



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**Maestría en Ciencias en Instrumentación y
Control Automático**

Entorno virtual para la enseñanza de programación de un robot
manipulador ABB IRB 4600 en nivel superior

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control
Automático**

PRESENTA

Ing. Rubén Darío Galdamez Salinas

DIRIGIDO POR

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Dr. Manuel Toledano Ayala

Índice

1. Introducción	3
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Justificación	6
1.3. Objetivos e Hipótesis	7
1.3.1. Hipótesis	7
1.3.2. Objetivo general	7
1.4. Objetivos Particulares	8
2. Fundamentacion Teorica	8
2.1. Realidad Virtual	8
2.2. Tipos de realidad virtual	9
2.3. HMD	9
2.4. Motor gráfico	10
2.5. Unity	10
2.6. Entorno virtual inmersivo	11
2.7. Perspectiva del estudiante	12
2.8. Formación basada en competencias y atributos de egreso en ingeniería .	12
2.9. Cinemática del robot	13
2.9.1. cinemática Directa	13
2.9.2. Cinemática inversa	13
2.10. XR interaccion toolkit	13
2.11. Modelado cinemático del manipulador y su implementación en Unity .	14
2.11.1. Implementación del manipulador en Unity	15
2.11.2. Obtención de parámetros geométricos a partir del modelo en Unity	15
2.11.3. Parametrización Denavit-Hartenberg del modelo	16
2.11.4. Cinemática inversa del manipulador	16
2.11.5. Correspondencia entre el modelo teórico y el modelo en Unity .	19

2.11.6. Justificación del modelo	20
2.12. XR plug in managment	20
2.13. Open VR	20
2.14. Multipass render	21
2.15. Parenting	21
2.16. Rotaciones y orientaciones en Unity	22
2.17. Canvas	22
2.18. Input system	22
2.19. Escala Likert	23
3. Metodología	24
3.1. Unity Setup	24
3.2. Funcion de cinematica inversa en unity	32
3.3. Celda en entorno VR	33
3.4. Resultados	45
4. Resultados	51
4.1. Primera pregunta	51
4.2. Segunda pregunta	53
4.3. Tercera pregunta	55
4.4. Cuarta pregunta	56
4.5. Quinta pregunta	57
4.6. Sexta pregunta	58
4.7. Cuestionario posterior a participación.	59
4.8. Primera declaración	60
4.9. Segunda declaración	62
4.10. Tercera declaración	63
4.11. Cuarta declaración	65
4.12. Quinta declaración	66

4.13. Sexta declaración	68
4.14. Séptima declaración	70
4.15. Octava declaración	71
4.16. Novena declaración	73
4.17. Décima declaración	74
5. Conclusiones	77

1. Introducción

La experiencia constituye un elemento fundamental en la formación de ingenieros, ya que permite el desarrollo de habilidades prácticas, pensamiento crítico y resolución de problemas en contextos cercanos a la realidad profesional [17, 10]. Sin embargo, la experimentación no siempre es posible debido a circunstancias como la falta de equipo, el costo de los mismos o la falta de infraestructura en instituciones educativas. Para suplir esta limitación, es necesario recurrir a herramientas de simulación.

Los estudiantes de ingeniería utilizan herramientas de simulación por computadora junto con equipos de laboratorio para desarrollar experimentos o prácticas que les ayuden a mejorar sus habilidades prácticas [2, 4]. En este contexto, la realidad virtual (VR) se define como una representación tridimensional generada por computadora que permite la interacción del usuario con entornos simulados [17].

Se espera que un futuro ingeniero no solo se forme en el uso de herramientas y tecnologías, sino que también tenga la capacidad de enfrentarse a los problemas que se presentan en el campo profesional. Para ello, es fundamental complementar la formación teórica con experiencias prácticas que fortalezcan la toma de decisiones y la resolución de problemas [10].

La realidad virtual es una tecnología que permite simular entornos físicos mediante representaciones tridimensionales generadas por computadora, facilitando la interacción del usuario a través de dispositivos especializados [17].

La realidad virtual ha ganado relevancia en diferentes áreas como la arquitectura, la ingeniería, la construcción, la industria, entre otras, gracias a su capacidad de mostrar entornos tridimensionales inmersivos al usuario. Los avances recientes en el procesamiento gráfico y en los dispositivos de realidad virtual han facilitado su adopción en entornos educativos e industriales [17, 4]. Con una adecuada integración de la tecnología de realidad virtual en el trabajo de laboratorio, se podrían obtener mejoras en el aprendizaje.

Este trabajo propone el diseño de un entorno virtual inmersivo que recree las condiciones de una celda de manufactura robótica, con el objetivo de utilizarlo como herramienta didáctica en la enseñanza de programación de robots industriales.

1.1. Descripción del problema

A partir del año 2020, diversas instituciones educativas enfrentaron interrupciones en sus actividades presenciales, lo que evidenció la necesidad de implementar alternativas tecnológicas para la enseñanza práctica [11]. Esta situación puso de manifiesto una problemática importante: cómo garantizar el aprendizaje práctico en contextos donde no es posible acceder físicamente a laboratorios o equipos especializados [2].

Además, muchas instituciones de educación superior carecen de la infraestructura necesaria para ofrecer experiencias prácticas adecuadas en la formación de ingenieros. Esta limitación impacta directamente en el desarrollo de competencias técnicas y en la preparación de los estudiantes para el entorno laboral.

En la actualidad, es fundamental capacitar a los estudiantes en competencias alineadas con las demandas tecnológicas del mercado laboral. La falta de experiencia práctica y de habilidades técnicas representa una de las principales barreras para la inserción laboral de los egresados. Diversos estudios señalan que existe una brecha significativa entre las competencias adquiridas en la formación académica y las requeridas en la industria [10, 4].

Ante este contexto, resulta necesario promover el uso de tecnologías digitales, como

la realidad virtual, que permitan desarrollar competencias prácticas en entornos simulados, reduciendo la dependencia de infraestructura física y ampliando las oportunidades de aprendizaje.

Ante esta situación, se busca promover el uso de tecnologías digitales para desarrollar competencias y conocimientos avanzados.

1.2. Justificación

La experiencia es un recurso efectivo para aprender, ya que ofrece un conocimiento detallado de diversos procesos y situaciones. Sin embargo, realizar experimentos no siempre es factible por factores como la carencia de equipo, los costos elevados o la falta de infraestructura en muchas instituciones educativas. Para compensar estas limitaciones, es esencial recurrir a simulaciones como alternativa. El aprendizaje práctico es importante en el proceso de formación de un ingeniero, hoy en día el distanciamiento social a complicado esta importante parte de la educación, aunque los medios digitales ofrecen una manera de enseñanza a distancia, está limitada a la enseñanza teórica, siendo la enseñanza practica su punto débil.

