otros casos aunque las empresas esperan hacer uso de ella, su desarrollo preliminar que puede ser bastante extendido y sus costos de logística e implementación, limitan su acceso principalmente en empresas pequeñas. Otros problemas que encuentran son la capacitación al personal cuando estos están acostumbrados a los métodos tradicionales, por lo que se requiere de tiempo y una cantidad considerable de recursos, lo que podría reducir la productividad mientras se adaptan al cambio [10].

III. OBJETIVOS

III-A. *Objetivo general*

Desarrollar un entorno de realidad virtual para la realización de prácticas de soldadura industrial seguras en ambientes universitarios utilizando Unity para su programación.

III-B. *Objetivos específicos*

- Diseñar las etapas y componentes que conforman el entorno de realidad virtual del laboratorio de soldadura industrial utilizando un software de diseño paramétrico.
- Implementar el entorno de realidad virtual en un laboratorio de la carrera de Mecatrónica para el acceso de estudiantes universitarios a prácticas virtuales para el desarrollo de habilidades de soldadura.
- Evaluar la efectividad del entorno de realidad virtual en cuanto al mejoramiento de habilidades de soldadura en estudiantes universitarios utilizando como referencia la prueba de aptitudes de soldadura por arco metálico (MAWST).

III-C. *Matriz de objetivos*

Tabla I
MATRIZ DE OBJETIVOS. FUENTE: LOS AUTORES.

Objetivos	Planteamiento	Meta	Indicador
O.E. 1	Diseñar las etapas y componentes que conforman el entorno de realidad virtual del laboratorio de soldadura industrial utilizando un software de diseño paramétrico.	Alcanzar un 70 % de réplica en componentes de una de las cabinas de soldadura del campus Centenario.	Modelado CAD de los componentes y satisfacción del instructor de soldadura con la réplica de la cabina de soldadura en el entorno de realidad virtual.
O.E. 2	Implementar el entorno de realidad virtual en un laboratorio de la carrera de Mecatrónica para el acceso de estudiantes universitarios a prácticas virtuales para el desarrollo de habilidades de soldadura.	Incrementar en un 10 % el uso del laboratorio de la Carrera Mecatrónica para la formación práctica de soldadura en estudiantes.	Realizar encuestas a los estudiantes sobre su percepción con respecto al laboratorio de realidad virtual para el aprendizaje de soldadura y su accesibilidad.
O.E. 3	Evaluar la efectividad del entorno de realidad virtual en cuanto al mejoramiento de habilidades de soldadura en estudiantes universitarios utilizando como referencia la prueba de aptitudes de soldadura por arco metálico (MAWST).	Alcanzar un 60 % de aceptación de los estudiantes universitarios en el uso de prácticas virtuales en comparación al método tradicional de práctica en cabinas de soldadura físicas.	Validación de la efectividad del aprendizaje mediante un estudio comparativo entre prácticas físicas y prácticas en realidad virtual.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

IV-A. Soldadura y prácticas de seguridad industrial

La soldadura en numerosas industrias se ha constituido como un proceso fundamental para la manufactura, dado que es utilizada para unir materiales metálicos de manera permanente sin la necesidad de un químico ó catalizador para dicha unión. Existen diferentes procesos de soldadura, los cuales poseen distintas características y su aplicación dependerá de la situación, así mismo poseen ventajas y desventajas en comparación de los unos con los otros [11].

- 1) Soldadura por arco eléctrico: En este proceso, se genera un arco eléctrico entre un electrodo y el material base, fundiendo ambos para formar la unión. Puede ser con electrodo revestido, MIG/MAG, TIG, entre otros. Es ampliamente utilizado en la construcción, fabricación de maquinaria, estructuras metálicas, automotriz y más. Sus ventajas son una alta velocidad de soldadura, versatilidad para diferentes tipos de metales, buena calidad de la soldadura. Sus desventajas son que requiere habilidad para el manejo del equipo, emisión de humos y gases durante el proceso, entre otras [12].
- 2) Soldadura por gas: Utiliza una llama generada por la combustión de un gas combustible y un gas de oxígeno para fundir los materiales. Sus aplicaciones van en soldadura autógena, oxiacetilénica, oxicorte, entre otras. Sus ventajas son su portabilidad, bajo costo en comparación con otros procesos de soldadura, y utilizada en trabajos de campo y aplicaciones de reparación. Sus desventajas son su limitación a ciertos materiales y espesores, también es menos eficiente que otros procesos en algunas aplicaciones [13].
- 3) Soldadura por resistencia: Se utiliza la resistencia eléctrica y la presión mecánica para generar calor y fundir los materiales a unir. Sus aplicaciones van desde la industria automotriz, electrónica, fabricación de electrodomésticos y más. Sus ventajas son su alta velocidad de soldadura, producción en masa, control preciso del proceso. Sus desventajas son que está limitada a materiales conductores de electricidad, además que requiere de maquinaria especializada [14].
- 4) Soldadura por haz de electrones: Utiliza un haz de electrones para fundir los materiales, tiene aplicaciones en la industria aeroespacial y médica [15].
- 5) Soldadura láser: Utiliza un láser para fundir los materiales, aplicaciones en microsoldadura y fabricación de dispositivos electrónicos [16].

Cada tipo de proceso de soldadura tiene sus propias características, aplicaciones y consideraciones específicas. La selección del proceso adecuado dependerá de factores como el tipo de material, espesor, requisitos de calidad y condiciones de trabajo. Es importante considerar las ventajas y desventajas de cada proceso para determinar cuál es el más adecuado para una aplicación específica en la industria.

IV-A1. Tipos de máquinas de soldadura: Durante la investigación se determinó que en el laboratorio de la universidad existían dos tipos de máquinas de soldar. El primero, Millermatic 252, se utiliza ampliamente en el proceso de soldadura MIG debido a su eficiencia y capacidad para manejar muchas aplicaciones industriales. Se prefiere este equipo para su uso en aplicaciones que requieren soldadura precisa y continua en condiciones controladas, como en talleres y fábricas. Por el contrario, la CST 280 es la máquina elegida frecuentemente para procesos de soldadura SMAW/TIG, distinguiéndose por su movilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones de trabajo. Este equipo es especialmente valioso en aplicaciones que requieren soldadura de precisión de alta calidad, como trabajos de reparación y mantenimiento en campo.

Tabla II
MILLERMATIC Y CST 280.



Tabla III
CARACTERÍSTICAS ENTRE MILLERMATIC 252 Y CST 280

Característica	Millermatic 252	CST 280
Tipo de Soldadura	MIG (Metal Inert Gas)	TIG (Tungsten Inert Gas) y SMAW
Rango de Voltaje	23-30 V	10-25 V (TIG), 20-30 V (Stick)
Amperaje	30-300 A	5-280 A
Ciclo de Trabajo	60 % a 300 A, 100 % a 200 A	60 % a 280 A
Alimentación de Alambre	Automática, con ajuste de velocidad	Manual (TIG) y con electrodo (Stick)
Portabilidad	Moderada, diseño de carro opcional	Alta, diseño compacto y ligero
Control de Parámetros	Ajuste fácil de voltaje y velocidad de alimentación	Controles intuitivos para amperaje y voltaje
Uso Recomendado	Talleres, fabricación industrial	Trabajos de campo, reparaciones precisas
Tecnología de Enfriamiento	Sistema de enfriamiento eficiente	Enfriamiento por aire

IV-A2. *Tipos de juntas:* La soldadura es comúnmente reconocida como un proceso para unir metales. Existen varios tipos de juntas, que son las formas y posiciones en las que los metales se encuentran antes de aplicar la soldadura. La Figura 1 muestra algunos ejemplos de estos tipos de juntas.

Diferenciar los tipos de juntas es crucial para realizar una soldadura correctamente. No solo depende del tipo de metales y del proceso de soldadura a utilizar, sino también del tipo de junta que se está soldando. Esto nos permite clasificar los tipos de juntas en las siguientes categorías:

- Junta a tope
- Junta solapada
- Junta de esquina o de ángulo exterior
- Junta en T o de ángulo interior
- Junta a borde
- Soldadura de superficie

- Junta de ranura

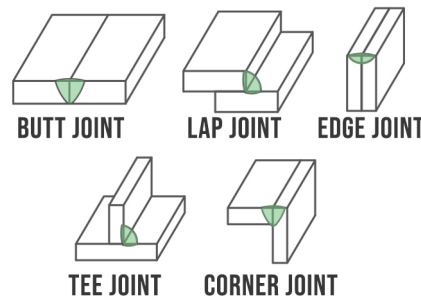


Figura 1. Tipos de juntas de soldadura

Junta a Tope: La junta a tope es una de las configuraciones más utilizadas en la industria. Consiste en colocar dos placas metálicas de manera que sus bordes se alineen en el mismo plano. Para realizar la soldadura, es necesario preparar adecuadamente los bordes de las placas. Este tipo de junta permite obtener una penetración completa en la soldadura, garantizando una unión firme y uniforme entre ambas piezas [17].

Junta solapada: En la junta solapada, dos placas metálicas se superponen, una sobre la otra. Este tipo de junta se emplea en situaciones que requieren la reparación o el refuerzo de superficies metálicas, como en la fabricación de carrocerías de vehículos. La superposición permite una mayor área de contacto y una mejor distribución de la soldadura [18].

Junta de esquina: Las juntas de esquina se crean uniendo dos placas metálicas que se encuentran en diferentes ángulos, formando una esquina. El proceso de soldadura en estas juntas requiere el uso de material de aporte para llenar el espacio entre las placas. Dependiendo de la necesidad, estas juntas pueden ser soldadas en uno o ambos lados, proporcionando mayor resistencia estructural [19].

Junta en T: La junta en T se caracteriza por unir dos placas metálicas en forma de "T", donde una placa se coloca perpendicularmente sobre otra. Este tipo de junta es frecuentemente utilizado en aplicaciones donde se requiere una conexión fuerte y estable. El material de aporte se usa para soldar las placas, y la soldadura puede realizarse en uno o ambos lados, dependiendo de los requisitos de la estructura [20].

Junta a borde: La junta a borde une dos placas metálicas que se encuentran lado a lado, compartiendo un borde común. Es ideal para situaciones donde se requiere una unión continua a lo largo del borde de las placas. La soldadura se realiza aplicando material de aporte a lo largo del borde compartido, y puede hacerse en uno o ambos lados para aumentar la estabilidad y resistencia de la unión [21].

Junta de superficie: En la junta de superficie, una placa metálica se superpone sobre otra, creando una conexión a lo largo de la superficie de contacto. Este tipo de junta es útil para reforzar superficies o ensamblar piezas de manera resistente y duradera. La soldadura se realiza aplicando material de aporte en el área de contacto entre las dos placas, lo que aumenta la solidez del ensamblaje [22].

Junta de ranura: La junta de ranura se emplea para conectar dos placas metálicas utilizando una ranura o canal creado en una de las placas, donde se inserta la otra. Esta configuración permite una conexión precisa y fuerte. Se utiliza material de aporte para llenar la ranura y asegurar la solidez de la unión. Este tipo de junta es común en estructuras que requieren alta precisión y resistencia, y puede soldarse en uno o ambos lados para mejorar la durabilidad [23].

IV-B. Proceso de soldadura MIG

Desde la década de 1940, cuando se desarrollaron las pistolas de soldadura TIG (Tungsteno Inerte Gas), se ha avanzado en una tecnología que permite adaptar los beneficios de la soldadura TIG a las necesidades de las

industrias, especialmente para soldar espesores superiores a 3 o 5 milímetros. Para lograr esto, se modificó el diseño de la pistola, reemplazando el tungsteno no consumible con un electrodo en forma de alambre, el cual se conecta a una fuente de alimentación. Al entrar en contacto, se genera un arco eléctrico que calienta ambos metales hasta que se funden, y un alimentador de electrodo en alambre proporciona un suministro continuo al proceso de fusión, formando el cordón de soldadura [24].

En la actualidad, los procesos de soldadura MIG y MAG se han convertido en los métodos de unión más comunes en la industria. Sin embargo, siguen utilizándose junto con procesos manuales como el TIG y el SMAW, ya que cada uno presenta ventajas específicas y se aplica en diferentes contextos [25]. Según Alonso Marcos [26], los procesos GMAW presentan las siguientes características:

- Permiten realizar cordones de soldadura limpios y sin escoria más rápidamente que otros métodos.
- Los cordones pueden ser casi ilimitados en longitud, lo que reduce la necesidad de empalmes.
- Son más fáciles de utilizar con chapas finas debido al control que se tiene sobre la cantidad de calor aplicado.
- Son aplicables a una variedad de aceros y metales, como aluminio, níquel y cobre.
- Los equipos necesarios suelen ser más costosos en comparación con otros métodos.
- Las soldaduras MIG y MAG pueden verse limitadas en trabajos al aire libre debido a que las corrientes de aire pueden desplazar los gases protectores durante la soldadura.
- Aunque los parámetros de configuración son más complejos que en otros procesos, existen equipos que facilitan esta tarea.

IV-C. Proceso de soldadura TIG

El proceso de soldadura TIG, o soldadura por gas inerte de tungsteno, se caracteriza por su precisión y control, lo que lo convierte en una técnica preferida para unir metales delgados y materiales sensibles al calor. Durante la soldadura, el operario utiliza un electrodo de tungsteno que no se consume, generando un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo. Este arco funde el metal base y, en muchos casos, se añade un material de aporte en forma de varilla, que se introduce manualmente en la charola de soldadura. La atmósfera inerte, creada por un gas como el argón, protege el charco de soldadura de la contaminación atmosférica, lo que resulta en uniones de alta calidad y resistencia. La soldadura TIG es especialmente valorada en aplicaciones donde se requiere un acabado estético y una integridad estructural superior, como en la industria aeroespacial y en la fabricación de componentes de alta precisión [27].

IV-D. Proceso de soldadura SMAW

El proceso de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding) es un método ampliamente utilizado en la industria para unir metales. Entre las características de la soldadura SMAW se tiene el principio de funcionamiento; donde la soldadura SMAW utiliza un electrodo revestido que se funde durante el proceso de soldadura. Al aplicar corriente eléctrica, se genera un arco entre el electrodo y la pieza de trabajo, produciendo calor suficiente para fundir ambos materiales y formar una unión. Este proceso se detalla en estudios que analizan la soldadura SMAW y su aplicación en diversas industrias, incluyendo la naval [28]. Dentro de las características también se encuentra que los electrodos utilizados en SMAW están revestidos con materiales que ayudan a estabilizar el arco y proteger el charco de soldadura de contaminantes. Investigaciones han demostrado que la selección de electrodos, como el E312-16, es crucial para asegurar la calidad de la soldadura en aplicaciones específicas, como en la construcción naval [29]. La soldadura SMAW se utiliza frecuentemente en la fabricación de estructuras metálicas, como columnas y vigas, donde se requiere alta resistencia y durabilidad. Estudios han mostrado su eficacia en la construcción de columnas armadas, [30] y en proyectos como el desarrollo de tanques de almacenamiento, se requiere la calificación de procedimientos de soldadura para cumplir con normas específicas, como las de la API y ASME, asegurando la calidad y seguridad de las uniones soldadas [31].

IV-E. Normativas del proceso de soldadura

IV-E1. Código de Soldadura ASME: El Código de Soldadura ASME (American Society of Mechanical Engineers) es un conjunto de normas y regulaciones que rigen la fabricación y el diseño de componentes de presión, asegurando su seguridad y calidad. Entre sus aspectos están: Sección IX, normativas de diseño, cumplimiento de

normas internacionales, calificación de procedimientos y sus aplicaciones prácticas. En la Sección IX se centra en la calificación de procedimientos de soldadura (WPS) y la calificación de soldadores (PQR). Establece los requisitos que deben cumplirse para garantizar que los procedimientos de soldadura y los soldadores sean competentes y capaces de producir soldaduras de calidad adecuada [32]. El código ASME incluye criterios de diseño que deben seguirse en la elaboración de procedimientos de soldadura, especialmente en aplicaciones críticas como la construcción de tanques de almacenamiento y estructuras de presión. Esto asegura que las uniones soldadas cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento [31]. Además del ASME, se deben considerar otras normativas internacionales, como las de la AWS (American Welding Society), que complementan y refuerzan los requisitos de soldadura en diversas aplicaciones industriales. Por ejemplo, se menciona la norma AWS D1.1, que se aplica a la soldadura estructural en acero [30]. Naturalmente la calificación de los procedimientos de soldadura es fundamental para garantizar que las soldaduras realizadas cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad. Esto se logra mediante ensayos destructivos y no destructivos, que verifican la calidad de las uniones soldadas. Estos ensayos son parte integral de la calificación conforme al Código ASME. En consecuencia, código ASME es esencial para garantizar la seguridad y calidad en la fabricación de componentes de presión y estructuras soldadas, estableciendo normas claras para la calificación de procedimientos y soldadores, así como para el cumplimiento de estándares internacionales [33].

IV-E2. Código de soldadura API: Uno de los principales sectores donde se aplican los códigos API en soldadura es la industria petrolera, particularmente en la construcción de oleoductos. Además, estos códigos se utilizan en la fabricación de tanques a presión, tanques atmosféricos y accesorios. Los códigos API definen criterios de calidad mínimos que deben cumplirse en todas las soldaduras. Para cumplir con los estándares API, la calidad de la soldadura debe satisfacer o superar estos requisitos [34].

IV-E3. Código de soldadura AWS: El código AWS se utiliza principalmente en la fabricación de estructuras soldadas de acero al carbono y de baja aleación para la construcción. Este código, que regula la soldadura de acero estructural, tuvo su última edición en 2015. Se aplica en la construcción de puentes y edificios, entre otras estructuras, y cuenta con diferentes normas para diversos tipos de estructuras, incluyendo acero soldado, aluminio, acero de refuerzo y puentes [35].

IV-F. ISO 45001 de salud industrial y seguridad

La norma ISO 45001 es un conjunto de reglas globalmente reconocido que guía la forma en que las organizaciones deben abordar la seguridad y la salud en el lugar de trabajo, asegurando así un ambiente laboral seguro y saludable para todos los empleados.. Esta norma se ha diseñado para ayudar a los sistemas a mejorar su rendimiento en cuestión de salud ocupacional y seguridad. Cuando se aplica a prácticas de soldadura, la ISO 45001 juega un papel fundamental en la pa cada uno de los trabajadores involucrados en estas actividades [36].

Uno de los aspectos clave de la ISO 45001 en relación con la soldadura es la identificación y evaluación de riesgos. La norma exige que las organizaciones realicen una evaluación exhaustiva de los riesgos que tienen que ver con las actividades de soldadura, incluyendo los riesgos de lesiones por quemaduras, exposición a humos y gases tóxicos, así como riesgos asociados a la manipulación de equipos y materiales. Esta evaluación de riesgos otorga una sólida base para la ejecución de medidas de control y procedimientos de seguridad que ayuden a minimizar o eliminar los riesgos presentes [37].

Además, la ISO 45001 enfatiza la importancia de la formación y la capacitación en seguridad y salud ocupacional para los trabajadores que realizan actividades de soldadura. Las organizaciones deben proporcionar a su personal la formación adecuada en el uso seguro de equipos de soldadura, técnicas de soldadura seguras y prácticas de trabajo seguras en entornos de soldadura. Se incluye una adecuada capacitación para el uso adecuado de equipos de protección personal(EPP), como cascos de soldadura, guantes de cuero y respiradores, así como la capacitación en la identificación y respuesta a emergencias relacionadas con la soldadura, como incendios y fugas de gas [38].

IV-G. Realidad Virtual

La realidad virtual (RV) como herramienta tecnológica y destacada en los últimos años, permite a los usuarios sumergirse en entornos virtuales tridimensionales y experimentar sensaciones de presencia e interacción. Funciona

a través de dispositivos que siguen los movimientos del usuario y generan estímulos visuales y auditivos que crean la sensación de estar dentro en un mundo virtual [39].

Existen diferentes tipos de dispositivos de realidad virtual (RV), desde los más simples como los visores de RV para smartphones hasta los más avanzados como los sistemas de RV de gama alta con seguimiento de movimiento completo y controles táctiles. Estos dispositivos pueden clasificarse en dos categorías principales: los visores de RV de pantalla montada, que utilizan pantallas integradas para mostrar imágenes estereoscópicas, y los visores de RV de pantalla externa, que se conectan a una computadora o consola de videojuegos para mostrar imágenes generadas por ordenador [40].

Tabla IV
COMPARACIÓN ENTRE PANTALLA MONTADA Y PANTALLA EXTERNA.

Pantalla Montada	Pantalla Externa
	

El uso de la realidad virtual en la formación y la educación es cada vez más frecuente y se ha demostrado que ofrece numerosos beneficios. Con la RV, los estudiantes pueden sumergirse en entornos y situaciones que de otra manera serían difíciles de acceder o riesgosos, como explorar el cuerpo humano en medicina o practicar habilidades técnicas en la industria. Además, la RV puede aumentar la motivación y la dedicación de los estudiantes al brindarles experiencias de aprendizaje envolventes y adaptadas a sus necesidades. En resumen, la realidad virtual tiene la capacidad de transformar la educación y la formación al ofrecer nuevas formas de aprendizaje que son más atractivas, efectivas y accesibles [41].

IV-G1. Visor Meta Quest 2: : El Meta Quest 2 es un dispositivo de realidad virtual autónomo desarrollado por Meta Platforms que ofrece una experiencia inmersiva y portátil. Con su sistema de seguimiento avanzado y su compatibilidad con Unity, el Meta Quest 2 es ideal para la creación de simulaciones personalizadas y detalladas que replican escenarios de soldadura en un entorno seguro y controlado. Esto permite a los estudiantes practicar habilidades prácticas como el manejo de herramientas de soldadura de manera intuitiva y natural [42]. Estudios recientes han demostrado que la realidad virtual puede ser más efectiva que los métodos de enseñanza tradicionales en la mejora de la retención de conocimientos y habilidades, se encontró que la capacitación en un entorno virtual resultó en una mayor confianza y competencia en habilidades prácticas en comparación con los métodos de enseñanza convencionales [43]. La compatibilidad del Meta Quest 2 con Unity, un motor de juegos y herramienta de desarrollo multiplataforma, permite a los desarrolladores crear simulaciones personalizadas y detalladas para la capacitación en diversas áreas, incluyendo la atención médica. Un artículo reciente sobre SEPSIS COLLAB [44] , una simulación de realidad virtual para el entrenamiento en el tratamiento de sepsis, destaca las ventajas de este enfoque en términos de seguridad, flexibilidad y eficiencia en comparación con la capacitación tradicional. Este tipo de entrenamiento inmersivo no solo mejora la comprensión clínica, sino que también fomenta la colaboración entre diferentes disciplinas, lo que resulta en una atención al paciente más efectiva.



Figura 2. Meta Quest 2.

IV-H. Unity como plataforma para realidad virtual en procesos de soldadura

Unity es una potente plataforma de desarrollo de software que ha revolucionado la industria del entretenimiento digital y la creación de experiencias interactivas. Desde su lanzamiento en 2005 por Unity Technologies, esta plataforma ha ganado una prominente posición como una de las herramientas más versátiles y accesibles para desarrolladores de videojuegos, aplicaciones móviles, realidad virtual, realidad aumentada y más [45].

Su versatilidad y accesibilidad han democratizado el proceso de creación digital, permitiendo a desarrolladores de todos los niveles de habilidad dar vida a sus ideas de manera precisa y efectiva. Con una extensa gama de características integradas y un sólido soporte comunitario, Unity ofrece un entorno de desarrollo completo que facilita la construcción de experiencias inmersivas y envolventes para una audiencia global [46].

Unity cuenta con una interfaz intuitiva y sus funciones de arrastrar y soltar, facilitan la creación y manipulación de objetos y escenarios en entornos virtuales. Además, cuenta con una amplia gama de assets y plugins disponibles en la Asset Store de Unity que brinda a los desarrolladores acceso a recursos adicionales para mejorar y ampliar las funcionalidades de sus aplicaciones [47].

Unity es compatible con diferentes entornos de realidad virtual como PlayStation VR, HTC Vive, Oculus Rift, y dispositivos móviles con soporte para realidad virtual. Además Unity es multiplataforma, es decir que se puede ejecutar en una variedad de dispositivos [48]. Con su amplia gama de herramientas y recursos, Unity se ha convertido en una elección popular para desarrolladores que desean crear entornos de entrenamiento en RV para una variedad de industrias, incluida la soldadura [47].

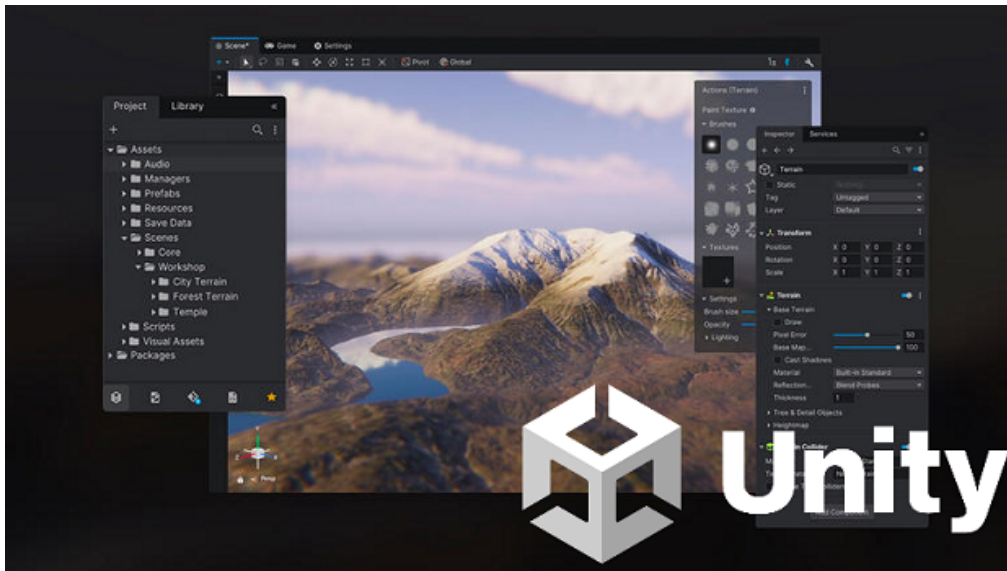


Figura 3. Unity.

Los beneficios de utilizar Unity para la práctica de soldadura en realidad virtual, pasan por el hecho de que brinda un mayor realismo. Unity permite crear entornos virtuales que simulan de manera realista los procesos de soldadura, incluidos los sonidos, las chispas y la apariencia visual de las soldaduras. Unity mediante la realidad virtual ofrece un ambiente protegido para que los estudiantes practiquen sin riesgo de daños personales o materiales. Esto es especialmente importante en la soldadura, donde el riesgo de lesiones es considerable. Ofrece una retroalimentación inmediata. Facilita la integración de sistemas de retroalimentación en tiempo real que pueden proporcionar comentarios precisos sobre la técnica de soldadura, lo que permite a los estudiantes corregir errores y mejorar su habilidad de manera eficiente. Es personalizado. Los entornos virtuales en Unity pueden adaptarse para adaptarse a diferentes niveles de habilidad y requisitos de aprendizaje. Los estudiantes pueden avanzar desde actividades simples hasta desafíos más complejos a su propio ritmo. Esto se hace accesible desde una variedad de dispositivos, como auriculares de realidad virtual, computadoras de escritorio y dispositivos móviles, permitiendo acceder a la formación en soldadura en cualquier lugar y momento que les resulte conveniente [49].

IV-I. ISO 45001 Medición del desempeño

La medición del desempeño para evaluar las habilidades en soldadura se puede realizar mediante diferentes cuestionarios, uno de ellos es el Metal Arc Welding Skill Test (MAWST) el cual es una prueba diseñada para evaluar las habilidades de soldadura de los individuos que utilizan procesos de soldadura con arco eléctrico, como la soldadura con electrodo revestido (SMAW) o la soldadura con gas de metal (GMAW). Esta prueba es utilizada comúnmente en entornos industriales y educativos para medir la destreza y competencia de los soldadores en diversas tareas de soldadura [50].

El MAWST generalmente consta de una serie de pruebas prácticas que evalúan diferentes aspectos de la habilidad del soldador, como la capacidad para iniciar y mantener un arco estable, el control del cordón de soldadura, la uniformidad del depósito de soldadura, la alineación de las juntas, la técnica de posicionamiento, entre otros. Cada prueba puede incluir la soldadura de diferentes tipos de juntas y posiciones, como juntas a tope, juntas en ángulo, juntas de solape, en posiciones planas, verticales, horizontales o sobrecabeza, dependiendo de los requisitos específicos del trabajo o del programa de formación [51].

El MAWST es una herramienta importante para medir la competencia de los soldadores y puede ser utilizado tanto antes como después de la capacitación en un entorno de realidad virtual para medir la mejora en las habilidades de soldadura. Al observar y comparar los resultados antes y después de la capacitación, podemos entender mejor cómo el entrenamiento en entornos de realidad virtual afecta realmente el desarrollo de las habilidades de soldadura de los estudiantes [52].

V. MARCO METODOLÓGICO

V-A. Diseño y elección de componentes

En este capítulo se analizan cada una de las necesidades del usuario, se detalla el diseño concurrente de los sistemas mecánicos y electrónicos del simulador, la selección de los componentes que integran el sistema, y se analiza su funcionamiento ante diversos factores.



Figura 4. Requerimientos para la formación en soldadura a través de un sistema de simulación utilizando Oculus Quest 2.

Tabla V

CUADRO DE NECESIDADES Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN EN EL DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE SOLDADURA UTILIZANDO UNITY.

Necesidad	Descripción	Alternativa de Solución
Interfaz de usuario intuitiva	La interfaz debe ser accesible y fácil de usar para los usuarios.	Implementar un diseño de interfaz gráfica en Unity que sea sencillo e intuitivo, utilizando menús claros y controles de fácil acceso.
Física realista	La simulación debe replicar con precisión el comportamiento de los materiales y el proceso de soldadura.	Utilizar los motores de física de Unity para desarrollar un modelo de simulación que refleje el comportamiento real de la soldadura, incluyendo la fusión y solidificación del material.
Gráficos inmersivos	El entorno virtual debe ser visualmente realista y atractivo.	Crear entornos y efectos visuales de alta calidad en Unity, utilizando texturas y shaders avanzados para mejorar la inmersión del usuario.
Compatibilidad con Oculus Quest 2	El software debe estar optimizado para funcionar sin problemas en Oculus Quest 2.	Desarrollar y probar el software en Unity con un enfoque en la optimización del rendimiento para Oculus Quest 2, asegurando una experiencia fluida y sin latencia.
Facilidad de desarrollo y mantenimiento	El software debe ser fácil de actualizar y mantener.	Utilizar un enfoque modular en el desarrollo en Unity, lo que facilita la implementación de mejoras y la corrección de errores sin afectar otras partes del sistema.
Flexibilidad y escalabilidad	El software debe permitir futuras expansiones o mejoras.	Diseñar el software en Unity de manera que sea adaptable, permitiendo la integración de nuevas funcionalidades y escenarios de simulación sin necesidad de rehacer el sistema desde cero.

Para definir el concepto que debe guiar el diseño del software de simulación de soldadura utilizando Unity, se procede a realizar una evaluación de los diferentes criterios de necesidades [53], de acuerdo con la ponderación especificada en la Tabla VI. La tabla presenta la comparación entre los criterios principales considerados, con la “Facilidad de Uso” como el criterio que recibe la mayor ponderación en el desarrollo del software.

Tabla VI

CUADRO DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE SOLDADURA UTILIZANDO UNITY.

Criterio	Facilidad de Uso	Robustez	Ergonomía	F.C	P.S.R	S y H	Pondera
Facilidad de Uso	0.5	0.5	1	0	1	3	0.27
Robustez	0.5	0.5	0	0	0.5	1.5	0.14
Ergonomía	1	0	1	0.09	0	0	0.09
Facilidad de Construcción y Mantenimiento	1	1	0.5	0	0	0	0.23
Gran Parecido al Sistema Real	0.5	0	0.5	0	0	1	0.09
Software y Hardware Adaptable	0.5	0.5	0	1	0	2	0.18
	3.5	2.5	3	1.09	1.5	7.5	1.00

- F.C: Facilidad de uso
- P.S.R: Gran parecido al sistema real
- S y H: Software y Hardware Adaptable

V-B. Selección de componentes para el simulador de soldadura

A continuación, se detalla la selección de componentes para la creación del simulador de soldadura en realidad virtual utilizando Unity y visores Oculus Quest 2. Este cuadro incluye los elementos esenciales y su aplicación en el simulador, junto con la ponderación específica para cada componente.

Tabla VII

SELECCIÓN DE COMPONENTES Y SU PONDERACIÓN PARA EL SIMULADOR DE SOLDADURA EN REALIDAD VIRTUAL CON OCULUS QUEST 2.

Elemento	Casco	MILLERMATIC 252	CST 280	Pistola MIG	P.e	Overall S	Pondera
Casco de Soldadura	1	0	0	0	0	0	0.20
Fuente de poder CST 280 para soldadura	0	1	0	0	0	0	0.15
MILLERMATIC 252	0	0	1	0	0	0	0.15
Pistola para MIG	0	0	1	1	0	0	0.20
Portaelectrodo	0	0	0	0	1	0	0.10
Overall de Seguridad	0	0	0	0	0	1	0.10
Mascarilla	0	0	0	0	0	1	0.10
Guantes de Seguridad	0	0	0	0	0	1	0.10
Botas de Seguridad	0	0	0	0	0	1	0.10
Gas Industrial	0	0	0	0	0	0	0.05
	1	1	2	1	1	1	1.00

- P.e: Portaelectrodo
- Overall S: Overall de seguridad

Aplicaciones

- **Casco de Soldadura:** Protección de la cabeza y visualización.
- **Fuente de poder CST 280 para soldadura:** Simulación del proceso SMAW.
- **MILLERMATIC 252:** Simulación del proceso MIG.
- **Pistola para MIG:** Simulación del proceso de soldadura MIG.
- **Portaelectrodo:** Simulación del proceso SMAW.
- **Overall de Seguridad:** Protección general del usuario.
- **Mascarilla:** Protección facial y respiratoria.
- **Guantes de Seguridad:** Protección de las manos.
- **Botas de Seguridad:** Protección de los pies.
- **Gas Industrial:** Simulación del gas protector en soldadura.

Casco de Soldadura

Para el diseño del casco de soldadura, se seleccionó un modelo que cumple con las especificaciones de seguridad y ergonomía requeridas para un entorno de simulación realista. Este modelo fue elegido por su similitud con los cascos utilizados en la industria, asegurando que el simulador refleje con precisión las condiciones de un entorno de soldadura auténtico.

La figura a continuación muestra dos vistas del casco de soldadura: una vista del modelo real y otra del diseño dibujado para la simulación. Esta comparación visual permite validar que el diseño virtual se alinee correctamente con el equipo real, garantizando una experiencia de usuario precisa y realista.

Tabla VIII
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DEL CASCO DE SOLDADURA Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo real de careta para soldadura	Modelo CAD de soldadura
	

Overall de Seguridad

El diseño del overall de seguridad en el simulador se basa en modelos de alta calidad, típicamente utilizados en entornos industriales de soldadura. Este tipo de vestimenta es crucial para proteger al soldador de las altas temperaturas, chispas y radiación ultravioleta generadas durante el proceso de soldadura. El overall seleccionado en el simulador se caracteriza por su resistencia, durabilidad y diseño ergonómico, que permite una movilidad adecuada sin comprometer la seguridad del usuario.

A continuación, se presenta una comparación visual entre un modelo real de overall de seguridad y su representación gráfica en el entorno virtual. Esta comparación es esencial para verificar que el diseño del simulador sea lo más fiel posible al equipo real, asegurando que los usuarios del simulador tengan una experiencia realista y educativa en cuanto a la importancia del uso de equipo de protección personal.

Tabla IX
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DEL OVERALL DE SEGURIDAD Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo de Overall Vista	Overall Dibujado
	

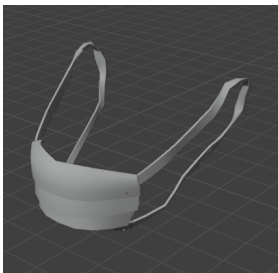
Mascarilla de Seguridad

En el simulador de soldadura, la mascarilla de seguridad juega un papel esencial para proteger al usuario de los humos, gases y partículas peligrosas que se generan durante el proceso de soldadura. El modelo seleccionado

para el diseño del entorno virtual es una mascarilla de alta calidad que cumple con las normativas de seguridad industrial, asegurando la protección respiratoria adecuada. Además, el diseño de la mascarilla ha sido adaptado para proporcionar comodidad y facilidad de uso, permitiendo una experiencia de usuario que refleje fielmente las condiciones de trabajo en la vida real.

La tabla siguiente muestra una comparación entre el modelo real de la mascarilla de seguridad y su representación en el simulador virtual. Esta comparación asegura que la versión virtual no solo se asemeje visualmente al equipo real, sino que también cumpla con los requisitos de protección necesarios en un entorno de soldadura.

Tabla X
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LA MASCARILLA DE SEGURIDAD Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo de Mascarilla Vista	Mascarilla Dibujada
	

Guantes de Seguridad

En el entorno virtual de simulación de soldadura, los guantes de seguridad son fundamentales para proteger las manos del usuario contra el calor, las chispas y posibles quemaduras que se producen durante el proceso de soldadura. Se ha seleccionado un modelo de guantes que cumple con las normativas de seguridad industrial, ofreciendo resistencia al calor y al desgaste, al tiempo que proporciona la destreza necesaria para manipular herramientas y materiales de manera efectiva.

La siguiente tabla presenta una comparación entre el modelo real de los guantes de seguridad y su representación en el entorno virtual. Esta comparación es crucial para garantizar que el simulador no solo refleje visualmente los guantes, sino que también imite su funcionalidad y características protectoras en el uso práctico.

Tabla XI
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LOS GUANTES DE SEGURIDAD Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo de Guantes Vista	Guantes Dibujados
	

Antorcha para MIG

Para el diseño de la antorcha MIG, se seleccionó el modelo XR-Aluma-Pro™ Lite 300948 2 por su construcción robusta y alta semejanza con el equipo real. Esta elección garantiza que el simulador reproduzca de manera precisa un sistema de soldadura auténtico, cumpliendo con el requisito de fidelidad.

La figura a continuación muestra dos vistas de la antorcha: una vista del modelo real y otra del diseño dibujado para la simulación. Esta comparación visual permite verificar que el diseño virtual se alinee correctamente con el equipo real, garantizando una experiencia de usuario precisa y realista.

Tabla XII
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LA ANTORCHA XR-ALUMA-PRO™ LITE 300948 Y EL MODELO CAD PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Pistola XR-Aluma-Pro™ Lite 300948	Modelo CAD de pistola XR-Aluma-Pro™ Lite 300948
	

Portaelectrodo PE 300-Infra Miller

Para el diseño del portaelectrodo, se seleccionó el modelo PE 300-Infra Miller. Este modelo fue elegido por su diseño eficiente y su alta similitud con el equipo real, lo que asegura que el simulador refleje con precisión las características de un sistema de soldadura auténtico.