En su formación académica como ingenieros, usualmente los estudiantes usan herramientas de simulación en computadoras a la par de equipos de laboratorio, para desarrollar experimentos o prácticas que ayudan a mejorar sus habilidades prácticas [19].

La robótica es una rama de la ingeniería que requiere de practica, esto se traduce en perseverancia, a través de la prueba y el error se logran adquirir conceptos y experiencias fundamentales de este campo para los estudiantes.

Los experimentos virtuales se desarrollan a partir de las tecnologías computacionales así como también de las tecnologías de realidad virtual, con esto se pretende mejorar el método de enseñanza a distancia.

Los estudiantes deben entrenarse en habilidades prácticas con el fin de obtener experiencia para la manipulación de equipos físicos o también tener experiencia en diferentes procesos industriales. La realidad virtual puede definirse como una representación virtual completa en 3 dimensiones del mundo real o de objetos en el [23].

La realidad virtual ha ido tomando cada vez más relevancia en diferentes áreas como la arquitectura, la ingeniería, la construcción, la industria, entre otras. Gracias a su capacidad de mostrar entornos tridimensionales inmersivos al usuario en un entorno virtual. El reciente avance en procesamiento gráfico y equipo VR contribuye a realizar un mayor número de pruebas de esta tecnología en la industria [26].

Con una integración apropiada de la tecnología de realidad virtual con el trabajo de laboratorio se podrían obtener mejoras en el aprendizaje.

Adicionalmente, el presente trabajo se alinea con los lineamientos establecidos por organismos de acreditación como CACEI, los cuales promueven una formación basada en competencias y atributos de egreso. En particular, la enseñanza de la robótica mediante entornos virtuales contribuye al desarrollo de habilidades técnicas, analíticas y tecnológicas, fundamentales en la formación de ingenieros en automatización [3].

El uso de un entorno virtual inmersivo permite que los estudiantes no solo comprendan los conceptos teóricos de la cinemática de manipuladores, sino que también los apliquen en un contexto interactivo, fortaleciendo atributos como la resolución de problemas (AE1) y el uso de tecnologías emergentes (AE2). Asimismo, al reducir los riesgos asociados al uso de equipos reales, se fomenta una formación orientada a la seguridad y al uso responsable de los recursos (AE4). Por lo tanto, la implementación de esta herramienta no solo responde a una necesidad tecnológica, sino también a un enfoque educativo alineado con estándares de calidad en la enseñanza de la ingeniería.

1.3. Objetivos e Hipótesis

1.3.1. Hipótesis

Incorporar un entorno virtual inmersivo para la enseñanza de la programación de un robot de 6 grados de libertad, utilizando realidad virtual, el cual promoverá un aprendizaje significativo en los estudiantes al comparar sus percepciones entre el uso de un robot real y uno virtual.

1.3.2. Objetivo general

Diseñar un entorno virtual inmersivo que simule las condiciones de una celda robotizada de manufactura, utilizando Unity y Oculus Quest, para que funcione como una herramienta didáctica en la enseñanza de la programación de robots manipuladores.

1.4. Objetivos Particulares

1. Diseñar una práctica en el entorno virtual que simule el proceso de pick and place, orientada a enseñar los conceptos fundamentales de la programación de robots manipuladores.
2. Instruir a los estudiantes en el uso básico del manipulador de un robot real, complementando así la experiencia práctica con la teoría.
3. Evaluar la efectividad del entorno virtual inmersivo mediante encuestas que utilicen la escala de Likert para medir la percepción de los estudiantes sobre su potencial como herramienta de enseñanza.
4. Dividir el grupo de estudiantes en dos secciones: una que utilizará primero el entorno virtual y otra que comenzará con el robot real, para comparar sus experiencias de aprendizaje.
5. Identificar fallos y áreas de mejora en el entorno virtual a partir de las percepciones recogidas en las encuestas.
6. Analizar los resultados obtenidos mediante la escala de Likert, comparando las percepciones de los estudiantes entre el entorno virtual inmersivo y el método de enseñanza tradicional en la programación de robots manipuladores para estudiantes de nivel superior.

2. Fundamentacion Teorica

2.1. Realidad Virtual

La realidad virtual (VR por sus siglas en inglés) es una tecnología que permite simular entornos físicos mediante representaciones tridimensionales generadas por computadora, en las cuales el usuario puede interactuar a través de dispositivos especializados.

Esta interacción permite la creación de experiencias inmersivas que facilitan la comprensión de entornos y procesos complejos [17, 9].

2.2. Tipos de realidad virtual

La realidad virtual se clasifica de diferentes maneras dependiendo de su aplicación y del nivel de interacción que ofrece al usuario.

La realidad virtual inmersiva proporciona un amplio campo de visión mediante el uso de dispositivos como los HMD (Head Mounted Display), los cuales permiten al usuario percibir un entorno virtual como si estuviera dentro de él. Este tipo de realidad virtual genera altos niveles de inmersión al integrar estímulos visuales y, en algunos casos, auditivos y de movimiento [17, 13].

La realidad virtual no inmersiva corresponde a entornos simulados que se presentan a través de dispositivos convencionales como computadoras. En este caso, la interacción se realiza mediante periféricos como teclado, ratón o controladores, lo que limita el nivel de inmersión en comparación con los sistemas inmersivos [17].

La realidad virtual mixta combina elementos del entorno real y virtual, permitiendo al usuario interactuar simultáneamente con ambos. Este tipo de sistemas amplía las posibilidades de interacción al integrar objetos virtuales dentro del entorno físico, favoreciendo aplicaciones educativas e industriales [9, 21].

2.3. HMD

Los *Head Mounted Display* (HMD) son dispositivos que se colocan en la cabeza del usuario y permiten visualizar imágenes generadas por computadora en tiempo real, creando la percepción de estar inmerso en un entorno virtual. Estos dispositivos integran pantallas cercanas a los ojos, sensores de movimiento y, en algunos casos, sistemas de seguimiento que permiten adaptar la escena virtual en función de la orientación y posición del usuario [17].

El uso de HMD es fundamental en sistemas de realidad virtual inmersiva, ya que proporciona un alto grado de presencia y facilita la interacción natural con entornos tridimensionales simulados [13].