La figura a continuación muestra dos vistas del portaelectrodo: una vista del modelo real y otra del diseño dibujado para la simulación. Esta comparación visual permite validar que el diseño virtual se alinee correctamente con el equipo real, garantizando una experiencia de usuario precisa y fiel a la realidad.

Tabla XIII
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DEL PORTAELECTRODO PE 300-INFRA MILLER Y EL MODELO CAD PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Portaelectrodo PE 300-Infra Miller	Modelo CAD de portaelectrodo
	

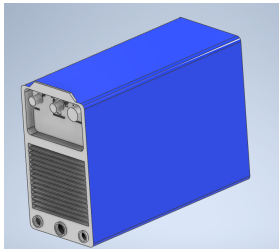
Fuente de Poder CST 280 para Soldadura

Para el diseño de la fuente de poder en el simulador de soldadura, se seleccionó el modelo CST 280, ampliamente utilizado en la industria por su versatilidad y eficiencia energética. Este modelo es ideal para aplicaciones que requieren una fuente de poder compacta pero potente, lo que lo convierte en una opción adecuada para entornos de formación y simulación.

A continuación, se presenta una comparación visual entre el modelo real de la fuente de poder CST 280 y su diseño dibujado para la simulación. Esta comparación garantiza que el modelo virtual esté alineado con las especificaciones y el aspecto del equipo real, asegurando una experiencia de simulación que replica con precisión el entorno de soldadura industrial.

Tabla XIV

COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LA FUENTE DE PODER CST 280 Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo de Fuente de Poder CST 280 Vista	Fuente de Poder CST 280 Dibujada
	

Soldadora MIG MILLERMATIC 252 Miller

Para el diseño de la soldadora en el simulador de soldadura, se seleccionó el modelo MILLERMATIC 252 de Miller, conocido por su fiabilidad y rendimiento en aplicaciones de soldadura MIG. Este equipo es ampliamente utilizado en la industria debido a su capacidad de manejar una amplia gama de espesores de materiales y su facilidad de uso, lo que lo convierte en una opción ideal para replicar en un entorno de simulación.

A continuación, se muestra una comparación visual entre el modelo real de la soldadora MILLERMATIC 252 y su diseño dibujado para el simulador. Esta comparación asegura que el diseño virtual capture fielmente las características y dimensiones del equipo real, proporcionando una experiencia de usuario coherente y realista en el entorno de realidad virtual.

Tabla XV

COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LA SOLDADORA MIG MILLERMATIC 252 Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.

Modelo de Soldadora MIG MILLERMATIC 252 Vista	Soldadora MIG MILLERMATIC 252 Dibujada
	

Botas de Seguridad

En el entorno virtual de simulación de soldadura, las botas de seguridad juegan un papel crucial en la protección del usuario contra posibles riesgos en el lugar de trabajo, como caídas de objetos pesados o exposición a materiales peligrosos. Para la simulación, se han seleccionado botas que cumplen con los estándares de seguridad industrial, ofreciendo resistencia al calor, al corte y a productos químicos, sin afectar la comodidad del usuario.

La siguiente tabla compara el modelo real de las botas de seguridad con su representación en el entorno virtual. Esta comparación es importante para garantizar que el simulador refleje con precisión las características protectoras y ergonómicas de las botas, contribuyendo a una experiencia de usuario segura y realista.

Tabla XVI
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO REAL DE LAS BOTAS DE SEGURIDAD Y EL DISEÑO DIBUJADO PARA EL ENTORNO VIRTUAL.



V-C. Diseño CAD de entorno virtual

Como primer paso, se creó una nueva carpeta y escena en el entorno de trabajo, organizando los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto. A continuación, se procedió a verificar la instalación del XR Plug-in, un componente esencial para la implementación de experiencias de realidad extendida. Durante la verificación, se confirmó que el plug-in estaba correctamente instalado y configurado con los parámetros adecuados, asegurando su funcionamiento óptimo. Este paso fue crucial para preparar las herramientas necesarias y evitar futuros problemas durante la fase de desarrollo, permitiendo un flujo de trabajo eficiente y sin interrupciones. Con estas configuraciones revisadas y confirmadas, se avanzó con seguridad en el proyecto, garantizando que las bases técnicas estuvieran sólidamente establecidas.

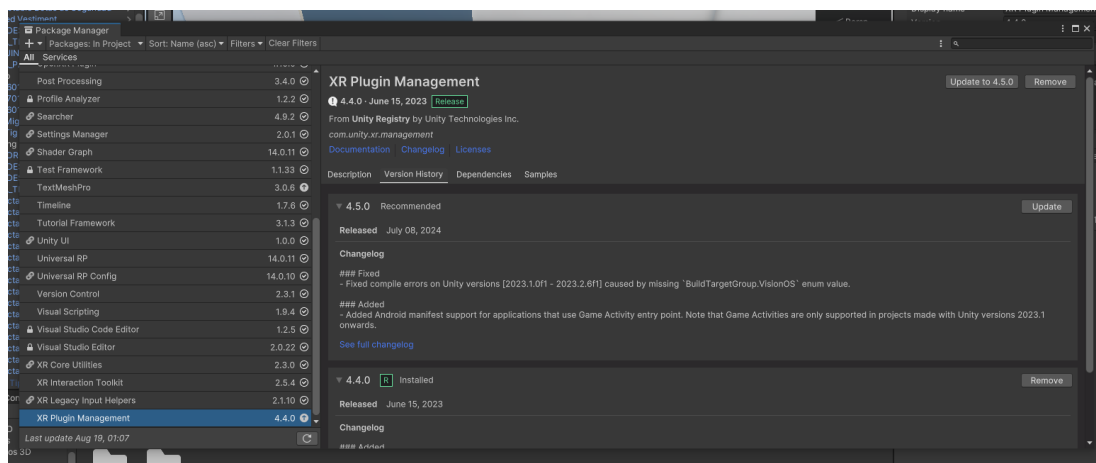


Figura 5. Verificación de la instalación del XR Plug-in.

Posteriormente, se procedió a la instalación del XR Interaction Toolkit, una herramienta fundamental que permite la integración y gestión de interacciones en entornos de realidad virtual (VR). Esta fase del proceso fue clave para avanzar en el desarrollo del proyecto, ya que el toolkit facilita la incorporación de personajes VR ya programados, que son esenciales para crear una experiencia inmersiva y fluida en el entorno virtual. La instalación del XR Interaction Toolkit no solo proporcionó las funcionalidades necesarias para la manipulación de objetos y la navegación dentro del espacio virtual, sino que también permitió la implementación de interacciones más complejas y realistas, esenciales para cumplir con los objetivos del proyecto. El personaje VR, previamente programado, fue integrado exitosamente gracias a esta herramienta, lo que significó un avance significativo en la creación del entorno interactivo.

Durante este proceso, se verificó que todas las configuraciones del toolkit se ajustaran a las necesidades específicas del proyecto, asegurando que el personaje VR respondiera de manera precisa a las interacciones del usuario. Se realizaron pruebas exhaustivas para confirmar que las funcionalidades del toolkit se implementaron correctamente, garantizando una experiencia de usuario óptima y sin interrupciones. Esta instalación y configuración no solo enriquecieron el entorno virtual, sino que también optimizaron la capacidad de interacción dentro de la escena, creando una base sólida para las siguientes fases del desarrollo. Con el XR Interaction Toolkit plenamente operativo, se establecieron los cimientos para un entorno de realidad virtual robusto, interactivo y alineado con los objetivos planteados.

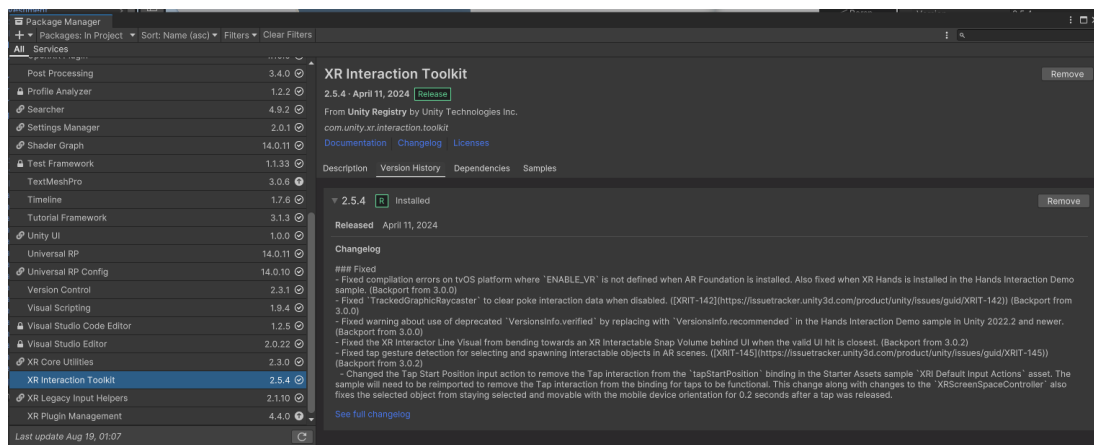


Figura 6. Verificación de todas las configuraciones del toolkit

Una vez que el XR Interaction Toolkit se encuentra completamente integrado y operativo, se avanzó a la siguiente fase crucial del proyecto: la importación de los modelados CAD realizados en Autodesk Inventor. Estos modelos, representan componentes clave del entorno virtual que se estaba construyendo. Para asegurar la compatibilidad con el entorno VR y facilitar su integración en la escena, se decidió exportar estos modelados en formato OBJ, utilizado ya que preserva con precisión las geometrías, texturas y detalles de los diseños originales. Durante este proceso, se verificó que cada modelo mantuviera sus propiedades geométricas y texturales, y que se alineara correctamente dentro de la escena previamente configurada. La transición desde Inventor hasta el motor de realidad virtual se realizó de manera fluida, asegurando que no se perdiera calidad ni precisión en los modelos durante la conversión de formatos.

Además, se realizó ajustes específicos para adaptar los modelos a las condiciones del entorno virtual, optimizando su rendimiento y asegurando una integración perfecta con el personaje VR y las interacciones configuradas previamente.

agarrar, mover o manipular objetos dentro de la escena. Y se seleccionó Velocity Tracking para que el objeto tenga colisiones durante el agarre. Por defecto, este tipo de agarre tiene un script llamado “XRGrabInteractable” que se utilizó como base.

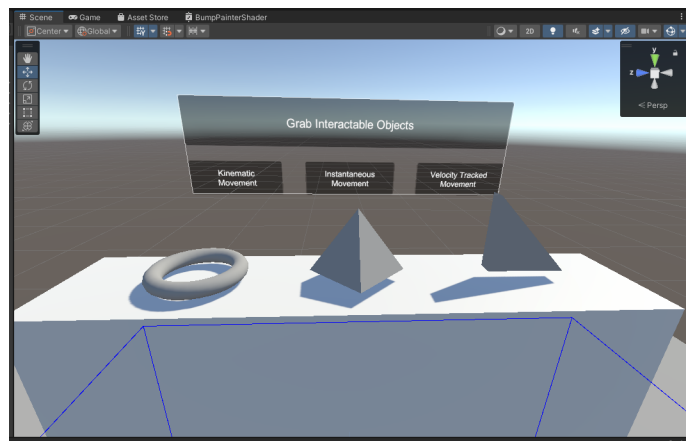


Figura 9. Integrar interacciones en realidad extendida al reutilizar configuraciones predefinidas

En el transcurso del desarrollo del entorno de realidad virtual, se identificó la necesidad de personalizar aún más la interacción con los objetos para satisfacer los requerimientos específicos del proyecto. Aunque la herramienta XR Interaction Toolkit ofrece scripts predefinidos, como el “XRGrabInteractable”, que permiten implementar de manera rápida y eficiente funcionalidades básicas de agarre y manipulación de objetos, surgió la necesidad de ir más allá de las capacidades estándar ofrecidas por este script.

Para abordar esta necesidad, se tomó la decisión de crear un script personalizado que partiera de la funcionalidad básica proporcionada por “XRGrabInteractable”, pero con extensiones y ajustes específicos que permitirían una mayor flexibilidad y control sobre cómo los objetos pueden ser agarrados y manipulados en el entorno virtual. Al cual se le dio el nombre de “CustomGrabAttach”.

Una vez que la programación deseada ha sido integrada en la escena, el siguiente paso consiste en ajustar los objetos virtuales de acuerdo con los modelos 3D específicos del proyecto. Esto se realiza modificando la malla del objeto dentro de la escena, reemplazando las mallas originales de los objetos interactivos con las mallas personalizadas que representan el modelado 3D importado. Esta modificación permite que los modelos 3D específicos del proyecto sean manipulables y funcionales dentro del entorno virtual, utilizando la misma programación y lógica de interacción establecida por la herramienta XR Interaction Toolkit.

Una vez que las mallas del objeto han sido reemplazadas y ajustadas adecuadamente, la escena está lista para ser utilizada con los nuevos modelos 3D integrados.

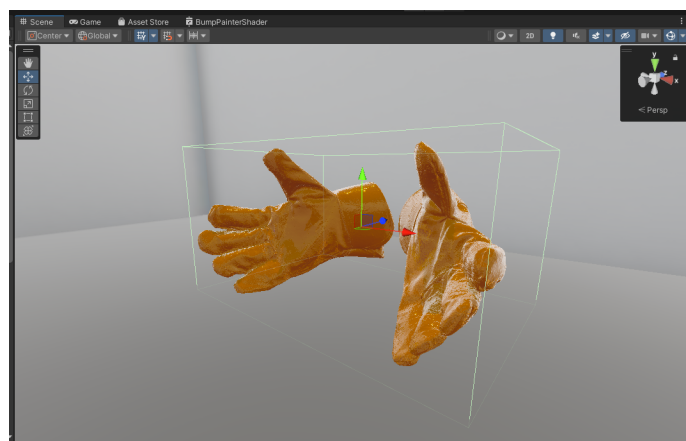


Figura 10. Ajuste los objetos virtuales de acuerdo con los modelos 3D específicos del proyectos

Después de haber colocado todos los objetos y configurado las colisiones en la escena, se procede a integrar el personaje VR, este se llama “XR Interaction Setup”. Para ello, se utiliza el plug-in XR Interaction Toolkit. Este toolkit proporciona una configuración completa del personaje VR, que incluye no solo la representación del avatar en la escena, sino también la implementación de las cámaras VR y los controladores para los mandos de realidad virtual.

Entre las funcionalidades más destacadas se encuentra la capacidad de movimiento en el espacio virtual, que es esencial para una experiencia inmersiva. Además, incorpora sistemas de raycasting, que son fundamentales para detectar y seleccionar objetos en la escena, lo que mejora la interactividad del usuario. Se puede configurar el movimiento del personaje para que sea más fluido y natural, adaptándose a la física del entorno y proporcionando una experiencia más realista. Además, los raycasts permiten al personaje interactuar con objetos, seleccionando, arrastrando o activando elementos en la escena con un alto grado de control. Dentro de la configuración del personaje, en la cámara, se encuentra un objeto crucial llamado “Gaze Interactor”. Este componente desempeña un papel fundamental en la interacción del usuario con el entorno virtual. Se configura una opción conocida como “Raycast Mask”.

Esta configuración es esencial para controlar la forma en que la cámara del personaje interactúa con los elementos de la interfaz de usuario (UI) presentes en la escena. Al ajustar el “Raycast Mask”, se establece un filtro que permite que la cámara ignore ciertos objetos en la escena, como los botones y otros elementos de la interfaz de usuario, evitando así que la cámara los active de manera no intencionada. De este modo, se garantiza que, cuando el usuario mueve la cámara o dirige su mirada hacia diferentes áreas del entorno virtual, la cámara no interfiera con los menús o botones del UI a menos que se desee una interacción directa.

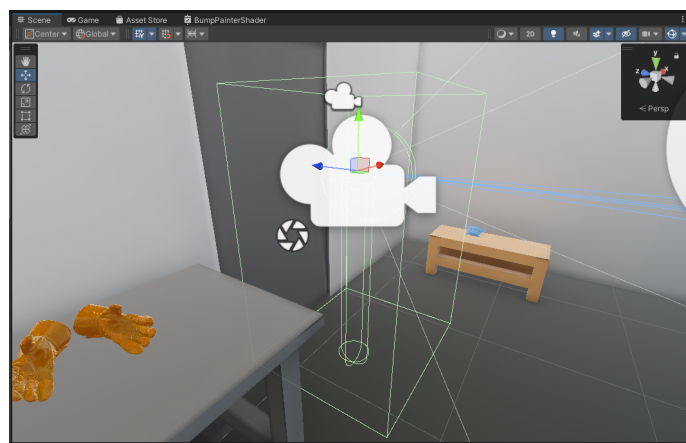


Figura 11. Integración y configuración del “XR Interaction Setup”

Además de las configuraciones previamente mencionadas, se añadieron dos objetos clave al personaje dentro del entorno de realidad virtual, cada uno de los cuales juega un papel fundamental en la detección y gestión del equipamiento que el usuario interactúa. Estos objetos son denominados “DetectObject” y “DetectObjectFace”, y ambos están configurados con triggers que permiten una detección precisa de los elementos con los que el usuario va a interactuar.

El objeto “DetectObject”, está diseñado específicamente para detectar los componentes de la vestimenta que el usuario va a equipar. Este objeto actúa como un sensor que, al encontrarse dentro de un área específica, identifica los ítems de vestimenta disponibles y facilita su correcta aplicación sobre el avatar del usuario. Este proceso es esencial para asegurarse de que las piezas de vestuario, como chaquetas, guantes u otros accesorios, se alineen perfectamente con el avatar, brindando una experiencia visual coherente y realista.

Por otro lado, el objeto “DetectObjectFace” tiene una función similar, pero está orientado a la detección y aplicación de elementos que se colocan en la cabeza del avatar, como cascos o máscaras. Este objeto también está configurado con un trigger, que permite al sistema identificar automáticamente cuando el usuario se acerca a un casco o similar y proceder a equiparlo de manera precisa sobre la cabeza del avatar. Esta funcionalidad es crucial para asegurar que el casco se alinee correctamente con la cabeza del personaje, evitando errores visuales o problemas de colocación que podrían afectar la inmersión del usuario.

Estos dos objetos, “DetectObject” y “DetectObjectFace”, trabajan en conjunto para mejorar la experiencia de personalización y equipamiento dentro del entorno de realidad virtual. Al automatizar la detección y aplicación de estos elementos, se garantiza que el usuario pueda interactuar de manera fluida con el entorno, personalizando su avatar sin interrupciones ni complicaciones. Además, estos triggers aseguran que los objetos de vestimenta y casco se posicionen de manera adecuada y coherente, manteniendo la estética y funcionalidad del avatar.

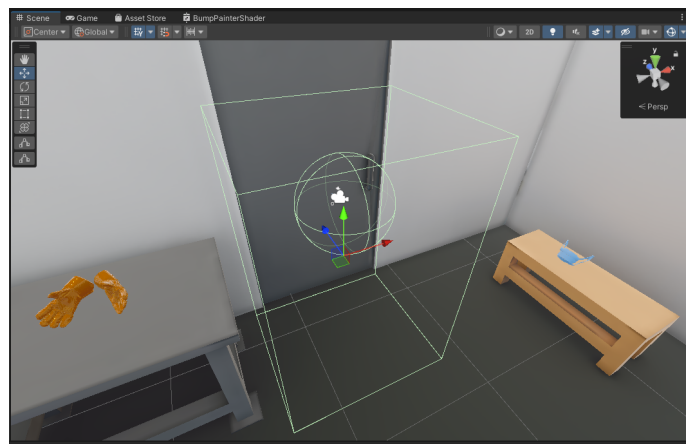


Figura 12. Configuración de la detección de objetos.

Para gestionar el movimiento del personaje en la experiencia de realidad virtual, se implementará el “Locomotion System”. Este sistema es fundamental para permitir que el personaje se desplace de manera fluida y natural dentro del entorno virtual. Dentro del “Locomotion System” se encuentra un objeto clave llamado “Move”, que contiene toda la programación relacionada con el movimiento del personaje, específicamente utilizando el joystick del mando Meta Quest 2.

El objeto “Move” está diseñado para interpretar las entradas del joystick, traduciendo los movimientos del usuario en desplazamientos dentro del mundo virtual. Esto incluye el caminar hacia adelante, hacia atrás, y la rotación lateral, permitiendo que el usuario explore y navegue por el entorno VR con precisión. La programación dentro de “Move” se encarga de mapear estos movimientos a las acciones correspondientes del personaje, asegurando que la respuesta sea inmediata y alineada con las expectativas del usuario.

Al utilizar el “Locomotion System” con el objeto “Move”, se logra un control total sobre el movimiento del personaje, permitiendo que los usuarios se desplacen por el entorno virtual de manera intuitiva y sin esfuerzo.

El control del movimiento del personaje dentro de la experiencia de realidad virtual es gestionado por un script específico proporcionado por el plug-in XR Interaction Toolkit, llamado “DynamicMoveProvider”. Este script es una pieza fundamental dentro del “Locomotion System”, ya que se encarga de interpretar las entradas del usuario a través del joystick del mando Meta Quest 2 y convertirlas en movimientos dinámicos y precisos dentro del entorno virtual. El “DynamicMoveProvider” está diseñado para manejar una amplia variedad de escenarios de movimiento, adaptándose a las diferentes necesidades de la experiencia VR. Este script permite que el personaje se desplace en cualquier dirección con fluidez, respondiendo en tiempo real a las acciones del usuario. La capacidad de personalizar y ajustar los parámetros de movimiento dentro del “DynamicMoveProvider” es crucial para asegurar que el movimiento se sienta natural y coherente con la física del mundo virtual.

Al trabajar en conjunto con el objeto “Move” dentro del “Locomotion System”, el “DynamicMoveProvider” facilita una experiencia de navegación que es tanto inmersiva como cómoda, minimizando la posibilidad de mareo o desorientación, que son comunes en experiencias de VR mal calibradas. Este script es lo que permite al usuario tener un control preciso sobre el desplazamiento del personaje, ya sea para caminar, correr o realizar giros suaves y controlados.

Su función es garantizar que las entradas del usuario a través del joystick se traduzcan en movimientos fluidos y naturales dentro del entorno VR.

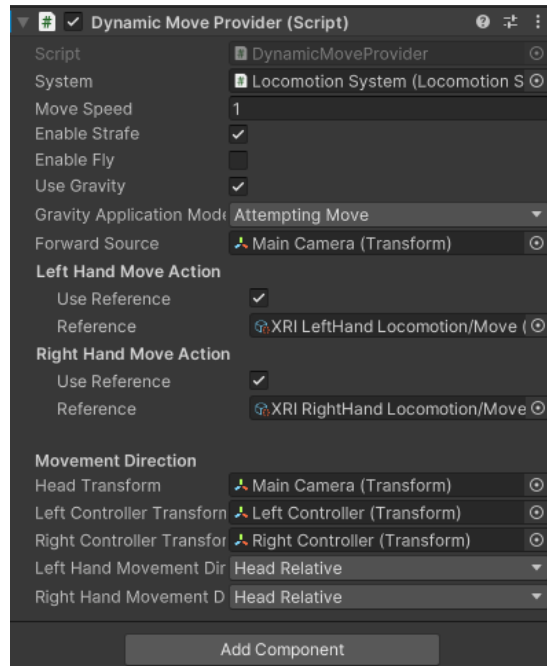


Figura 13. Personalización del script Dynamic Move Provider.

A continuación de la personalización del agarre de objetos mediante el script modificado, al iniciar la simulación de soldadura virtual, el usuario se encuentra directamente frente a una interfaz de menú principal, diseñada para guiarlo en los primeros pasos antes de iniciar la experiencia interactiva. Este menú principal es una herramienta crucial que proporciona las opciones necesarias para acceder a la simulación o salir de la misma, garantizando un control intuitivo y eficiente del entorno. El menú principal consta de tres elementos fundamentales: un video tutorial y dos botones interactivos. El video tutorial se reproduce automáticamente en cuanto el usuario ingresa a la escena, brindándole una introducción y guía sobre el uso de la simulación. Este video es completamente interactivo, permitiendo al usuario controlarlo mediante opciones de reproducir, pausar, adelantar o retroceder según sea necesario.

En cuanto a los botones, el primero de ellos es el botón “Play”, cuya función es iniciar la simulación propiamente dicha. Al presionarlo, el usuario obtiene acceso total a las interacciones dentro del entorno de soldadura, pudiendo moverse y manipular objetos cercanos. El segundo botón, “Quit”, está diseñado para cerrar la aplicación de manera segura, permitiendo al usuario salir de la simulación en cualquier momento.

Para implementar estas funcionalidades, se ha desarrollado un script denominado “MainMenu”. Este script juega un papel central en la gestión de las interacciones iniciales del usuario dentro de la simulación.

Al comenzar la simulación, el script “MainMenu” desactiva temporalmente la capacidad del usuario para moverse e interactuar con ciertos objetos en la escena que están situados cerca de su posición inicial. Esto se realiza con el propósito de asegurar que el usuario primero se familiarice con el entorno y las instrucciones proporcionadas a través del video tutorial antes de poder explorar el espacio o manipular objetos.

El script MainMenu contiene dos métodos clave:

1. **Método PlayGame:** Este método es responsable de reactivar todas las interacciones y el movimiento del personaje en el momento en que el usuario presiona el botón Play. Al ejecutarse, este método habilita el agarre de objetos cercanos y permite al usuario desplazarse libremente dentro del entorno de soldadura, dando inicio a la simulación interactiva.

2. **Método QuitGame:** Este método se encarga de cerrar la aplicación cuando el usuario presiona el botón Quit. Al activarse, garantiza una salida limpia y controlada de la simulación, asegurando que todos los procesos se detengan de manera segura.

El script “MainMenu” se encuentra dentro de un objeto en la escena denominado “GameManager”. Este objeto no solo es fundamental para la estructura general del entorno, sino que también actúa como intermediario entre el script “MainMenu” y la interfaz del menú principal. El “GameManager” maneja las interacciones con los botones del menú, asegurando que las acciones del usuario se traduzcan correctamente en comandos dentro de la simulación.

En resumen, la implementación del menú principal a través del script “MainMenu” es un componente esencial para la experiencia de usuario en la simulación de soldadura virtual. Este sistema no solo guía al usuario de manera efectiva al inicio de la simulación, sino que también asegura un control preciso sobre las interacciones y el flujo de la aplicación, mejorando la accesibilidad y funcionalidad del entorno virtual.

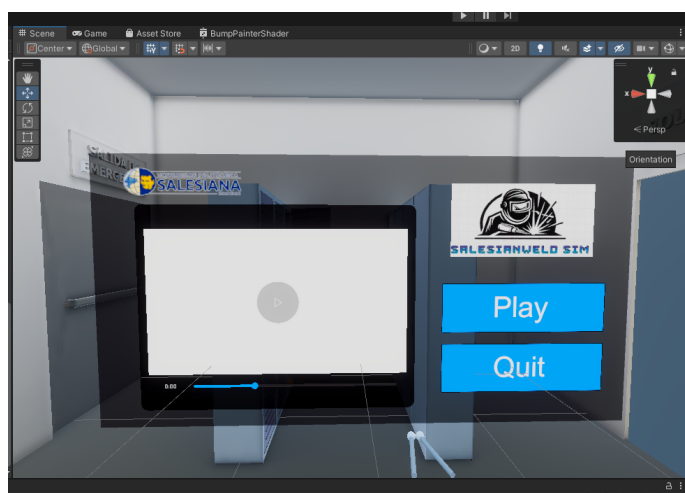


Figura 14. Creación de menú principal.

Luego, se procedió a desarrollar la interfaz de usuario (UI) necesaria para la escena. Esta UI fue diseñada específicamente para guiar al usuario a través del entorno virtual, proporcionando una lista clara de objetos o requisitos que deben ser recolectados o manipulados para poder avanzar al siguiente escenario.

El diseño de la UI comenzó con la identificación de los elementos clave que debían ser mostrados al usuario. Se estableció que la lista de objetos debía ser accesible y fácil de leer, manteniendo al mismo tiempo un estilo visual coherente con el resto de la escena. Para lograr esto, se optó por un diseño minimalista pero funcional, que integrara una lista de verificación donde los objetos necesarios aparecían con sus respectivos nombres y un checkbox, para simular que el objeto se encuentra dentro de la vestimenta a utilizar. A medida que el usuario interactúa con cada objeto y lo recoge, la lista se actualiza automáticamente, marcando los elementos completados y proporcionando feedback visual para mantener al usuario informado de su progreso.

Cada equipo de protección personal (EPP) listado en la UI del entorno virtual fue cuidadosamente configurado con un script específico llamado “DetectObject” que permite al usuario no solo interactuar con estos objetos, sino también equiparlos de manera realista y funcional. Este script personalizado fue diseñado para asegurar que, al recoger y utilizar cada pieza de equipo, la acción se reflejara instantáneamente en la UI, actualizando la lista de verificación en tiempo real y proporcionando una experiencia de usuario fluida y coherente.

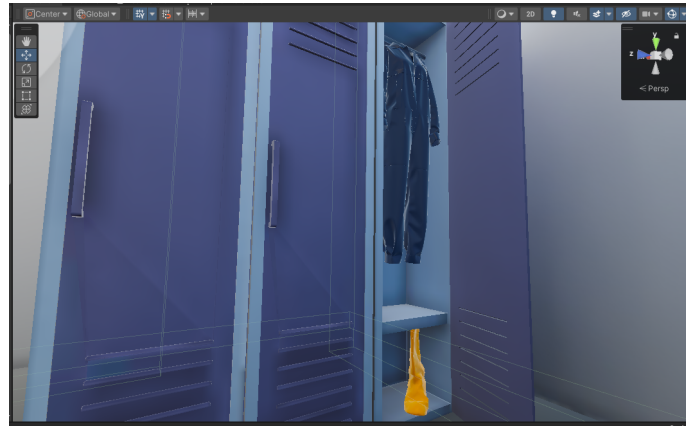


Figura 15. Personalización del agarre de objetos mediante el script modificado

El proceso de desarrollo de la UI también incluyó pruebas de usabilidad para garantizar que la interfaz fuera intuitiva y no distrajera al usuario de la inmersión en el entorno virtual. Se realizaron ajustes en la posición, tamaño y estilo de la UI dentro de la escena para asegurar que fuera visible pero no intrusiva, logrando un equilibrio entre funcionalidad y estética.

Finalmente, la UI fue integrada y sincronizada con la lógica de la escena, de modo que, al completarse todos los requisitos de la lista, se activara la transición al siguiente escenario.

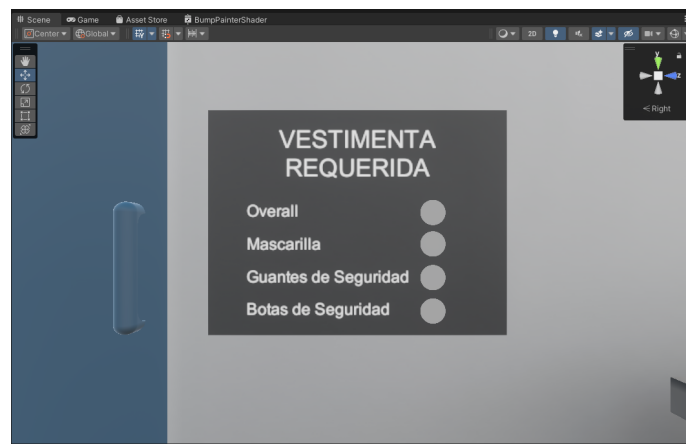


Figura 16. Ajustes en la posición, tamaño y estilo de la UI dentro de la escena

Antes de acceder al cuarto de soldadura, se procedió a programar la puerta que separa el área anterior del entorno de trabajo especializado. El primer paso en la programación de la puerta fue establecer las condiciones bajo las cuales el usuario podría abrirla y avanzar al cuarto de soldadura. Estas condiciones están directamente vinculadas a la UI y a los scripts de equipamiento previamente mencionados. Específicamente, la puerta solo se desbloquea una vez que el usuario ha cumplido con todos los requisitos de la lista de equipamiento, asegurando que el usuario esté adecuadamente preparado antes de entrar en un entorno potencialmente peligroso. Para implementar esta funcionalidad, se desarrolló un script llamado “RotateDoor” que monitorea en tiempo real el estado de la UI y los objetos de protección personal. Este script verifica continuamente si todos los elementos requeridos han sido recogidos y equipados. Una vez que el usuario cumple con todos los requisitos, el script activa un evento que desbloquea la puerta, permitiendo al usuario ingresar a través de ella para ingresar al cuarto de soldadura.

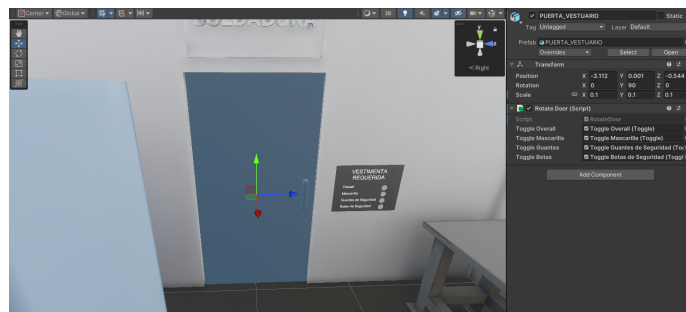


Figura 17. Programación de la puerta

Una vez completada la programación de la puerta, se procedió a la siguiente fase del proyecto: la configuración del cuarto de soldadura. Este espacio, fue diseñado con un nivel de detalle para ofrecer una experiencia inmersiva y educativa. Al igual que en la etapa de vestimenta, se incorporaron modelos CAD específicos y se configuraron sus correspondientes colisiones, asegurando una interacción realista dentro de este entorno especializado. El cuarto de soldadura fue modelado en Autodesk Inventor, donde cada componente, desde las herramientas hasta las máquinas de soldar, fue diseñado para replicar un entorno de soldadura real dentro del laboratorio de la Universidad. Estos modelos CAD, una vez finalizados, fueron exportados en formato OBJ e importados a la escena VR. Una vez integrados en la escena, se configuraron colisionadores detallados para cada componente, desde las superficies de las mesas hasta los equipos de soldadura, permitiendo que el usuario experimente una interacción tangible y realista dentro del espacio.

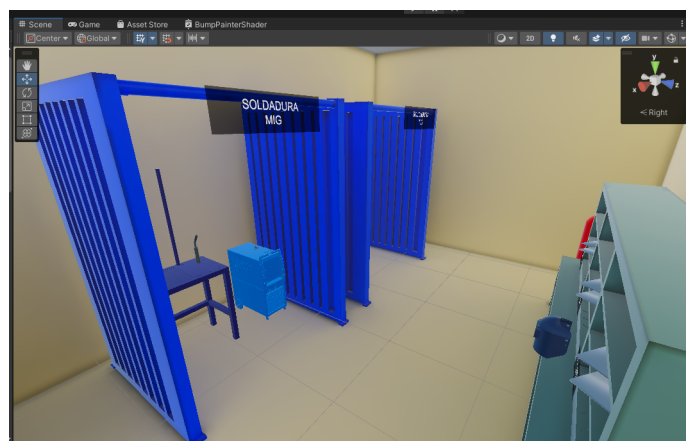


Figura 18. Cuarto de soldadura

Después de la programación de la puerta y la configuración del cuarto de soldadura, se procedió a integrar todos los objetos interactivos en la escena utilizando el XR Interaction Toolkit y el script personalizado desarrollado, denominado “CustomGrabAttach”. Este script fue diseñado específicamente para mejorar y personalizar la experiencia de agarre y manipulación de objetos dentro del entorno de realidad virtual, adaptándolo a las necesidades particulares del proyecto.

El “CustomGrabAttach” fue implementado para manejar una serie de objetos cruciales dentro del entorno, asegurando que cada uno respondiera de manera precisa y coherente a las interacciones del usuario. Los objetos que fueron configurados con este script incluyen el casco de protección, platinas, electrodos, la pistola para soldadura MIG, el porta electrodo para soldadura SMAW, y las pinzas de conexión a tierra. Cada uno de estos elementos fue programado para ofrecer una experiencia de interacción específica.

Casco de protección: El casco, siendo un elemento clave de seguridad, fue configurado para que el usuario

podiera agarrarlo, colocarlo en su cabeza y equiparlo correctamente. El “CustomGrabAttach” maneja no solo la acción de agarre, sino también la posición precisa en la que el casco debe situarse en la cabeza del avatar, asegurando que la visualización y la experiencia del usuario sean realistas y cómodas.

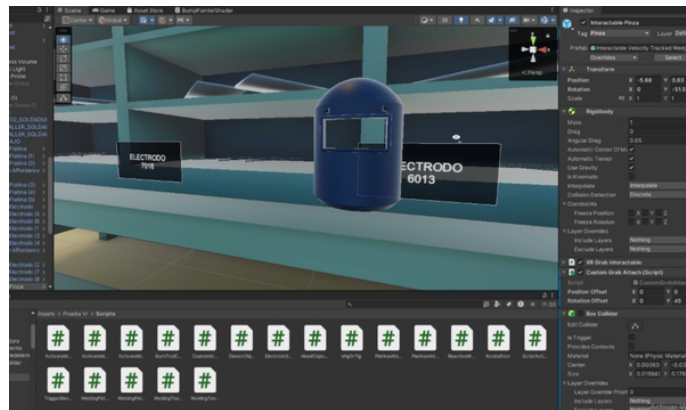


Figura 19. Configuración de máscara para soldadura

Platinas y electrodos: Estos elementos, fundamentales en los procesos de soldadura, fueron integrados con el script para permitir que el usuario los agarre y manipule con facilidad. El “CustomGrabAttach”, garantiza que las platinas y los electrodos puedan ser recogidos de manera intuitiva y colocados en las posiciones correctas dentro del entorno de trabajo. Además, el script maneja las colisiones y las interacciones específicas que ocurren cuando estos objetos son utilizados durante la simulación de soldadura.

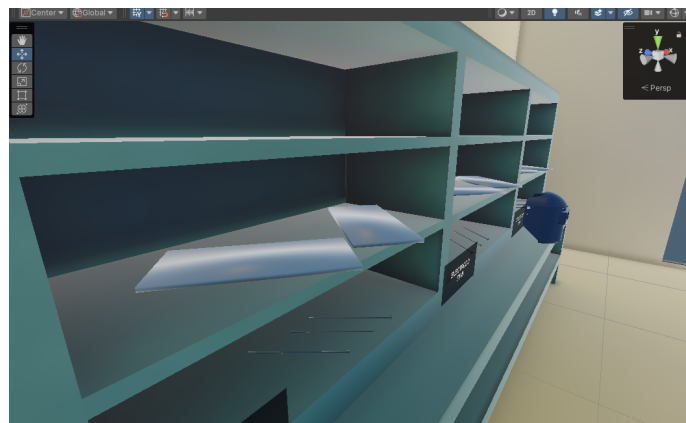


Figura 20. Agarre y manipulación para el usuario

Pistola MIG: La pistola MIG, un componente esencial para la soldadura, fue programada para interactuar con el entorno. El “CustomGrabAttach” permite al usuario agarrar la pistola de una manera natural, simular los movimientos y acciones típicas de soldadura, y asegurar que la pistola responda adecuadamente a la física y a las colisiones dentro de la escena.