2.4. Motor gráfico

Un motor gráfico es un conjunto de herramientas de software diseñadas para la creación y renderizado de entornos tridimensionales en tiempo real. Estos sistemas permiten gestionar aspectos como la representación visual, la física, la iluminación, la interacción y la animación de objetos dentro de un entorno virtual.

En aplicaciones de realidad virtual, los motores gráficos juegan un papel fundamental, ya que permiten generar entornos interactivos y dinámicos que responden a las acciones del usuario en tiempo real. Además, facilitan el desarrollo de simulaciones complejas al integrar diferentes componentes como sistemas de colisión, manejo de entradas y control de cámaras [17, 13].

El uso de motores gráficos en el desarrollo de entornos virtuales ha permitido ampliar las posibilidades en áreas como la educación, la simulación industrial y el entrenamiento, al ofrecer herramientas que simplifican la creación de escenarios inmersivos y altamente interactivos [24].

2.5. Unity

Unity es un motor gráfico multiplataforma ampliamente utilizado para el desarrollo de aplicaciones interactivas en dos y tres dimensiones, incluyendo videojuegos, simuladores y entornos de realidad virtual. Su arquitectura permite integrar elementos como gráficos, físicas, interfaces de usuario y sistemas de interacción en un mismo entorno de desarrollo.

En el contexto de la realidad virtual, Unity ofrece herramientas y librerías que facilitan la implementación de experiencias inmersivas, incluyendo soporte para dispositivos HMD, sistemas de seguimiento y controladores de entrada. Esto permite desarrollar

aplicaciones que responden en tiempo real a las acciones del usuario, favoreciendo la creación de entornos interactivos orientados al aprendizaje [17, 7].

El uso de Unity en aplicaciones educativas ha crecido en los últimos años debido a su flexibilidad, facilidad de uso y compatibilidad con diferentes plataformas, lo que lo convierte en una herramienta adecuada para el desarrollo de simulaciones y entornos virtuales en ingeniería [24].

2.6. Entorno virtual inmersivo

Un entorno virtual puede ser definido como una simulación tridimensional generada por computadora de un entorno real o imaginario, en la cual los usuarios pueden interactuar con objetos digitales y recibir retroalimentación en tiempo real [17, 13]. Estos entornos pueden ser diseñados para el uso individual o colaborativo, permitiendo la interacción simultánea entre múltiples usuarios en un mismo espacio virtual.

En el caso de los entornos colaborativos, se hace referencia a espacios virtuales compartidos comúnmente asociados con el concepto de metaverso, donde los usuarios pueden comunicarse, interactuar y desarrollar actividades conjuntas dentro de un mismo entorno digital [15].

El objetivo de un entorno virtual inmersivo es proporcionar al usuario una experiencia de interacción natural e intuitiva, en la que pueda manipular elementos del entorno y participar activamente en las tareas propuestas. Este tipo de interacción favorece el aprendizaje activo y la comprensión de conceptos complejos, especialmente en aplicaciones educativas [13].

En el presente trabajo, se busca que el entorno virtual inmersivo esté orientado a la educación, permitiendo a los alumnos aprender conceptos de programación de un robot ABB IRB 4600 sin la necesidad de una interacción física directa, lo cual representa una alternativa accesible y segura frente a las limitaciones de infraestructura en laboratorios tradicionales.

2.7. Perspectiva del estudiante

El uso de esta tecnología tiene la virtud de ser de gran interés para los estudiantes, el uso de la realidad virtual puede hacer mas comprensible y efectiva la forma en la que se le presentan diferentes temas al estudiantes, captando su interés y atención.

2.8. Formación basada en competencias y atributos de egreso en ingeniería

En los últimos años, la educación en ingeniería ha evolucionado hacia modelos basados en competencias, donde el enfoque principal no se centra únicamente en la adquisición de conocimientos teóricos, sino en el desarrollo de habilidades y capacidades que permitan a los estudiantes desempeñarse eficazmente en entornos profesionales complejos.

Organismos de acreditación como el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) establecen un conjunto de atributos de egreso que los programas educativos deben cumplir, los cuales incluyen la capacidad de aplicar conocimientos técnicos, utilizar tecnologías emergentes, trabajar en equipo y actuar con responsabilidad social y ética [3].

En este contexto, diversas investigaciones han señalado la importancia de integrar tecnologías inmersivas, como la realidad virtual, en la enseñanza de la ingeniería, ya que permiten desarrollar competencias prácticas en entornos controlados, seguros y altamente interactivos. Estas tecnologías facilitan la comprensión de conceptos complejos y promueven el aprendizaje activo, alineándose con los atributos de egreso definidos por organismos acreditadores [16, 12].

Particularmente en el área de la robótica, el uso de entornos virtuales permite a los estudiantes interactuar con modelos de manipuladores, comprender su comportamiento cinemático y desarrollar habilidades de programación sin las limitaciones asociadas al acceso a equipos físicos. Esto contribuye directamente al desarrollo de competencias

técnicas y al uso de herramientas tecnológicas avanzadas en la formación del ingeniero.

2.9. Cinemática del robot

La cinemática se encarga de estudiar el movimiento de este con respecto a un eje de referencia. Así la cinemática se encarga de estudiar la descripción analítica del movimiento espacial del robot con una función de tiempo. El análisis cinemático de cualquier manipulador robótico se puede hacer por directa (hacia adelante) e inversa análisis cinemático

2.9.1. cinemática Directa

El propósito de la cinemática directa es encontrar la posición y postura del efector final que en relación con el sistema de coordenadas.