Figura 21. Integración de pistola MIG

Portaelectrodo y pinzas a tierra: Estos objetos también fueron configurados con el script personalizado para manejar las interacciones específicas necesarias para un proceso de soldadura correcto. El “CustomGrabAttach” permite que el porta electrodo y las pinzas de conexión a tierra se agarren, manipulen y posicionen de manera precisa, asegurando que el usuario pueda realizar las tareas necesarias con realismo y control total.

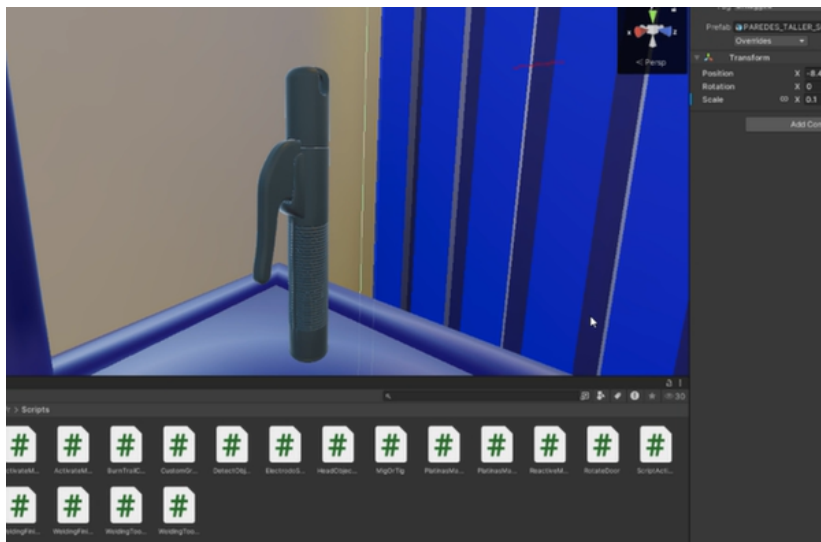


Figura 22. Integración de portaelectrodo

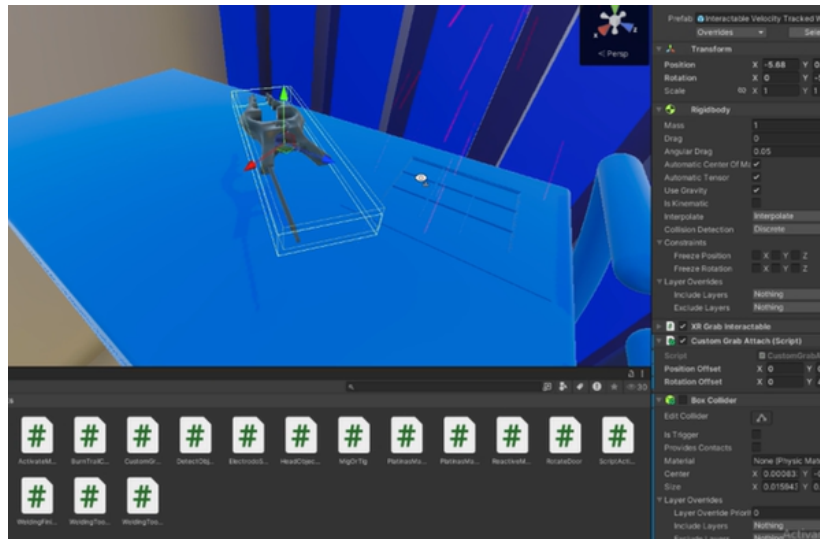


Figura 23. Configuración de pinzas a tierra

Para mejorar la experiencia interactiva y educativa del entorno de realidad virtual, se implementó una interfaz de usuario (UI) de selección del tipo de soldadura, ofreciendo al usuario la opción de elegir entre soldadura MIG y SMAW. Esta UI fue diseñada para que el usuario tome decisiones cruciales antes de comenzar el proceso de soldadura, añadiendo un nivel de realismo y control sobre la simulación.

El desarrollo de esta UI incluyó la creación de un script especializado, denominado “ActivateMenuSoldar”, que se encarga de gestionar las opciones de soldadura y las restricciones de uso de acuerdo con la selección del usuario. Este script fue vinculado a un trigger dentro de la escena, de modo que cuando el usuario entra en la zona de selección, la UI se activa y el menú de opciones aparece en pantalla.



Figura 24. Interfaz de selección de soldadura

Una vez que el usuario elige una opción en cada interfaz de usuario (UI) que aparece, ya sea el tipo de soldadura (MIG o SMAW) o el tipo de junta (junta de tope, junta solapada, o junta de esquina), los datos seleccionados se almacenan en un objeto central en la escena denominado “GameManager”. Este objeto, aunque inicialmente vacío, está configurado para gestionar y almacenar la información de las selecciones del usuario a través de un script

específico llamado “MigOrTig”.

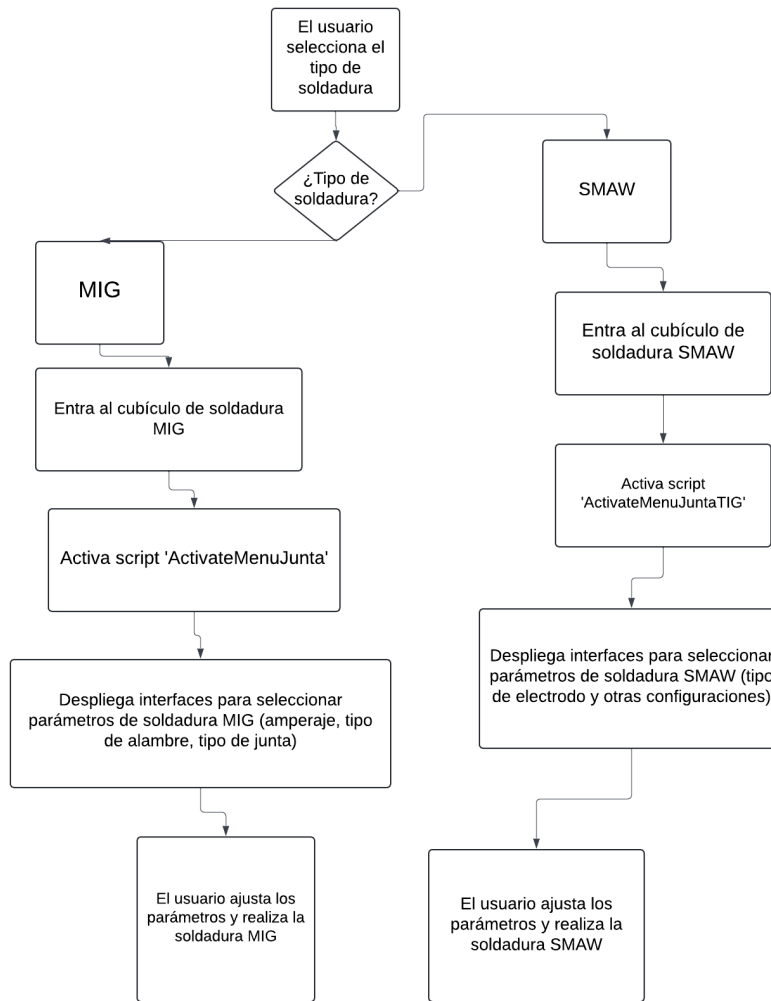


Figura 25. Diagrama de flujo de la gestión de selecciones de usuario en GameManager

Una vez que el usuario selecciona el tipo de soldadura, ya sea MIG o SMAW, se procede a entrar en el cubículo de soldadura correspondiente. Al entrar al cubículo, el usuario atravesará un trigger que, dependiendo del tipo de soldadura que se va a realizar, activará un script llamado ScriptActivator, este da paso al uso de herramientas de cada soldadura después de escoger una. Este mecanismo es esencial para asegurar que el proceso de soldadura virtual se adapte de manera precisa a las necesidades. Si el usuario ingresa a un cubículo destinado a la soldadura MIG, el sistema automáticamente activará el script denominado “ActivateMenuJunta”. Este script es responsable de desplegar una serie de interfaces de usuario diseñadas específicamente para guiar al usuario en la selección de las opciones más adecuadas para realizar la soldadura MIG. Dichas interfaces permiten al usuario ajustar parámetros críticos, como la intensidad de amperaje, tipo de alambre y tipo de junta.

Por otro lado, si el usuario entra en un cubículo destinado a la soldadura SMAW, el sistema activará un script diferente llamado “ActivateMenuJuntaTIG”. Este script, al igual que su contraparte para MIG, presentará al usuario una serie de interfaces de usuario adaptadas a los requerimientos de la soldadura SMAW. Estas interfaces ofrecen opciones detalladas para seleccionar el tipo de electrodo y otras configuraciones que permitirán al usuario optimizar la técnica de soldadura SMAW.

En ambos casos, el propósito de estos scripts es proporcionar un entorno controlado y personalizado donde el usuario pueda ajustar cada aspecto del proceso de soldadura según sus preferencias.

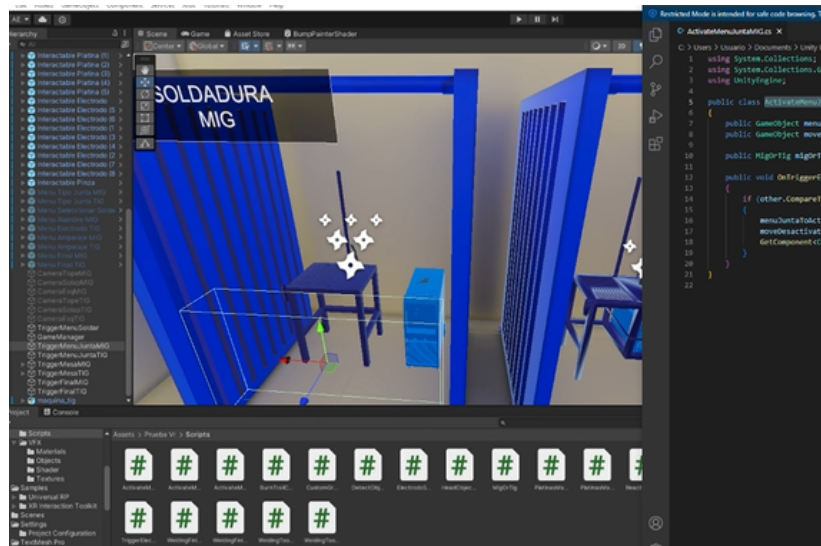


Figura 26. Configuración del trigger.

Dentro de este cubículo, se presenta al usuario un menú adicional para seleccionar el tipo de junta de soldadura que realizará. Esta interfaz de selección dentro del cubículo está diseñada para proporcionar opciones detalladas y permitir al usuario elegir entre tres tipos de juntas de soldadura: junta de tope, junta solapada y junta de esquina. Para que el usuario pueda avanzar dentro del entorno de soldadura, debe seleccionar uno de estos tipos de juntas. Al igual que con la selección del tipo de soldadura, el script “ActivateMenuSoldar” gestiona esta selección dentro del cubículo y asegura que el usuario esté restringido de realizar cualquier otra acción hasta que haga su elección. Esto garantiza que la experiencia sea controlada y que el usuario realice la tarea de manera ordenada.



Figura 27. Selección de tipo de junta a trabajar

Después de que el usuario selecciona el tipo de junta en el cubículo de soldadura, el siguiente paso en el flujo de trabajo es elegir el tipo de alambre de soldadura. Esta elección es crucial para la correcta realización de la soldadura, ya que diferentes tipos de alambre se utilizan en función del material y el tipo de junta. En la interfaz de usuario (UI) que se presenta en esta etapa, el usuario puede seleccionar entre las siguientes opciones de alambre:

- **ER70S-6:** Un alambre de soldadura comúnmente utilizado para soldadura MIG en aceros al carbono, conocido por su versatilidad y su capacidad para producir soldaduras de alta calidad en una variedad de posiciones y

condiciones [54].

- **ER308L**: Un alambre de soldadura diseñado para soldadura de aceros inoxidables, ofreciendo una excelente resistencia a la corrosión y alta resistencia a las altas temperaturas, ideal para aplicaciones en entornos exigentes [54].
- **ER4043**: Un alambre de soldadura de aluminio utilizado para soldaduras de aluminio y aleaciones de aluminio, conocido por su buena fluidez y bajo punto de fusión, facilitando la soldadura de materiales de aluminio [54].



Figura 28. Selección de alambres para soldadura

Por el otro lado si se selecciona la opción SMAW, se mantiene el escoger entre los tres tipos de juntas anteriormente mencionadas, con la diferencia que una vez seleccionado el tipo de junta, se escoge entre los tipos de electrodos que el usuario puede escoger para poder realizar la soldadura. Entre aquellas elecciones se encuentran las siguientes:

- **E6011**: es un tipo de electrodo revestido comúnmente utilizado en el proceso de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Se caracteriza por su versatilidad y capacidad para producir soldaduras de alta calidad en una variedad de posiciones y condiciones. Estudios han demostrado que este electrodo tiene una eficiencia de 56.57 gramos para el tamaño 1/8 pulg y un rendimiento del metal de soldadura diferente al del electrodo 7018 [55].
- **E7018**: El electrodo 7018 es otro tipo de electrodo revestido utilizado en la soldadura SMAW. Se destaca por su capacidad para soldar aceros al carbono y aleaciones de acero en todas las posiciones. Es común en la industria de la soldadura y se utiliza ampliamente en aplicaciones que requieren uniones de alta resistencia y ductilidad [56].
- **E6013**: Se caracteriza por una fácil iniciación y mantenimiento del arco, lo que lo hace adecuado para soldaduras en posiciones plana y horizontal. Al igual que los otros electrodos mencionados, el 6013 se utiliza

comúnmente para soldar aceros al carbono en una variedad de aplicaciones industriales [57].

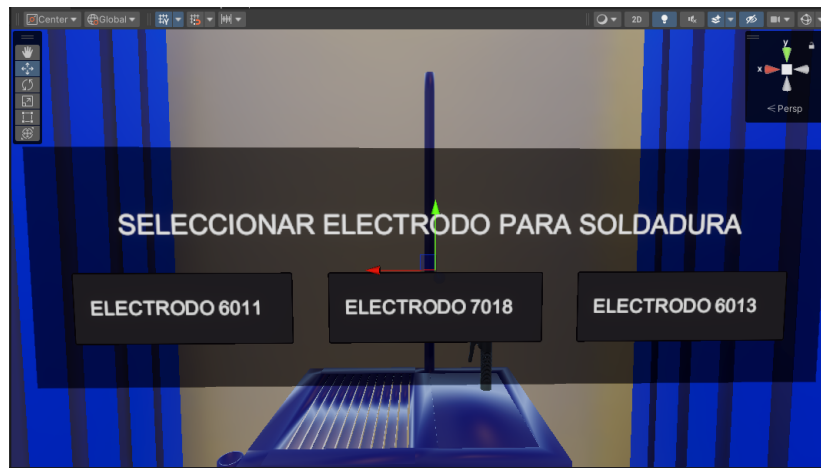


Figura 29. Selección de electrodos para soldadura

Después de que el usuario selecciona el tipo de alambre, el siguiente paso en la simulación es elegir el amperaje adecuado para el proceso de soldadura. El amperaje es un factor crucial que afecta la calidad y la eficiencia de la soldadura, y debe coincidir con el tipo de alambre seleccionado para asegurar un resultado óptimo. En la interfaz de usuario (UI) presentada en esta etapa, el usuario puede seleccionar entre las siguientes opciones de amperaje:

- 35 Amperios
- 60 Amperios
- 70 Amperios
- 110 Amperios
- 150 Amperios

El sistema incluye una validación que verifica si el amperaje seleccionado es adecuado para el tipo de alambre elegido. Si el usuario selecciona un amperaje que no es compatible con el alambre, el sistema impide el avance y muestra una notificación que informa al usuario de la incompatibilidad. Esta validación asegura que el usuario ajuste el amperaje de acuerdo con las especificaciones del alambre para evitar errores en la simulación de soldadura.



Figura 30. Selección de amperaje a trabajar

Después de seleccionar el amperaje adecuado, el siguiente paso en el proceso es programar las condiciones necesarias para iniciar la secuencia de trabajo. El procedimiento comienza con la colocación de platinas, las cuales deben estar correctamente posicionadas sobre la mesa de trabajo. Para gestionar esto, se ha creado un trigger en la superficie de la mesa, y se ha desarrollado un script adicional llamado “PlatinasManager”. El script desempeña un papel crucial al verificar las opciones seleccionadas por los usuarios en las interfaces de usuario (UI). Dependiendo de las elecciones realizadas, el script determina la posición de las platinas sobre la mesa, ya sea en una configuración de junta a tope, solapada o en esquina. Además, este script realiza una comprobación para asegurarse de que una pinza esté conectada a la mesa antes de proceder con cualquier operación adicional. El trigger en la mesa de trabajo tiene una funcionalidad específica: cuando un objeto con el tag “Platinas” entra en el área del trigger, el sistema reconoce que una platina ha sido colocada en la mesa. Sin embargo, para garantizar un proceso ordenado y seguro, solo se permite la colocación de dos platinas sobre la mesa al mismo tiempo; cualquier intento de añadir más platinas estará restringido por el sistema. Asimismo, si un usuario entra en el trigger con un objeto etiquetado como “pinza”, la pinza se colocará automáticamente en la posición de tierra, completando así una parte esencial de la preparación para el trabajo.

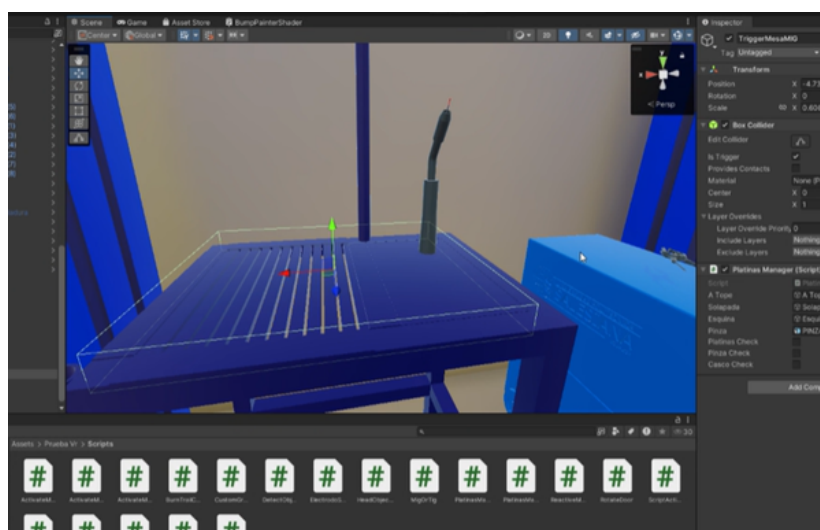


Figura 31. Configuración del trigger de la mesa.

Otro aspecto crítico del proceso es la verificación de la seguridad antes de iniciar la soldadura. Es indispensable que el usuario lleve puesto el casco de protección. Para asegurar esto, el casco cuenta con un script llamado

“HeadObjectDetec”, que trabaja en conjunto con el trigger “DetectObjectFace” ubicado en la región del rostro del personaje. Este script detecta si el casco ha sido correctamente colocado, y una vez que el casco está en su lugar, la iluminación del escenario se ajusta automáticamente, volviéndose más oscura para simular un ambiente de trabajo seguro y protegido.

Este sistema integral no solo facilita la correcta colocación de los elementos sobre la mesa de trabajo, sino que también garantiza que todas las medidas de seguridad se cumplan antes de comenzar con la soldadura. Al combinar la funcionalidad del “PlatinasManager”, los triggers y el “HeadObjectDetect”, se logra un entorno de trabajo controlado y seguro, donde cada paso es monitoreado y validado para asegurar que el proceso siga las configuraciones seleccionadas por el usuario y cumpla con los estándares de seguridad necesarios.

Una vez que se han verificado todas las condiciones previas, como la colocación correcta de las platinas, la conexión de la pinza a tierra, y la confirmación de que el usuario lleva puesto el casco de protección, se puede proceder con la programación de la soldadura MIG. El objeto que se utilizará para la soldadura MIG está equipado con dos scripts esenciales que permiten un agarre personalizado: el “XR Grab Interactable” y el “Custom Grab Attach”. Estos scripts aseguran que el usuario tenga un control óptimo y ergonómico de la herramienta dentro del entorno de realidad virtual.

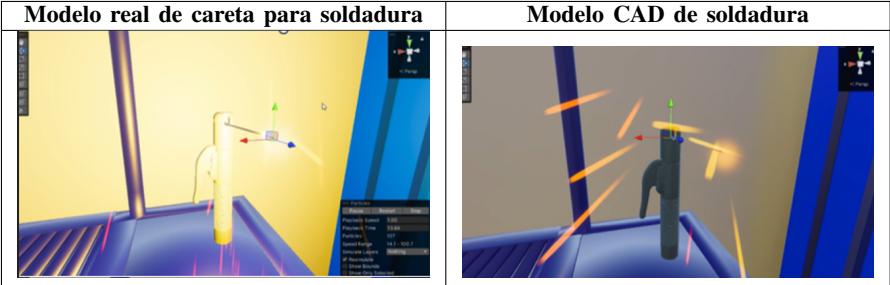
A continuación, se desarrolla un script específico para la pistola MIG, denominado “Welding Tool MIG”. Este script encapsula todas las funciones y lógicas relacionadas con el proceso de soldadura. En primer lugar, el “Welding Tool MIG” verifica que todas las condiciones previas mencionadas hayan sido cumplidas: las platinas deben estar correctamente posicionadas sobre la mesa, el casco debe estar adecuadamente colocado en el usuario, y la pinza debe estar conectada a tierra.

Una vez que el script confirma que estas condiciones se cumplen, el sistema permite el uso de la herramienta de soldadura. Al activar la herramienta, el script “Welding Tool MIG” genera un raycast invisible de corta distancia. Este raycast actúa como un sensor que detecta si la herramienta está correctamente alineada con los objetos etiquetados como “platina”. Si el raycast detecta una platina, la herramienta comienza automáticamente el proceso de soldadura. Este enfoque asegura que la soldadura solo se inicie cuando todas las condiciones de seguridad y preparación se han cumplido, evitando errores o peligros en el proceso. Además, al utilizar un raycast invisible, el sistema garantiza que la soldadura se realice con precisión, permitiendo al usuario concentrarse en la técnica y la ejecución sin preocuparse por errores de alineación o seguridad.

Una vez que se han implementado y verificado las funciones esenciales de la herramienta de soldadura MIG, el siguiente paso es añadir los efectos visuales que realzan la experiencia y aumentan la inmersión del usuario. Para lograr esto, se han creado varios efectos visuales que se integran en el script “Welding Tool MIG” para proporcionar una representación más realista del proceso de soldadura.

El primer efecto visual es el de las chispas. Este efecto se ha creado utilizando el sistema de partículas de Unity, que permite generar una lluvia de chispas brillantes y dinámicas. Las partículas simulan el comportamiento real de las chispas que se producen durante el proceso de soldadura, añadiendo un nivel de realismo y atractivo visual a la experiencia. Las chispas se activan en el momento en que la pistola MIG hace contacto con la platina, proporcionando una señal visual clara de que el proceso de soldadura está en curso.

Tabla XVII
ANIMACIÓN DE VISUALIZACIÓN Y PREVISUALIZACIÓN DE SOLDADURA



En el proceso de soldadura virtual, se ha implementado un sistema detallado para la selección y uso de electrodos

revestidos, en el contexto de la soldadura SMAW. Este sistema se activa a través de un script llamado "Trigger electrodos", que cumple un rol fundamental en garantizar que se utilice el electrodo correcto durante el proceso de soldadura. Cuando el usuario selecciona un electrodo a través de la interfaz de usuario, el script "Trigger electrodos" se activa. Su primera función es verificar que el electrodo seleccionado sea el tipo adecuado para la soldadura que se va a realizar. Este paso es crucial, ya que asegura que el electrodo cumple con las especificaciones requeridas para el tipo de trabajo a ejecutar, evitando errores que podrían comprometer la calidad de la soldadura. Una vez verificado el electrodo, el script también tiene la capacidad de detectar la proximidad del electrodo con la herramienta SMAW de soldar. Si el electrodo seleccionado está cerca del portaelectrodo y coincide con el tipo de electrodo previamente elegido en la interfaz de usuario, el sistema permitirá que el electrodo se coloque en el lugar correspondiente dentro de la pinza SMAW. Este mecanismo garantiza que solo el electrodo correcto sea utilizado, reforzando la precisión y la autenticidad del proceso de soldadura virtual. En caso de que el electrodo no coincida con el tipo seleccionado en la interfaz, el sistema no permitirá continuar con la soldadura hasta que se haya escogido el electrodo correcto. Esta medida asegura que el usuario sigue los procedimientos adecuados, promoviendo un aprendizaje riguroso y una experiencia de soldadura realista.

Además, dentro de la herramienta SMAW de soldadura, existe un objeto denominado "electrodos" que contiene un script específico llamado "ElectrodoEscala". Este script tiene la función de simular el desgaste del electrodo a medida que se va utilizando en la soldadura. Conforme avanza el proceso de soldadura, el script hace que el electrodo se vaya consumiendo, replicando de manera precisa lo que ocurre en un entorno de soldadura real. Esto añade un nivel adicional de realismo al simulador, permitiendo que el usuario observe cómo el electrodo se reduce en tamaño, lo cual es un aspecto importante del proceso de soldadura SMAW.

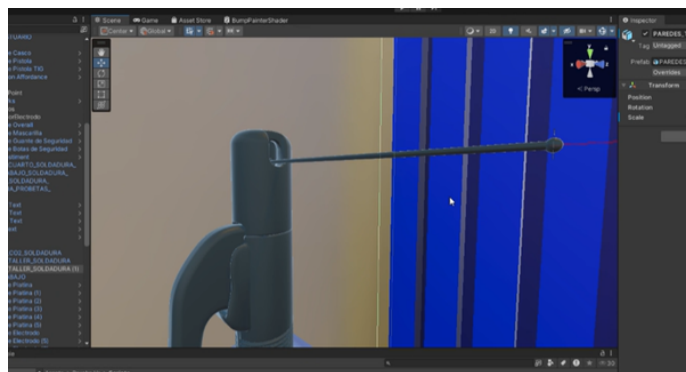


Figura 32. Portaelectrodo para soldadura SMAW

Por último, el portaelectrodo para soldadura SMAW está equipada con un trigger diseñado específicamente para detectar la presencia del electrodo. Este trigger interactúa con el script "Trigger electrodos", asegurando que la pinza solo acepte el electrodo adecuado, alineándose con las configuraciones seleccionadas por el usuario. Este complejo sistema de scripts y triggers no solo enriquece la experiencia de soldadura, sino que también ofrece una plataforma de aprendizaje detallada y exigente, donde cada aspecto del proceso es cuidadosamente monitoreado y controlado para garantizar resultados óptimos.

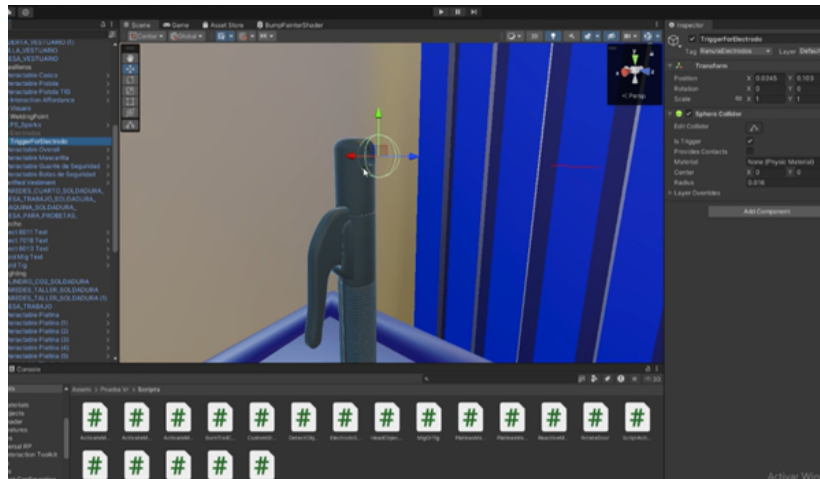


Figura 33. Trigger en portaelectrodo para soldadura

Otro efecto importante es el cordón de soldadura. Para crear este efecto, se ha modelado un objeto 3D que representa el cordón generada por la soldadura. Este modelo se texturiza con una apariencia de metal quemado para simular el aspecto del material fundido. Cuando el cordón se instancia durante el proceso de soldadura, su rotación y movimiento se ajustan dinámicamente para reflejar el comportamiento del material mientras se desplaza a lo largo del camino de soldadura. Este efecto añade un toque de realismo adicional al mostrar cómo el cordón se dispersa alrededor del área de trabajo.

Además, el script “Welding Tool MIG” también gestiona la iluminación del escenario durante el proceso de soldadura. Para enfocar la atención en los efectos visuales de las chispas y asegurar que se vean con claridad, se ajusta la iluminación general del entorno. Este ajuste hace que el entorno se oscurezca ligeramente, resaltando las chispas y creando un contraste que permite a los usuarios apreciar mejor el efecto visual de la soldadura.



Figura 34. Cordón de soldadura.

En el desarrollo del sistema de soldadura virtual, se ha implementado un mecanismo de retroalimentación háptica y de reinicio para situaciones en las que el electrodo o alambre permanece en contacto con la platina durante un tiempo excesivo. Este mecanismo está diseñado para mejorar la precisión y realismo de la simulación,

así como para evitar errores comunes en el proceso de soldadura. El sistema de vibración se activa cuando la herramienta de soldadura se acerca demasiado a la platina. Para lograr esto, se ha tomado como referencia un script preexistente llamado “ActionBasedController” incluido en el paquete XR Interaction Toolkit. Este script proporciona las funciones necesarias para manejar la vibración en los controles del Meta Quest 2, permitiendo que los mandos emitan una señal táctil cuando se detecta una proximidad peligrosa entre la herramienta y la platina.

A partir de esta base, se ha desarrollado un script personalizado denominado “VibrationActivator”, el cual se encarga de gestionar la vibración del mando correspondiente, ya sea el izquierdo o el derecho, dependiendo de cuál esté siendo utilizado para manejar la herramienta de soldadura. Dentro de este script, se hace referencia a otros dos scripts previamente creados, denominados “WeldingToolMIG” y “WeldingToolTIG”. Estos scripts almacenan una variable que está enlazada al script “VibrationActivator” y que determina si la herramienta de soldar se ha acercado demasiado a la platina. Para calcular qué tan cerca está la herramienta de la platina, usamos una fórmula que mide la distancia entre dos puntos en el espacio tridimensional.

La distancia entre dos puntos en un espacio tridimensional está dada por la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

donde:

- d es la distancia entre los puntos (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2) .
- (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2) son las coordenadas de los dos puntos en el espacio tridimensional.

Cuando la herramienta se encuentra a una distancia crítica de la platina, el mando comienza a vibrar, alertando al usuario de la proximidad y otorgándole un período de seis segundos para que corrija la posición de la herramienta y continúe soldando. Si el usuario no se aleja de la platina dentro de ese tiempo, se activará un mensaje de error en la interfaz, indicando “Error al soldar”. Simultáneamente, la herramienta de soldadura dejará de funcionar, interrumpiendo el proceso de manera automática. Este mensaje de error incluirá un botón que permitirá reiniciar la operación.

Para la implementación del reinicio, se han diseñado dos menús específicos tanto para la cabina MIG como para la cabina SMAW. Estos menús solo se mostrarán cuando el usuario haya permanecido durante más de seis segundos demasiado cerca de la platina mientras soldaba. La activación de estos menús se controla a través de una variable en los scripts “WeldingToolMIG” y “WeldingToolTIG”, dependiendo de la herramienta en uso.

El menú de reinicio cuenta con un solo botón, programado mediante un script denominado “ResetWelding”. Este script tiene la función de limpiar toda la línea de soldadura y restablecer el funcionamiento de la herramienta que se esté utilizando. Además, dentro de los scripts “WeldingToolMIG” y “WeldingToolTIG”, se reinicia el contador de tiempo de soldadura, permitiendo al usuario comenzar de nuevo el proceso desde cero. Una vez que el usuario presione el botón de reinicio, se llamarán los métodos correspondientes, ya sea MIG o SMAW, para reiniciar la tarea de soldadura desde el principio.

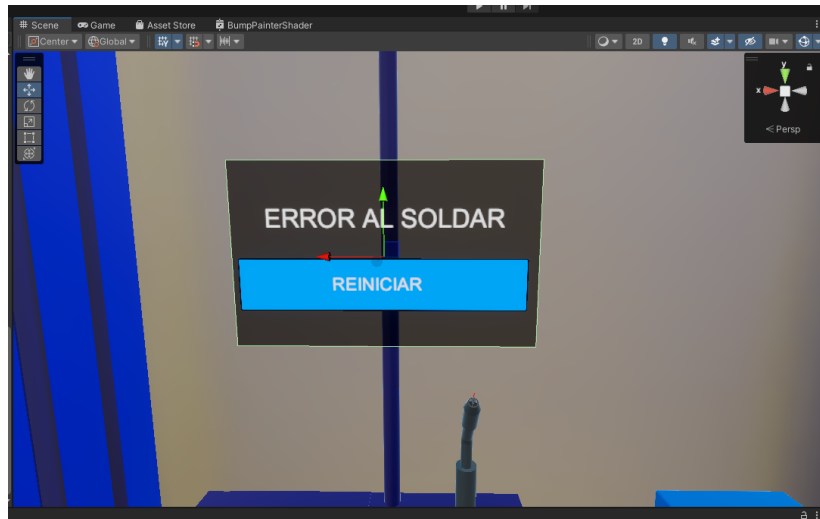


Figura 35. Alerta de error al soldar

Una vez que el usuario haya completado el proceso de soldadura MIG o el proceso SMAW, y salga del cubículo, se le presenta una interfaz de usuario (UI) que muestra las estadísticas del trabajo realizado. Esta interfaz proporciona información clave sobre la calidad de la soldadura, incluyendo el tiempo total de trabajo, la rectitud de la soldadura y el relleno alcanzado. Para calcular y mostrar estas estadísticas, se utiliza un trigger situado a la salida del cubículo, que está asociado con un script creado específicamente para esta función, llamado “Welding Finish Trigger”.

Proceso detallado a continuación.

- 1) Se define un margen de error que determina la tolerancia máxima permitida para que un punto del trayecto de soldadura se desvíe de la línea ideal de soldadura. En este caso, el margen de error está fijado en 0.004 unidades vectoriales.
- 2) En la segmentación del trayecto de soldadura, la distancia total del trayecto es calculada con la siguiente fórmula a continuación.

$$\text{Número segmentos} = \frac{\text{Longitud total del trayecto}}{\text{Longitud de cada segmento}} \quad (2)$$

- 3) Para cada punto registrado en el trayecto de soldadura, se mide la distancia desde la línea ideal que conecta el punto inicial con el punto final. Si un punto está dentro del margen de error definido, se considera válido. Los segmentos del trayecto en los que se registran puntos válidos se marcan como cubiertos, indicando que se soldaron correctamente.
- 4) Se calcula el porcentaje de puntos válidos en relación con el número total de puntos registrados. Este porcentaje indica qué tan recto fue el trayecto de soldadura, proporcionando una medida de la precisión del trabajo realizado.

$$\text{Porcentaje puntos válidos} = \frac{\text{Número puntos válidos}}{\text{Número total puntos registrados}} \quad (3)$$

- 5) Se verifica cuántos de los segmentos definidos han sido cubiertos por al menos un punto válido. El porcentaje de cobertura refleja cuánto del trayecto total ha sido efectivamente soldado.
- 6) Para mostrar el tiempo que el usuario tardó en completar la soldadura MIG, se emplea un cronómetro interno que comienza a contar cuando se inicia el proceso de soldadura y se detiene cuando el usuario cruza el trigger al finalizar la tarea. La duración total de la soldadura en segundos se obtiene restando el tiempo inicial del tiempo final.

Una vez que se tiene la duración en segundos, la conversión a minutos y segundos se realiza

$$\text{Minutos} = \frac{\text{Duración total segundos}}{60} \quad (4)$$

7) Para obtener el número de minutos completos, se redondea hacia abajo al número entero más cercano. Esto proporciona el total de minutos transcurridos durante la soldadura.

8) Al momento de calcular los segundos que no completan un minuto entero, se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Segundos restantes} = \frac{\text{Duración total segundos}}{60} \quad (5)$$

Estos cálculos permiten una evaluación detallada de la calidad de la soldadura, ofreciendo al usuario una retroalimentación preciso sobre su desempeño. La interfaz de usuario mostrará estos resultados junto con una comparación con una referencia ideal de soldadura, proporcionando así una visión clara de la calidad del trabajo realizado. Este enfoque asegura que el usuario pueda ver y entender claramente las áreas de mejora y los aspectos en los que se ha desempeñado bien, promoviendo una experiencia de aprendizaje y perfeccionamiento continua.

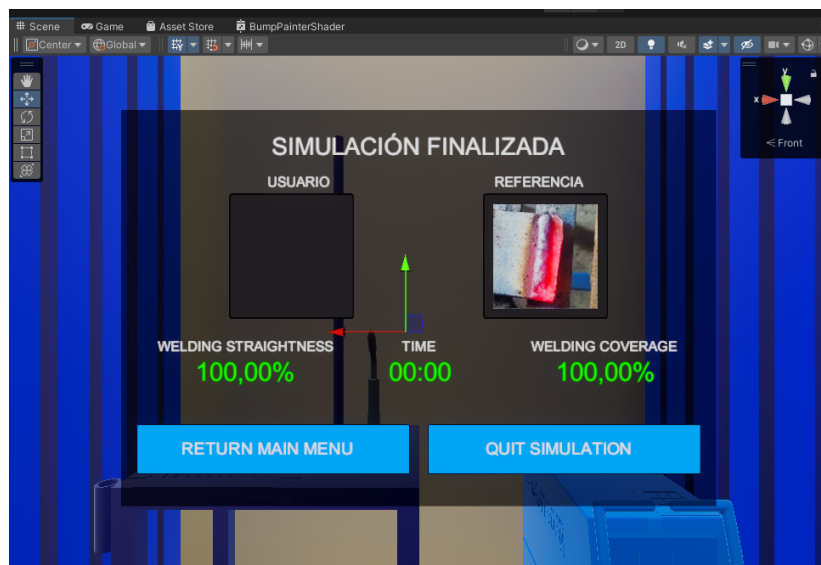


Figura 36. Resultados del usuario.

En la etapa final de la simulación de soldadura virtual, el usuario tendrá la posibilidad de interactuar con dos botones adicionales que aparecen en la pantalla: “Return” y “QuitSimulation”. Estos botones proporcionan al usuario las opciones necesarias para reiniciar el nivel completo o para salir de la simulación de manera segura.