2.9.2. Cinemática inversa

La cinemática inversa se ocupa de lo opuesto a la cinemática directa. En lugar de determinar la posición y orientación del efector final en términos de la articulación variables, las variables conjuntas se resuelven en términos de la posición y orientación del efector final. La derivación del problema cinemático inverso introduce más problemas de complejidad que la cinemática directa. El problema es encontrar una solución, o posiblemente múltiples soluciones de la ecuación

2.10. XR interaccion toolkit

El paquete XR Interaction Toolkit es un sistema de interacción de alto nivel basado en componentes. Proporciona un marco que hace que las interacciones 3D y de interfaz de usuario estén disponibles desde los eventos de entrada de Unity. El núcleo de este sistema es un conjunto de componentes básicos Interactor e Interactable, y un Interaction Manager que une estos dos tipos de componentes. También contiene componentes

auxiliares que puede usar para ampliar la funcionalidad para dibujar elementos visuales y conectar sus propios eventos de interacción. XR Interaction Toolkit contiene un conjunto de componentes que admiten las siguientes tareas de interacción:

- Entrada de controlador XR multiplataforma
- Pasar el objeto básico, seleccionar y agarrar
- Retroalimentación háptica a través de los controladores XR
- Comentarios visuales (reproducción de tintes/líneas) para indicar interacciones posibles y activas
- Interacción básica de la interfaz de usuario del lienzo con los controladores XR
- Una plataforma de cámara VR para manejar experiencias VR estacionarias y a escala de sala

2.11. Modelado cinemático del manipulador y su implementación en Unity

El manipulador ABB IRB 4600-40/2.55 es un robot industrial de seis grados de libertad con estructura serial antropomórfica y una configuración de muñeca esférica en sus tres últimas articulaciones. Esta arquitectura permite desacoplar el problema cinemático en dos partes fundamentales: el posicionamiento del centro de la muñeca y la orientación del efector final.

Desde el punto de vista teórico, este tipo de manipuladores puede representarse mediante la parametrización Denavit-Hartenberg (DH), la cual describe la relación geométrica entre eslabones consecutivos a través de transformaciones homogéneas. En esta formulación, la cinemática directa del robot se obtiene como el producto de matrices de transformación, donde cada matriz representa la relación entre sistemas de referencia consecutivos.

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (1)$$

2.11.1. Implementación del manipulador en Unity

El modelo del manipulador fue implementado en el entorno Unity mediante una jerarquía de objetos (GameObjects), donde cada eslabón está representado por un nodo cuya transformación local, compuesta por posición y rotación, se define respecto a su eslabón padre. Esta estructura jerárquica permite describir el movimiento del robot como una cadena de transformaciones rígidas.

Desde un punto de vista matemático, cada transformación local en Unity está compuesta por una rotación y una traslación, lo cual es equivalente a una transformación homogénea. Por lo tanto, la composición de transformaciones locales en la jerarquía del modelo reproduce directamente la cadena cinemática del manipulador.

En particular, cada articulación del robot se implementa como una rotación alrededor de un eje local específico. Estos ejes corresponden a los ejes articulares del manipulador, lo que permite establecer una correspondencia directa entre el modelo implementado y la formulación cinemática teórica.

2.11.2. Obtención de parámetros geométricos a partir del modelo en Unity

Los parámetros geométricos del manipulador se obtuvieron a partir de las posiciones de los pivotes de las articulaciones en el modelo de Unity, los cuales representan los ejes reales de rotación del sistema. A partir de estas mediciones se definieron las distancias principales del manipulador:

$$d_1 \approx 0.33 \text{ m}, \quad d_2 \approx 0.77 \text{ m}, \quad d_3 \approx 0.83 \text{ m}, \quad d_6 \approx 0.80 \text{ m} \quad (2)$$

Estos parámetros corresponden, respectivamente, a la altura de la base, la longitud del brazo, la longitud del antebrazo y la distancia desde el centro de la muñeca hasta el efector final.

2.11.3. Parametrización Denavit-Hartenberg del modelo

Con base en la estructura del manipulador, se definió una parametrización Denavit-Hartenberg equivalente. Para ello, se redefinieron los sistemas de referencia de cada articulación de manera que el eje de rotación coincidiera con el eje z_i , permitiendo aplicar la formulación estándar.

La tabla DH del manipulador se define como:

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	d_1	0	$\frac{\pi}{2}$
2	q_2	0	a_2	0
3	q_3	0	a_3	0
4	q_4	0	0	$\frac{\pi}{2}$
5	q_5	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
6	q_6	d_6	0	0

Tabla 1: Parámetros Denavit-Hartenberg del manipulador obtenidos a partir del modelo en Unity.

Esta parametrización es consistente con la estructura cinemática del modelo en Unity, ya que conserva la disposición de ejes y la secuencia de articulaciones.

2.11.4. Cinemática inversa del manipulador

El problema de la cinemática inversa consiste en determinar los valores articulares necesarios para alcanzar una pose deseada del efector final:

$${}^0T_6 = \begin{bmatrix} R_{06} & p_{06} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Aprovechando la configuración de muñeca esférica, se calcula primero el centro de la muñeca:

$$p_w = p_{06} - d_6 R_{06} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Si se define:

$$p_w = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} \quad (5)$$

entonces las primeras tres articulaciones se obtienen como:

$$q_1 = \text{atan2}(y_w, x_w) \quad (6)$$

$$r = \sqrt{x_w^2 + y_w^2} \quad (7)$$

$$s = z_w - d_1 \quad (8)$$

$$C_3 = \frac{r^2 + s^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3} \quad (9)$$

$$S_3 = \pm \sqrt{1 - C_3^2} \quad (10)$$

$$q_3 = \text{atan2}(S_3, C_3) \quad (11)$$

$$q_2 = \text{atan2}(s, r) - \text{atan2}(a_3 S_3, a_2 + a_3 C_3) \quad (12)$$

Una vez determinadas estas tres articulaciones, se obtiene la orientación del brazo

mediante:

$$R_{03} = R_z(q_1)R_y(q_2 + q_3) \quad (13)$$

Las matrices de rotación correspondientes son:

$$R_z(q_1) = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$R_y(q_2 + q_3) = \begin{bmatrix} \cos(q_2 + q_3) & 0 & \sin(q_2 + q_3) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(q_2 + q_3) & 0 & \cos(q_2 + q_3) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Por lo tanto, la orientación del brazo puede expresarse como:

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \cos q_1 \cos(q_2 + q_3) & -\sin q_1 & \cos q_1 \sin(q_2 + q_3) \\ \sin q_1 \cos(q_2 + q_3) & \cos q_1 & \sin q_1 \sin(q_2 + q_3) \\ -\sin(q_2 + q_3) & 0 & \cos(q_2 + q_3) \end{bmatrix} \quad (16)$$

La orientación de la muñeca se obtiene mediante:

$$R_{36} = R_{03}^T R_{06} \quad (17)$$

y los ángulos restantes se calculan como:

$$q_5 = \text{atan2} \left(\sqrt{R_{36}(1, 3)^2 + R_{36}(2, 3)^2}, R_{36}(3, 3) \right) \quad (18)$$

$$q_4 = \text{atan2}(R_{36}(2, 3), R_{36}(1, 3)) \quad (19)$$

$$q_6 = \text{atan2}(R_{36}(3, 2), -R_{36}(3, 1)) \quad (20)$$

Este procedimiento permite obtener una solución analítica de la cinemática inversa del manipulador.