1. **Botón ReturnMainnMenu:** Este botón está diseñado para permitir que el usuario reinicie el nivel completo. Al seleccionarlo, la simulación se restablece a su estado inicial, permitiendo al usuario volver a empezar desde el principio con todas las configuraciones y condiciones iniciales.
2. **Botón QuitSimulation:** Este botón ofrece al usuario la posibilidad de cerrar la aplicación. Al ser presionado, la simulación se cierra de manera ordenada, garantizando que todos los procesos activos se detengan correctamente y que se salga del entorno virtual de forma segura.

Para gestionar el funcionamiento de estos dos botones, se ha desarrollado un script específico denominado “MenuFinal”. Este script es crucial para controlar las opciones de reinicio y cierre de la simulación, asegurando una experiencia de usuario fluida y controlada en la fase final de la simulación.

El script MenuFinal contiene dos métodos principales:

1. **Método RestartLevel:** Este método es responsable de reiniciar el nivel completo de la simulación cuando el usuario presiona el botón Return. Al activarse, este método restablece todas las variables, configura el entorno de soldadura a sus condiciones iniciales y permite al usuario comenzar nuevamente desde el inicio.
2. **Método QuitApplication:** Este método se encarga de cerrar la aplicación de manera segura cuando el usuario presiona el botón QuitSimulation. Al ejecutarse, este método garantiza que la simulación se cierre correctamente, deteniendo todos los procesos activos y asegurando una salida limpia del entorno virtual.

El script “MenuFinal” se encuentra alojado dentro de un objeto en la escena denominado “GameManager”. Este objeto es fundamental para la estructura general de la simulación, ya que actúa como un gestor central que enlaza el script “MenuFinal” a los botones de la interfaz final. De esta manera, el “GameManager” asegura que las acciones del usuario, al presionar los botones “Return” y “QuitSimulation”, se traduzcan correctamente en los comandos correspondientes para reiniciar el nivel o cerrar la simulación.

VI. RESULTADOS

VI-A. Evaluación de estudiantes con un simulador de soldadura en realidad Virtual

A continuación se muestran las preguntas utilizadas en la encuesta de Likert para evaluar la experiencia de los estudiantes con el simulador de soldadura en realidad virtual:

- El tiempo total que empleé para completar la soldadura fue adecuado.
- Mantuve una trayectoria recta durante el proceso de soldadura sin desviaciones significativas.
- La cantidad de material de relleno utilizado en la soldadura fue adecuada para lograr una unión sólida.
- ¿Qué tan realista te parece el entorno virtual de soldadura?
- ¿Fue fácil de usar el sistema de VR para realizar soldaduras?
- ¿Consideras que el entorno VR mejora tus habilidades de soldadura?
- Estoy familiarizado(a) con la técnica de soldadura.

La tabla XVIII muestra la distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes universitarios en relación con su experiencia utilizando el simulador de soldadura en realidad virtual. La tabla está organizada en función de siete preguntas clave que evalúan diversos aspectos de la experiencia con el simulador, incluyendo la adecuación del tiempo empleado, la trayectoria durante el proceso de soldadura, la cantidad de material de relleno utilizado, la percepción del realismo del entorno virtual, la facilidad de uso del sistema de realidad virtual (VR), la mejora en las habilidades de soldadura gracias al entorno VR, y el grado de familiaridad con la técnica de soldadura. Cada fila de la tabla corresponde a una pregunta específica, mientras que las columnas representan las respuestas agrupadas en diferentes categorías, desde “Totalmente en desacuerdo” hasta “Totalmente de acuerdo”.

Tabla XVIII

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES EN RELACIÓN A SU EXPERIENCIA CON EL SIMULADOR DE SOLDADURA EN REALIDAD VIRTUAL.

Rol de estudios	Totalmente en desacuerdo (%)	Algo en desacuerdo (%)	Neutral (%)	Algo de acuerdo (%)	Totalmente de acuerdo (%)
El tiempo total que empleé para completar la soldadura fue adecuado	0.0	0.0	7.7	38.5	53.8
Mantuve una trayectoria recta durante el proceso de soldadura sin desviaciones significativas.	0.0	15.4	23.1	38.5	23.1
La cantidad de material de relleno utilizado en la soldadura fue adecuada para lograr una unión sólida.	0.0	7.7	30.8	38.5	23.1
¿Qué tan realista te parece el entorno virtual de soldadura?	0.0	0.0	23.1	30.8	46.2
¿Fue fácil de usar el sistema de VR para realizar soldaduras?	0.0	7.7	30.8	30.8	30.8
¿Consideras que el entorno VR mejora tus habilidades de soldadura?	0.0	7.7	0.0	30.8	61.5
Estoy familiarizado(a) con la técnica de soldadura.	0.0	15.4	0.0	46.2	38.5

La Figura 38 presenta los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes durante una práctica de soldadura en un entorno de realidad virtual. Se evaluaron diferentes aspectos clave, como la percepción del realismo del entorno, la facilidad de uso del sistema VR, y la mejora en las habilidades de soldadura percibida por los estudiantes. También se calificaron parámetros específicos del proceso de soldadura, incluyendo la adecuación del tiempo empleado, la rectitud de la trayectoria, y la cantidad de material de relleno utilizado. Es importante destacar que el estudiante número 11 es un profesor, lo cual puede influir en los resultados obtenidos.

Ingrese su nombre	El tiempo total que empleé para completar la soldadura fue adecuado	Mantuve una trayectoria recta durante el proceso de soldadura sin desviaciones significativas.	La cantidad de material de relleno utilizado en la soldadura fue adecuada para lograr una unión sólida.	¿Qué tan realista te parece el entorno virtual de soldadura?	¿Fue fácil de usar el sistema de VR para realizar soldaduras?	¿Consideras que el entorno VR mejora tus habilidades de soldadura?	Estoy familiarizado(a) con la técnica de soldadura.
ESTUDIANTE 1	5	5	4	5	5	5	4
ESTUDIANTE 2	4	3	5	3	5	4	1
ESTUDIANTE 3	2	2	3	3	3	4	4
ESTUDIANTE 4	4	3	5	5	5	5	5
ESTUDIANTE 5	4	3	4	4	4	4	3
ESTUDIANTE 6	3	2	3	5	5	5	3
ESTUDIANTE 7	4	3	3	5	5	5	3
ESTUDIANTE 8	4	4	5	5	4	5	5
ESTUDIANTE 9	5	5	5	5	5	5	5
ESTUDIANTE 10	3	4	3	2	1	3	4
ESTUDIANTE 11	5	5	5	5	5	5	5
ESTUDIANTE 12	5	4	4	4	5	4	3
ESTUDIANTE 13	5	3	4	5	5	5	5
ESTUDIANTE 14	5	4	5	5	5	5	5
ESTUDIANTE 15	4	3	4	4	4	3	5
ESTUDIANTE 16	5	4	5	4	4	4	4

Figura 37. Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.

La Tabla XIX presenta los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes durante una práctica de soldadura, en la cual se evaluaron tres parámetros clave: rectitud del cordón de soldadura (%), tiempo de ejecución (minutos y segundos), y cobertura alcanzada (%). Estos parámetros permiten medir la precisión y eficiencia del proceso de soldadura realizado por cada estudiante.

La columna de Rectitud (%) refleja la capacidad del estudiante para mantener una trayectoria recta durante el proceso de soldadura, un aspecto crítico para la calidad del cordón de soldadura. El Tiempo indica la duración total que cada estudiante empleó en completar la soldadura, lo que puede influir en la evaluación de su destreza y eficiencia. Finalmente, la columna de Cobertura (%) muestra el porcentaje de área correctamente cubierta por el material de soldadura, lo cual es un indicador de la eficacia en la aplicación del material.

Tabla XIX
RESULTADOS DE SOLDADURA DE ESTUDIANTES

Estudiante	Rectitud (%)	Tiempo	Coverage (%)
Alejandro Salazar	61.62	1 m	100
Adrián Moreno	32.10	1 m 6 s	52
Juan Pablo Quimí	95.00	2 m 3 s	45.9
Mark Tobar	65.88	1 m	100
Daniel Romero	49.17	1 m 17 s	75
Ashley Toalongo	26.06	2 m 9 s	68.00
Rodrigo Berrezueta	25.10	1 m 16 s	100
Adrián Bohórquez	6.59	1 m 39 s	72
Daniela Alvarado	47.06	1 m 23 s	90
Andrés Cobos	48.67	1 m 59 s	80
Bryan Hernández	28.35	2 m 4 s	68.78
Will Pazmiño	62.50	38 s	100
Ángel Monserrate	48.00	5 m	50.15
Anthony Chavez	51.53	1 m 19 s	95
Melany Heradio	38.58	3 m 13 s	100

Estos resultados permiten analizar el rendimiento de los estudiantes en función de la precisión y el control durante la soldadura, así como su capacidad para completar la tarea dentro de un tiempo óptimo, considerando también la cobertura alcanzada. Esta información es fundamental para ajustar las técnicas de enseñanza y mejorar el aprendizaje en simulaciones de soldadura.

VII. CRONOGRAMA

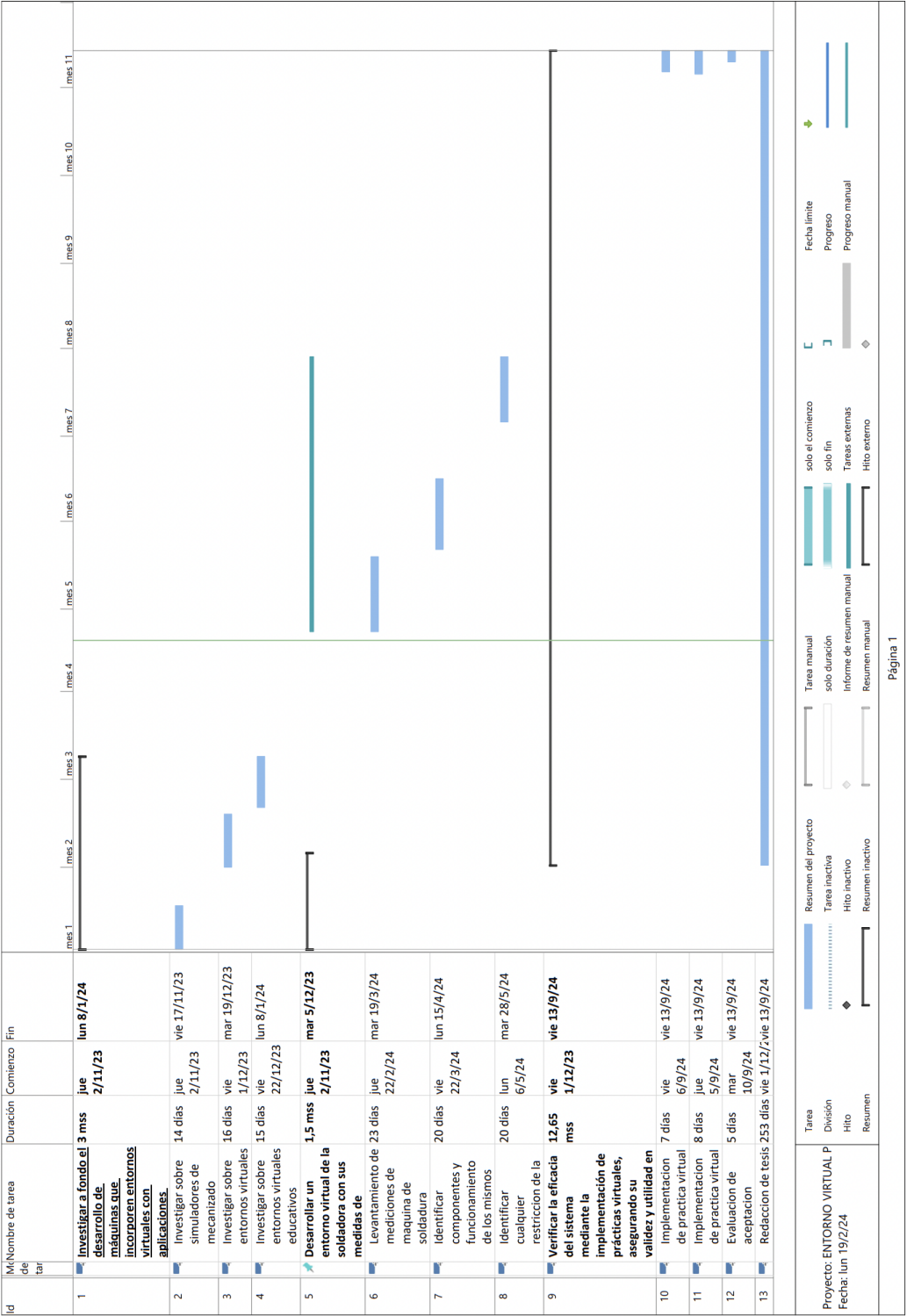


Figura 38. Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.

VIII. PRESUPUESTO

Tabla XX
LISTA DE ELEMENTOS Y SUS VALORES TOTALES

Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad	Valor Total
Oculus Quest	Gafa de realidad virtual	1	\$250
Instrumentos de medición	Herramientas para medición y levantamiento	3	\$80
Movilización	Movilización	12	\$45
Impresión	Impresión de proyecto	3	\$40
Computador	Laptops dedicadas a diseño y simulación	2	\$1200
Librerías Unity	Acceso a librerías de Unity	2	\$150
Capacitación en Unity	Cursos para conocimientos avanzados en Unity	2	\$100
TOTAL			\$1865

IX. CONCLUSIONES

Se desarrolló un entorno de realidad virtual para la simulación de prácticas de soldadura industrial, logrando una réplica del 85 % de los componentes de una cabina de soldadura del campus Centenario. Este entorno fue diseñado utilizando software de modelado paramétrico y validado por el instructor de soldadura, demostrando una alta precisión en la representación virtual. Sin embargo, no se alcanzó una réplica del 100 % debido a un margen de error inherente al proceso de modelado. Por ejemplo, no se replicaron todas las cabinas de soldadura, sino únicamente aquellas que serían utilizadas en las prácticas. Además, ciertos elementos como los sistemas de ventilación y otros detalles específicos no fueron modelados, lo que explica la diferencia.

La implementación del simulador en los laboratorios de la carrera de Mecatrónica resultó en un incremento del uso del laboratorio en un 13 %. Esto evidencia que el entorno virtual no solo fue aceptado por los estudiantes, sino que también contribuyó a un mayor acceso y utilización del espacio para la formación práctica en soldadura.

Las encuestas de satisfacción realizadas a los estudiantes revelaron una aprobación del 72 %, lo que indica una recepción positiva del simulador. La aceptación, en este caso, se entiende como el agrado y la aprobación por parte de los estudiantes hacia el simulador, quienes valoraron positivamente la accesibilidad y la efectividad del entorno virtual en el aprendizaje de habilidades de soldadura. Esto demuestra una alta disposición a utilizar esta herramienta como complemento a las prácticas tradicionales.

La evaluación de la efectividad del simulador en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza mostró una aceptación del 60 % entre los estudiantes, destacando la viabilidad y la ventaja de la realidad virtual en la enseñanza práctica de soldadura. El entorno virtual se demostró como una alternativa eficaz que puede complementar las prácticas físicas, mejorando la formación técnica de los estudiantes en un ambiente seguro y controlado.

La integración del simulador de soldadura en el currículo académico permitió a los estudiantes realizar prácticas de soldadura con un enfoque innovador, resultando en una mejora en la formación técnica y una mayor preparación para el entorno laboral. La capacidad de simular prácticas en un entorno virtual ha facilitado el aprendizaje y la adquisición de habilidades técnicas de manera efectiva y segura.

X. RECOMENDACIONES

Es fundamental que los estudiantes reciban retroalimentación continua sobre su desempeño en el entorno virtual de soldadura. Esto permitirá a los usuarios identificar áreas de mejora y ajustar su técnica para optimizar el aprendizaje. Basado en la norma ISO 9001:2015, que establece requisitos para un sistema de gestión de la calidad. Esta normativa es particularmente relevante para asegurar que los procesos de enseñanza en el entorno virtual se realicen bajo estándares que promuevan la mejora continua y la satisfacción del usuario.

Se recomienda garantizar que todos los parámetros del entorno de realidad virtual estén correctamente calibrados y configurados. Aunque el simulador cuenta con alertas de advertencia, una revisión periódica de los parámetros es esencial para evitar errores y asegurar una experiencia de aprendizaje precisa.

Para mejorar la efectividad del simulador, se sugiere proporcionar una introducción teórica previa al uso del entorno virtual. Esto permitirá a los estudiantes familiarizarse con los conceptos básicos de la soldadura antes de interactuar con el simulador, facilitando un aprendizaje más eficiente y menos complejo.

Se recomienda realizar sesiones de capacitación periódicas para los instructores que utilizan el simulador, asegurando que estén al tanto de las mejores prácticas y actualizaciones del entorno virtual. Esto ayudará a maximizar la utilidad del simulador y a mantener la calidad de la formación ofrecida.

Es aconsejable recopilar y analizar regularmente las opiniones de los estudiantes sobre el simulador para identificar posibles áreas de mejora. Esta retroalimentación continua permitirá ajustar y actualizar el entorno virtual según las necesidades y expectativas de los usuarios. Para una próxima versión del simulador, se podrían considerar dos mejoras clave: la integración de un módulo de simulación de defectos de soldadura [58] y la implementación de otros procesos de soldadura tales como TIG y FCAW. Estas adiciones mejorarían la capacidad del simulador para replicar escenarios del mundo real y proporcionar una evaluación más precisa y útil del progreso del estudiante.

XI. ANEXOS

XI-A. Resultados de la encuesta

La Figura 39 muestra los resultados de la encuesta de Likert realizada a los estudiantes.

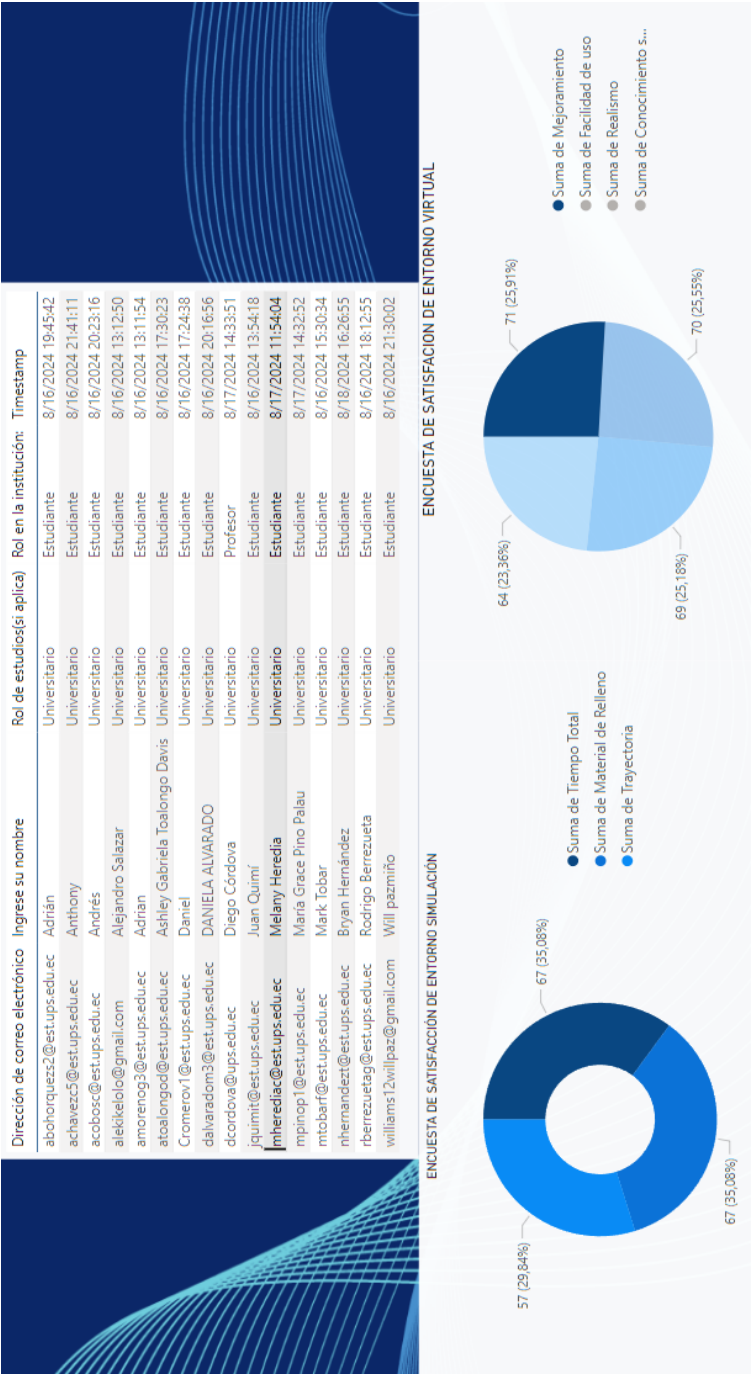


Figura 39. Resultados de la encuesta de Likert realizada a los estudiantes.