2.11.5. Correspondencia entre el modelo teórico y el modelo en Unity

La jerarquía de transformaciones utilizada en Unity puede interpretarse como una implementación computacional de la cadena de transformaciones homogéneas del manipulador. Cada articulación define un sistema de referencia local cuya pose depende de la transformación del eslabón padre, reproduciendo el mismo principio de composición secuencial empleado en la cinemática clásica.

Desde esta perspectiva, la estructura jerárquica implementada en Unity no solo constituye una representación gráfica del robot, sino también una representación matemáticamente consistente de su cadena cinemática. Cada rotación local aplicada en una articulación corresponde a una variable articular del modelo teórico, mientras que cada posición relativa entre pivotes representa una separación geométrica entre ejes consecutivos.

Adicionalmente, la fidelidad del modelo implementado se entiende desde una perspectiva cinemática y no exclusivamente geométrica. Esto implica que el modelo conserva el número de grados de libertad, la naturaleza de las articulaciones, la disposición de los ejes y las relaciones geométricas fundamentales entre eslabones, sin requerir una réplica exacta de cada detalle constructivo del robot real.

Es importante destacar que la parametrización Denavit-Hartenberg utilizada corresponde a una representación cinemática equivalente del manipulador. En contraste, el modelo implementado en Unity conserva la disposición geométrica específica de los pivotes y las transformaciones locales del ensamblaje virtual. Por tanto, ambos modelos no son idénticos en su formulación, pero sí equivalentes en términos de estructura cinemática y comportamiento global del manipulador.

2.11.6. Justificación del modelo

En consecuencia, el modelo desarrollado en Unity puede considerarse una representación cinemáticamente consistente del manipulador real, ya que implementa la misma estructura de transformaciones rígidas descrita por la formulación teórica. Esta correspondencia permite integrar de manera coherente el análisis matemático con la simulación, facilitando la validación de algoritmos de cinemática directa e inversa dentro de un entorno visual e interactivo.

Asimismo, la obtención de los parámetros geométricos directamente del modelo en Unity permitió que el análisis cinemático se apoyara en la misma estructura utilizada durante la simulación. Esto fortalece la consistencia metodológica del trabajo, ya que evita discrepancias entre el modelo matemático y el modelo visual implementado.

Por lo tanto, el uso combinado del robot real como referencia conceptual, del modelo en Unity como representación geométrica y del modelo cinemático equivalente como herramienta analítica proporciona una base sólida para el estudio del manipulador dentro del alcance del presente trabajo.

2.12. XR plug in managment

Este paquete es usado para la administración de complementos XR para ayudar a optimizar la administración del complemento XR.

2.13. Open VR

El propósito de este paquete es proporcionar renderizado de OpenVR a Unity XR. Este paquete proporciona las bibliotecas sdk necesarias para que los usuarios creen aplicaciones que funcionen con OpenVR. El complemento OpenVR XR te permite renderizar en los principales dispositivos de realidad virtual a través de una interfaz. Ofrece soporte para: HTC Vive, HTC Vive Cosmos, Oculus Rift, Oculus Rift S, Oculus Quest (Link), Windows Mixed Reality y Valve Index. Se admiten otros dispositivos compati-

bles con SteamVR, aunque es posible que tengan funciones imprecisas o incompletas.

2.14. Multipass render

Al usar esta función el visor renderiza la imagen del entorno virtual dos veces una para cada ojo, esto puede significar una mayor carga gráfica para el visor, sin embargo mejora la calidad de la experiencia de inmersión del usuario.

2.15. Parenting

En Unity se usa el concepto de *Parent* cuando se crea un grupo de objetos, el objeto superior se denomina “objeto principal”, y todos los objetos agrupados debajo se denominan “objetos secundarios” en diferentes literaturas también son nombrados “hijos”. También puede crear objetos padre-hijo anidados (llamados “descendientes” del objeto padre de nivel superior) como se observa en la Figura 1 .



Figura 1: Jerarquías en Unity.

Cada objeto en una Escena tiene una Transformación. Se utiliza para almacenar y manipular la posición, rotación y escala del objeto. Cada *Transform* puede tener un

padre, lo que le permite aplicar posición, rotación y escala jerárquicamente. Esta es la jerarquía que se ve en el panel Jerarquía. Cambiar el padre modificará la posición, la escala y la rotación relativas a los padres, pero mantendrá la misma posición, rotación y escala en el espacio mundial.

2.16. Rotaciones y orientaciones en Unity

En Unity, puede usar ángulos de Euler y cuaterniones para representar rotaciones y orientación. Estas representaciones son equivalentes pero tienen diferentes usos y limitaciones. Por lo general, cuando se giran objetos en la escena utilizando el componente *Transform*.

2.17. Canvas

El *Canvas* es el área en la que deben estar todos los elementos de la interfaz de usuario. Todos los elementos de la interfaz de usuario deben ser elementos secundarios de dicho *Canvas*. La creación de un nuevo elemento de IU, como una imagen mediante el menú *GameObject > IU > Imagen*, crea automáticamente un *Canvas*, si aún no hay un *Canvas* en la escena. El elemento de la interfaz de usuario se crea como un elemento secundario de este *Canvas*. El área del *Canvas* se muestra como un rectángulo en la vista de escena. Esto facilita la colocación de elementos de la interfaz de usuario sin necesidad de tener la Vista del juego visible en todo momento.

2.18. Input system

Las plataformas XR tienen una gran variedad de funciones de entrada que se puede aprovechar cuando se diseñan interacciones con los usuarios. Su aplicación puede usar datos específicos que hacen referencia a posiciones, rotaciones, toque, botones, joysticks y sensores de dedos. Sin embargo, el acceso a estas funciones de entrada puede variar mucho entre plataformas. Por ejemplo, hay pequeñas diferencias entre Vive y Oculus

Rift, pero una plataforma de escritorio habilitada para VR y una plataforma móvil como Daydream difieren mucho más. Unity proporciona una estructura de *C#* llamada *InputFeatureUsage*, que define un conjunto estándar de controles de dispositivos físicos (como botones y disparadores) para acceder a la *input* del usuario en cualquier plataforma. Estos le ayudan a identificar los tipos de entrada por nombre. Cada *InputFeatureUsage* corresponde a una acción o tipo de entrada común. Por ejemplo, Unity define el *InputFeatureUsage* llamado disparador como una entrada de un solo eje que controla el dedo índice, independientemente de qué XR plataforma que utiliza. Se puede usar *InputFeatureUsage* para obtener el estado de activación usando su nombre, por lo que no se necesita configurar un eje (o un botón en algunas plataformas XR) para el sistema Unity Input convencional.

2.19. Escala Likert

Una de las principales ventajas de la escala de Likert es su facilidad de aplicación, lo que facilita tanto la administración del cuestionario como la comprensión de las instrucciones por parte de los estudiantes. Además, esta escala proporciona una forma flexible de evaluar diversas actitudes y percepciones, lo que la convierte en una herramienta invaluable para los investigadores. Al convertir las opiniones subjetivas en datos cuantitativos, la escala de Likert permite realizar análisis estadísticos que pueden revelar patrones y tendencias en las respuestas de los participantes, lo que es crucial para evaluar la efectividad del entorno virtual inmersivo en el aprendizaje [5].

En el contexto de esta investigación, se utilizará la escala de Likert para medir la percepción de los estudiantes sobre el potencial del entorno virtual inmersivo como herramienta de enseñanza, en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza. A través de encuestas estructuradas, se buscará evaluar en qué medida los estudiantes consideran que la realidad virtual mejora su aprendizaje y les ayuda a desarrollar habilidades en la programación de robots manipuladores, proporcionando así información valiosa para el análisis de la efectividad de la enseñanza virtual.

3. Metodología

3.1. Unity Setup

A continuación se muestra el proceso que se siguió para el correcto funcionamiento del HMD oculus Quest 2 con Unity, lo primero fue descargar los módulos correspondientes en Unity para su funcionamiento, en la siguiente Figura 2 se muestra los módulos que se descargaron.

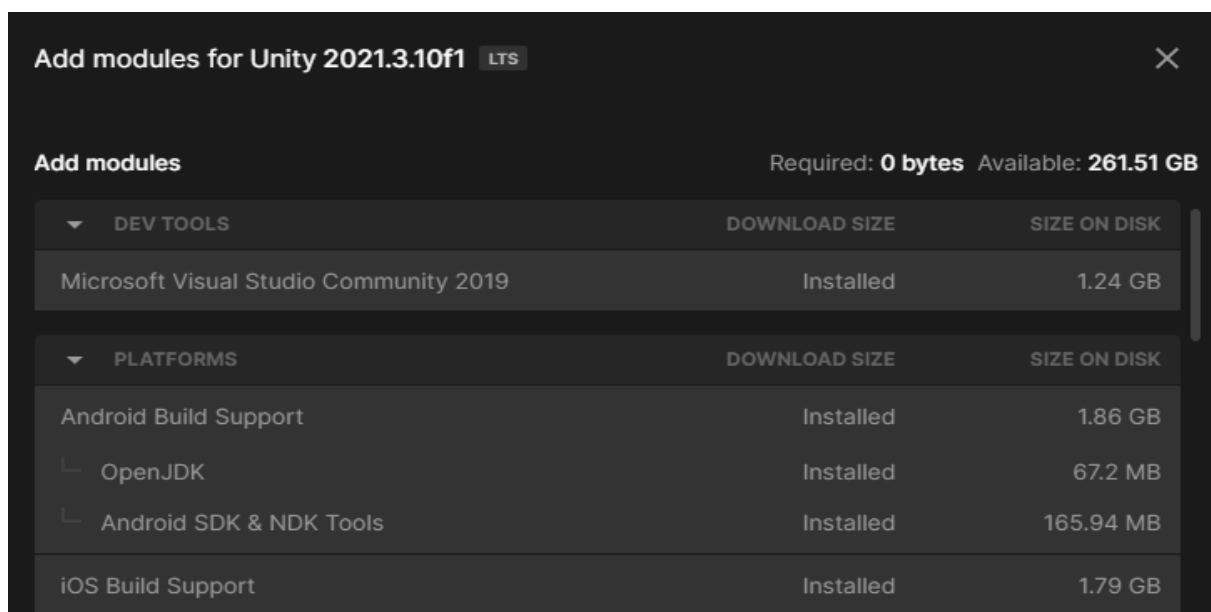


Figura 2: Módulos de Unity.

Como se muestra en la Figura 2, el modulo principal fue Android, esto debido a que el visor VR es un dispositivo con sistema operativo Android, por lo que necesitamos las herramientas de desarrollo que provee Unity para este proyecto. Posteriormente se descarga e instala *XR Plug-in Managment*. Al instalar el paquete este nos dará la opción de elegir los *Plug-in* con los que se desee trabajar como se muestra en la Figura 3, en este caso se opto por trabajar con *OpenXR* ya que este *Plug-in* busca estandarizar el sistema de entradas de los diferentes dispositivos VR, haciendo mas fácil el desarrollo para diferentes plataformas.