XI-B. Validación de simulación



Figura 40. Prueba de simulación a estudiantes sin conocimiento de soldadura

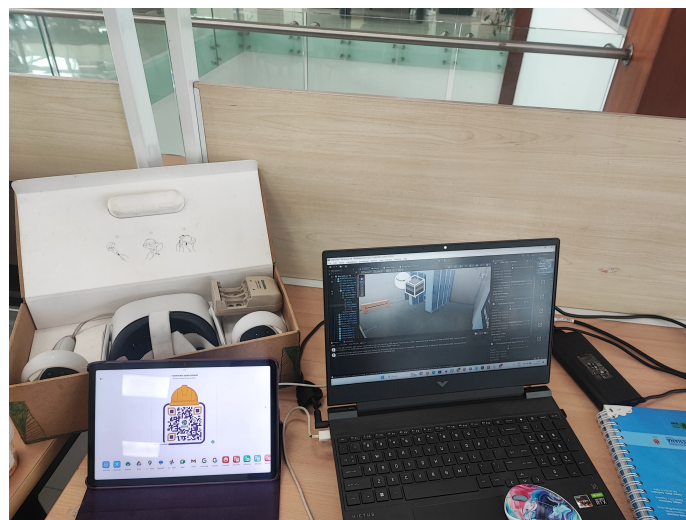


Figura 41. Toma de datos por medio de codigo QR para evaluación de satisfacción



Figura 42. Prueba de entorno virtual a estudiantes que realizan prácticas de soldadura



Figura 43. Medición de equipos utilizados en practicas para su familiarización

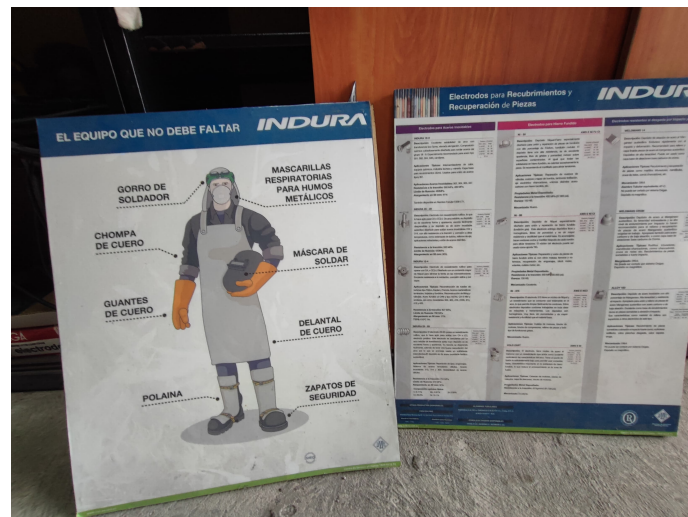


Figura 44. Puntos de información importantes a estudiantes o practicantes



Figura 45. EPP indispensable para estudiantes en sus prácticas



Figura 46. Visualización de EPP que usan estudiantes para sus prácticas



Figura 47. Toma de datos de tiempo de soldadura a estudiantes en sus practicas



Figura 48. Cordones de soldadura realizado por estudiantes en prácticas

Dirección de correo electrónico	Ingrese su nombre	Rol en la institución	El tiempo total que empleé para completar la soldadura fue adecuado	Mantuve una trayectoria recta durante el proceso de soldadura sin desviaciones significativas.	La cantidad de material de relleno utilizado en la soldadura fue adecuada para lograr una unión sólida.	¿Qué tan realista te parece el entorno virtual de soldadura?	¿Fue fácil de usar el sistema de VR para realizar soldaduras?	¿Consideras que el entorno VR mejora tus habilidades de soldadura?	Estoy familiarizado(a) con la técnica de soldadura.
amorenog3@est.ups.edu.ec	Adrián	Estudiante	5	5	4	5	5	5	4
alekkelolo@gmail.com	Alejandro Salazar	Estudiante	4	3	5	3	5	5	4
iquimil@est.ups.edu.ec	Juan Quimi	Estudiante	2	2	3	3	3	3	4
mtobarf@est.ups.edu.ec	Mark Tobar	Estudiante	4	3	5	5	5	5	5
Cromerov1@est.ups.edu.ec	Daniel	Estudiante	4	3	4	4	4	4	3
atoalongod@est.ups.edu.ec	Ashley Gabriela Toalongo Davis	Estudiante	3	2	3	5	5	5	3
rberrezuetag@est.ups.edu.ec	Rodrigo Berrezueta	Estudiante	4	3	3	5	5	5	3
abohorquez2@est.ups.edu.ec	Adrián	Estudiante	4	4	5	5	4	5	5
dalvaradom3@est.ups.edu.ec	DANIELA ALVARADO	Estudiante	5	5	5	5	5	5	5
acobosc@est.ups.edu.ec	Andrés	Estudiante	3	4	3	2	1	3	4
williams12willpaz@gmail.com	Will pazmiño	Estudiante	5	5	5	5	5	5	5
achavez5@est.ups.edu.ec	Anthony	Estudiante	5	4	4	4	4	4	3
mherediad@est.ups.edu.ec	Melany Heredia	Estudiante	5	3	4	5	5	5	5
mpinop1@est.ups.edu.ec	Yara Traces Pino	Estudiante	5	5	5	5	5	5	5
dcordova@ups.edu.ec	Diego Córdova	Profesor	4	3	4	4	4	3	5
nhernandez@est.ups.edu.ec	Bryan Hernández	Estudiante	5	4	5	4	4	4	4

Figura 49. Cronograma de Actividades Fuente: Los Autores.

REFERENCIAS

- [1] M. Jou y J. Wang, «Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills,» *Comput. Hum. Behav.*, vol. 29, págs. 433-438, 2013. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:28554473>.
- [2] A. Aspera y G. Hernández, «La realidad virtual inmersiva en ambientes inteligentes de aprendizaje. Un caso en la educación superior,» *Revista ICONO14. Revista científica de Comunicación y Tecnologías emergentes*, vol. 9, mayo de 2011. DOI: 10.7195/ri14.v9i2.42.
- [3] N.-H. Tran, N. Van Nghia y B. Van Hung, «Development of a Virtual Reality-Based System for Simulating Welding Processes,» *Applied Sciences*, vol. 13, pág. 6082, mayo de 2023. DOI: 10.3390/app13106082.
- [4] C.-Y. Huang, S.-J. Lou, Y.-M. Cheng y C.-C. Chung, «Research on teaching a welding implementation course assisted by sustainable virtual reality technology,» *Sustainability*, vol. 12, n.º 23, pág. 10044, 2020.
- [5] Y. M. Zhang, Y.-P. Yang, W. Zhang y S.-J. Na, «Advanced welding manufacturing: a brief analysis and review of challenges and solutions,» *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 142, n.º 11, pág. 110816, 2020.
- [6] C. Suárez-Guerrero, C. Lloret-Catalá y B. Mateu-Luján, «Didactics and technology. Teaching lessons from the long-term emergency remote school,» *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 27, n.º 1, 2024.
- [7] O. Lavrentieva, I. Arkhypov, O. Kuchma y A. Uchitel, «Use of simulators together with virtual and augmented reality in the system of welders' vocational training: past, present, and future,» 2020.
- [8] Y. Daineko, M. Ipalakova, D. Tsoy, Z. Bolatov, Z. Baurzhan e Y. Yelgondy, «Augmented and virtual reality for physics: Experience of Kazakhstan secondary educational institutions,» *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, n.º 5, págs. 1220-1231, 2020.
- [9] L. A. Borbor Godoy y C. A. Gavilánez Arias, «Desarrollo de un entorno virtual de máquina fresadora para prácticas de laboratorio,» B.S. thesis, 2023.
- [10] L. O. Alpala et al., «Diseño de sistemas inteligentes de realidad virtual para la monitorización de entornos en Smart Factory,» 2023.
- [11] M. M. El-Sayed, A. Shash, M Abd-Rabou y M. G. ElSherbiny, «Welding and processing of metallic materials by using friction stir technique: A review,» *Journal of Advanced Joining Processes*, vol. 3, pág. 100059, 2021.
- [12] A. A. Afriansyah, «Dissimilar metal welding using shielded metal arc welding: a review,» *Technol. Rep. Kansai Univ*, vol. 62, n.º 4, págs. 1935-1948, 2020.
- [13] K. Madavi, B. Jogi y G. Lohar, «Metal inert gas (MIG) welding process: A study of effect of welding parameters,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, págs. 690-698, 2022.
- [14] P. Kustroń, M. Korzeniowski, T. Piwowarczyk y P. Sokołowski, «Development of resistance spot welding processes of metal-plastic composites,» *Materials*, vol. 14, n.º 12, pág. 3233, 2021.
- [15] V. Patel, A. Sali, J. Hyder, M. Corliss, D. Hyder y W. Hung, «Electron beam welding of inconel 718,» *Procedia Manufacturing*, vol. 48, págs. 428-435, 2020.
- [16] M. Chludzinski, R. E. Dos Santos, C. Churiaque, M. Ortega-Iguña y J. M. Sánchez-Amaya, «Pulsed laser welding applied to metallic materials—A material approach,» *Metals*, vol. 11, n.º 4, pág. 640, 2021.
- [17] R. Hernández y J. López, «Análisis de la junta a tope en estructuras de acero,» *Revista de Soldadura y Metalurgia*, vol. 45, n.º 4, págs. 215-229, 2022.
- [18] G. P. Mayanza Balla Janneth Alexandra Tuquinga Sagñay, «Análisis del comportamiento termomecánico de la junta soldada tipo K, aplicada en la fabricación de carrocería de autobuses interprovinciales,» Tesis de mtría., ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2018.
- [19] C. A. Sinmaleza, «Diseño e implementación de un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015,» Tesis de mtría., UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO, 2021.

- [20] J. D. Loya Rivera, «Análisis tecno-económico de consumibles en los procesos de soldadura Gmaw, Saw para la fabricación de estructuras metálicas de la empresa Sedemi,» Tesis de mtría., ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2020.
- [21] F. A. Arrieta Estrella Elvert Arturo Pacheco Castellar, «Soldabilidad de aceros inoxidables y tipos de juntas,» Tesis de mtría., Institución Universitaria Tecnológica de Bolívar, 2003.
- [22] ESAB. «A Guide to 5 Basic Types of Weld Joints.» Artículo publicado en ESAB University, ESAB University. (2024), dirección: https://esab.com/pe/sam_es/esab-university/articles/a-guide-to-5-basic-types-of-weld-joints/.
- [23] F. Chen. «Types of Welding Joints.» Este artículo fue escrito por ingenieros del equipo BOYI. Fuquan Chen es un ingeniero profesional y experto técnico con 20 años de experiencia en creación rápida de prototipos, fabricación de moldes y moldeo por inyección de plástico., BOYI Prototyping. (2024), dirección: <https://es.boyiprototyping.com/sheet-metal-fabrication-guide/types-of-welding-joints/>.
- [24] A. Marcos, *Tecnología de soldadura*. Editorial Técnica, 2020.
- [25] A. Marcos, *El proceso de soldadura en la industria*. Industrias Modernas, 2020.
- [26] A. Marcos, *Características de los procesos GMAW*. Soldaduras Avanzadas, 2020.
- [27] J. M. S. SANTAMARIA, Y. M. S. Claudio, J. V. López y D. P. H. Santamaria, «Factibilidad de la soldadura TIG en ensamblado de aluminio 6063 extruido para fabricación de automóviles,» *ConcienciaDigital*, 2023. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257328832>.
- [28] O. L. Tena, «Estudio de los procesos de soldadura GTAW y SMAW en la industria naval : anláisis de casos prácticos,» 2019.
- [29] F. Osorio y R. Alfonso, en *Evaluación de la influencia de los parámetros del proceso de soldadura SMAW en la soldabilidad y el desempeño de la unión soldada del acero balístico MIL-DTL-46100E con electrodo E312-16 en la Construcción Naval /*, 2018. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:217036860>.
- [30] M. Puca y J. Pablo., «Estudio del proceso de soldadura SMAW en la fabricación de columnas armadas en estructuras metálicas en la empresa “metal mecánica Antonio Tirado” y su incidencia en las propiedades mecánicas,» 2015. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:232919664>.
- [31] R. Jiménez y R. B. Andrés, «Desarrollo y calificación de un procedimiento de soldadura en servicio de accesorio para tanque bajo diseño Api650 y requerimientos de Asme Sección IX con el proceso de soldadura Smaw,» *Ingenio Libre*, 2017. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116718297>.
- [32] E. A. M. Martinez, «Calificación del procedimiento de soldadura en materiales monel 400 de acuerdo con el código ASME sección IX,» 2014. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:194587807>.
- [33] G. Pinto y J. M. P. Francisco, «Determinación de la altura capilar óptima para un proceso de soldadura fuerte con metal de aporte BAg-1 aplicado a la soldadura indirecta de tubería de acero inoxidable AISI 304,» 2018. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128320648>.
- [34] American Petroleum Institute (API), *API Standard 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities*. American Petroleum Institute, 2021.
- [35] American Welding Society (AWS), *AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code - Steel*. American Welding Society, 2015.
- [36] Y. Castiblanco, A. Perilla, P. Velasquez y A. Santis, «Design of occupational health and safety management system based on iso 45001, for a company that manufactures and commercializes low voltage electrical boards,» *Chemical Engineering Transactions*, vol. 82, págs. 91-96, 2020.
- [37] J. F. Solano-Martos, S. Martín-Béjar, J. M. Cañero-Nieto, L. Sevilla-Hurtado et al., «Guide for the implementation of operational control procedures in underwater cutting and welding activities.,» 2023.
- [38] S. P. da Costa y N. Costa, «Industrial occupational safety: Industry 4.0 upcoming challenges,» en *Safety and Security Issues in Technical Infrastructures*, IGI Global, 2020, págs. 152-172.
- [39] N. Winkler, K. Röthke, N. Siegfried y A. Benlian, «Lose yourself in VR: exploring the effects of virtual reality on individuals' immersion,» 2020.
- [40] S. Barteit, L. Lanfermann, T. Bärnighausen, F. Neuhaus, C. Beiersmann et al., «Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: systematic review,» *JMIR serious games*, vol. 9, n.º 3, e29080, 2021.

- [41] M. Soliman, A. Pesyridis, D. Dalaymani-Zad, M. Gronfula y M. Kourmpetis, «The application of virtual reality in engineering education,» *Applied Sciences*, vol. 11, n.º 6, pág. 2879, 2021.
- [42] E. Raymer, Áine MacDermott y A. Akinbi, «Virtual reality forensics: Forensic analysis of Meta Quest 2,» *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 47, pág. 301658, 2023, ISSN: 2666-2817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2023.301658>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666281723001774>.
- [43] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm e I. Wohlgenannt, «A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda,» *Computers Education*, vol. 147, pág. 103778, 2020, ISSN: 0360-1315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519303276>.
- [44] A. Williams-Bhatti, D. Carruthers y A. S. Wilson, «SEPSIS COLLAB: A Virtual Reality Training Simulation For Sepsis Treatment,» *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, págs. 132-135, 2023. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:258453126>.
- [45] N. Nurym, R. Sambetova, M. Azybaev y N. Kerimbayev, «Virtual reality and using the unity 3D platform for Android games,» en *2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS)*, IEEE, 2020, págs. 539-544.
- [46] F. Nusrat, F. Hassan, H. Zhong y X. Wang, «How developers optimize virtual reality applications: A study of optimization commits in open source unity projects,» en *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*, IEEE, 2021, págs. 473-485.
- [47] N.-H. Tran, V.-N. Nguyen y V.-H. Bui, «Development of a Virtual Reality-Based System for Simulating Welding Processes,» *Applied Sciences*, vol. 13, n.º 10, pág. 6082, 2023.
- [48] V. Parthasarathy, A. A. Simiscuka, N. O'Connor y G.-M. Muntean, «Performance evaluation of a multi-user virtual reality platform,» en *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, IEEE, 2020, págs. 934-939.
- [49] W. Wang, «Design and implementation of welding training simulation platform based on virtual reality technology,» en *International Conference on Mechatronics Engineering and Artificial Intelligence (MEAI 2022)*, SPIE, vol. 12596, 2023, págs. 35-40.
- [50] W. H. Ju, H. C. Ryu, K. S. Lim y S.-M. Cho, «A Study on the Measuring Method of Work Parameters to Evaluate the Skill of FCAW Welding Trainee,» *Journal of Welding and Joining*, vol. 38, n.º 3, págs. 295-299, 2020.
- [51] M. Laube, M. Haslgrübler, B. Azadi, B. Anzengruber-Tánase y A. Ferscha, «Skill Level Detection in Arc Welding towards an Assistance System for Workers,» en *Proceedings of the 15th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 2022, págs. 73-82.
- [52] T. Wells y G. Miller, «The Effect of Virtual Reality Technology on Welding Skill Performance.,» *Journal of Agricultural Education*, vol. 61, n.º 1, págs. 152-171, 2020.
- [53] C. Romeva, *Diseño Concurrente*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2002. DOI: 10.5821/ebook-9788498800746.
- [54] S. Liu, P. Chen, S. Xianchong et al., «Mechanical Performance of ER70S-6 Low-Carbon Steel Fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing,» ene. de 2022, págs. 79-85. DOI: 10.3850/978-981-18-6021-8_OR-01-0075.html.
- [55] J. Smith y E. Rogers, «E6011 Welding Rod: Versatility and Performance in Various Applications,» *Welding Journal*, vol. 99, n.º 8, págs. 56-60, 2020.
- [56] M. Johnson y S. Peterson, «Properties and Applications of E7018 Electrodes in Shielded Metal Arc Welding,» *Journal of Materials Engineering*, vol. 15, n.º 4, págs. 345-350, 2019.
- [57] D. Roberts y A. Clark, «E6013 Electrodes: Ease of Use and Performance in Welding Carbon Steels,» *Industrial Welding Review*, vol. 32, n.º 2, págs. 215-220, 2021.
- [58] M. A. Escobar-Guachambala, S. M. Aquino-Arroba, E. R. Pozo-Safla, L. S. Choto-Chariguaman, G. Novillo-Andrade y M. A. Ordoñez-Viñán, «Parametrización del proceso de inyección del polipropileno en el moldeo de un lateral de asiento de autobus,» *Polo del Conocimiento*, 2018. dirección: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:197474783>.