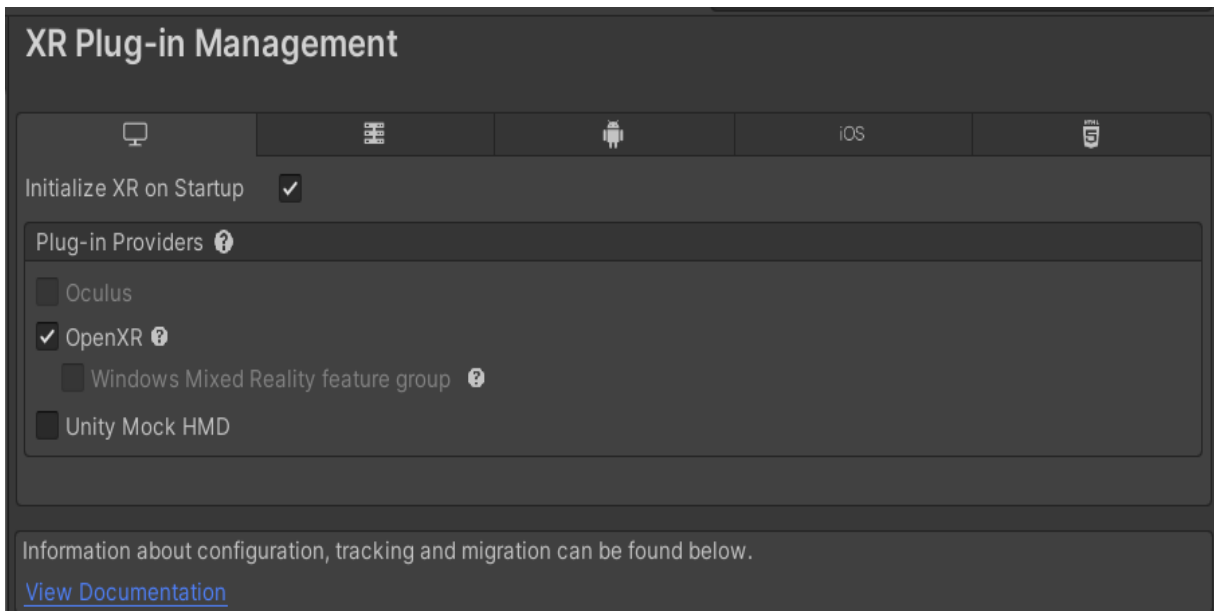


Figura 3: Plug-in Managment

Posterior a la instalación de del *Plug-in* se procede a elegir el perfil de interacción, esto se refiere a el dispositivo VR que se utilizara, como se muestra en la Figura 4 se selecciono *Oculus toch controller* el cual es el dispositivo en el se realizo esta implementación.

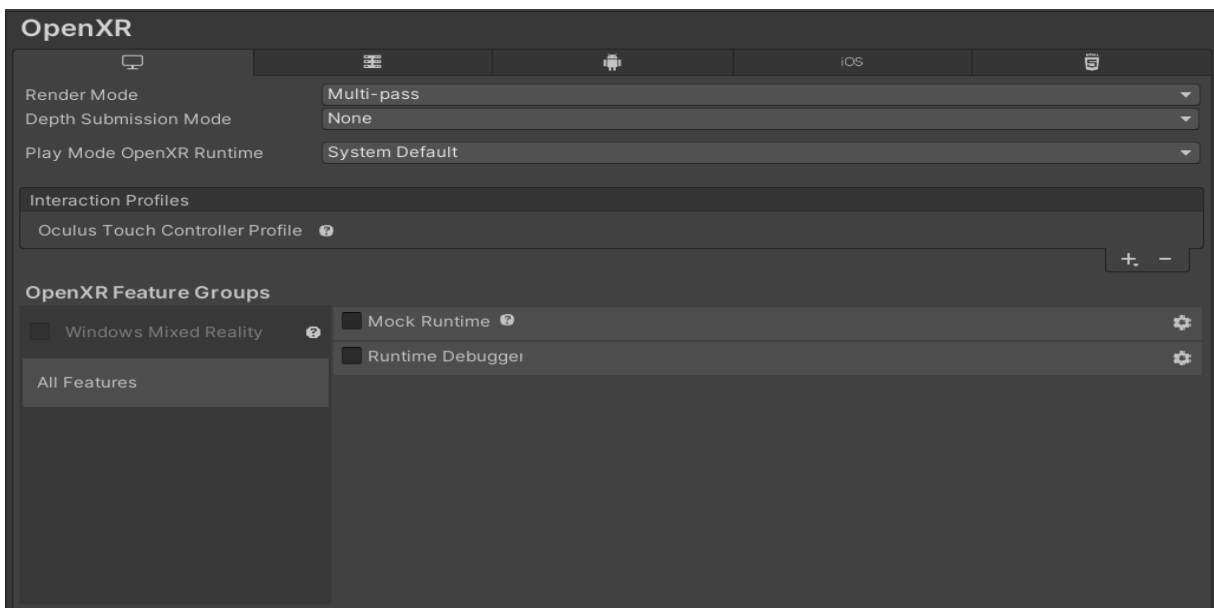


Figura 4: OpenXR

Es importante señalar que Unity usando *OpenXR* te permite desarrollar para diferentes dispositivos como los que se muestran en la siguiente Figura 5, permitiendo que se puedan hacer desarrollos similares incluso si no se cuenta con el mismo HMD.

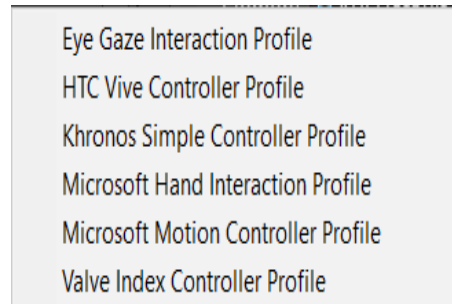


Figura 5: Interaction profiles

En este mismo apartado es importante señalar que se debe configurar el modo de renderizado a *Multi-pass* esto debido a que en pruebas se observó que en ciertos escenarios solamente se renderizaba para un solo ojo en el HMD, esto se arregló cambiando el modo de renderizado.

Posteriormente regresamos a la ventana de *XR Plug-in Management* donde se seleccionó el *Plug-in* para el dispositivo que estemos usando, en este caso *Oculus*, si el dispositivo no es un *Oculus* se recomienda el uso de *OpenXR*. Este apartado es para aplicaciones que se ejecuten en el dispositivo VR sin necesidad de una computadora.

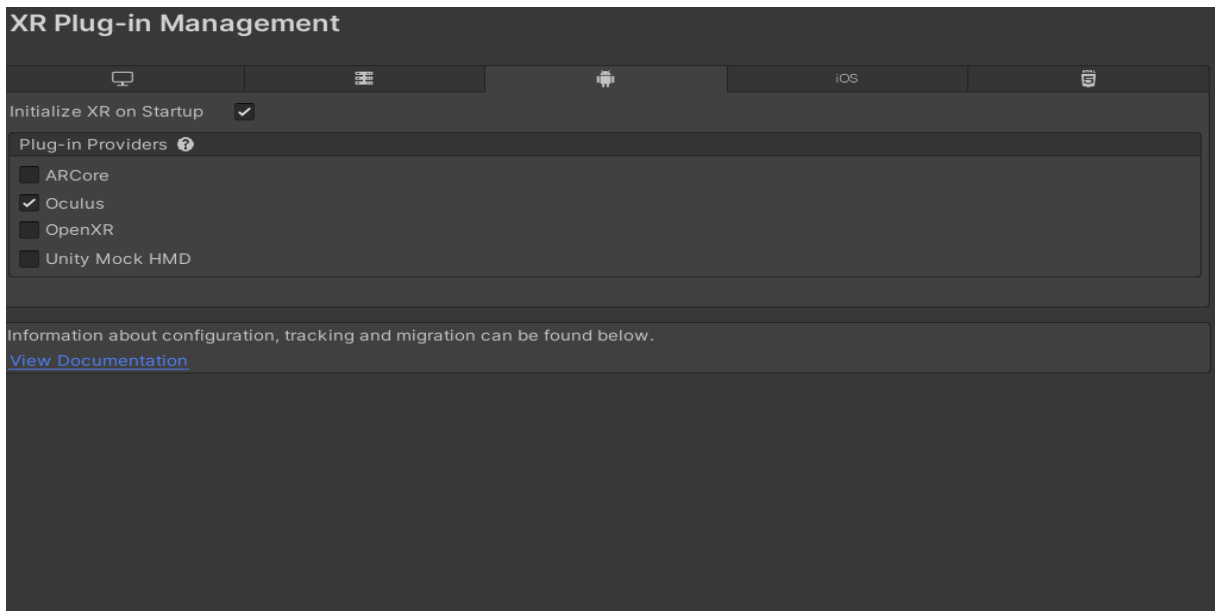


Figura 6: Ventana de *XR Plug-in Management*.

En este punto de la implementación *Unity* es capaz de comunicarse con el Headset, pero el Headset no es capaz de comunicarse con *Unity*, este no es capaz de leer las entradas que esta mandando el usuario vía el dispositivo VR, así que procederemos a instalar los paquetes necesarios para lograr la compatibilidad, en este caso se uso *XR interaction Toolkit*.

Este se puede descargar usando el *Package Manager* como se muestra en la siguiente Figura 7:

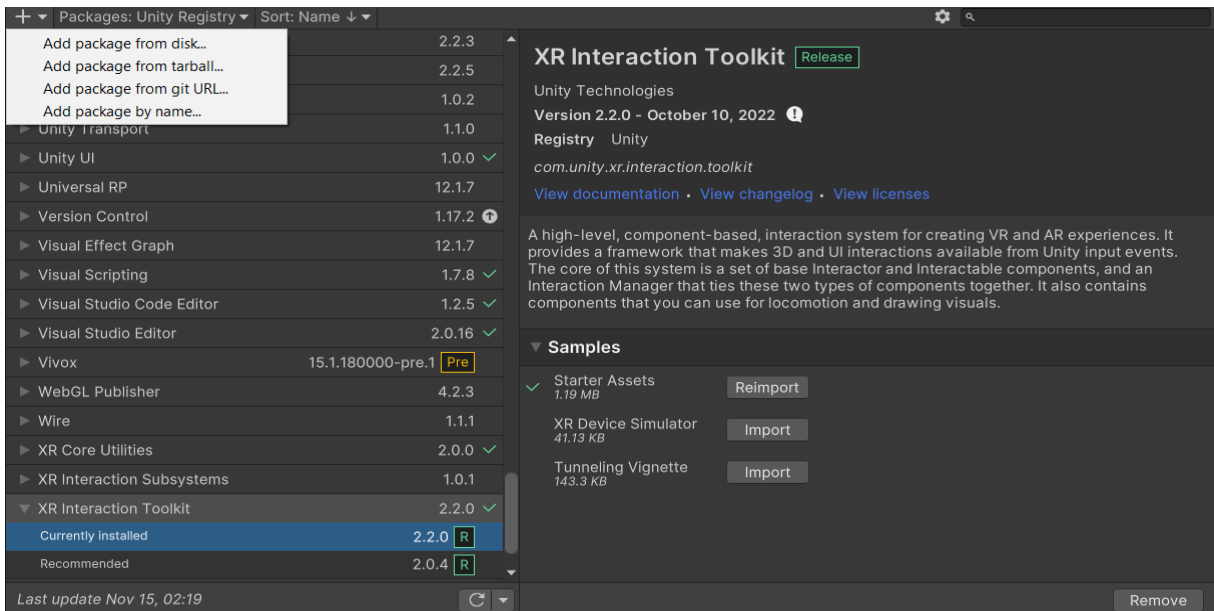


Figura 7: XR interaction Toolkit

En la esquina superior izquierda seleccionaremos la opción que nos permite instalar un paquete desde un url de git, el url para la descarga de este paquete es *com.Unity.xr.interaction.toolkit*, es importante importar los *Assets* iniciales ya que estos contienen herramientas que nos serán de utilidad en el proyecto.

Al realizar la descarga de los *Assets* iniciales se creara la carpeta siguiente como se muestra en la Figura 8, donde encontraremos diferentes configuraciones por defecto para el sistema de entrada.

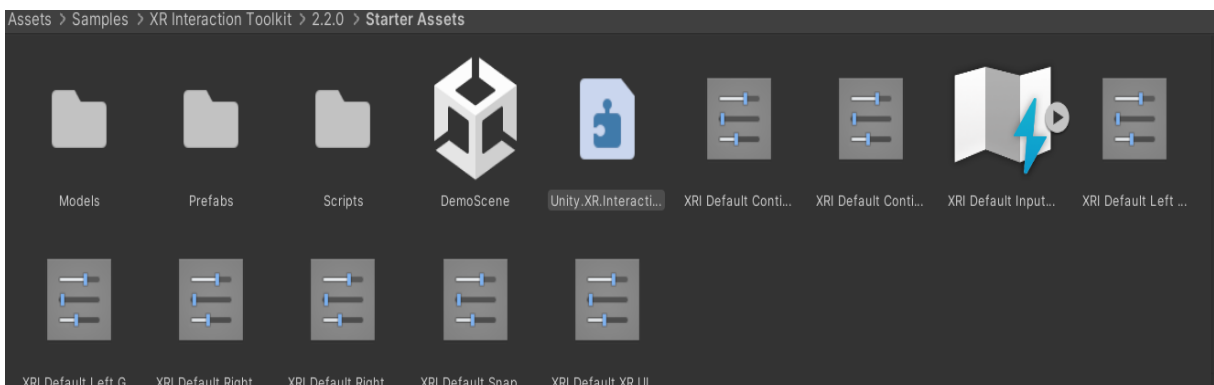


Figura 8: Input presets

Posteriormente agregamos esto *presets* a nuestro sistemas de entrada, los *presets* son:

1. Continuous Move.
2. Continuous Turn.
3. Left Controller.
4. Left Grab Move.
5. Right Controller.
6. Right Grab Move
7. Snap Turn.
8. XRI UI input Module.

La siguiente configuración necesaria para el funcionamiento de la realidad virtual con el HMD es agregar los filtros para ubicar los controles del dispositivo VR, para esto nos dirigimos al apartado llamado *Preset manager* como se muestra en la Figura 9. En este apartado solamente es necesario escribir las palabras *Left* y *Right* para los controles.

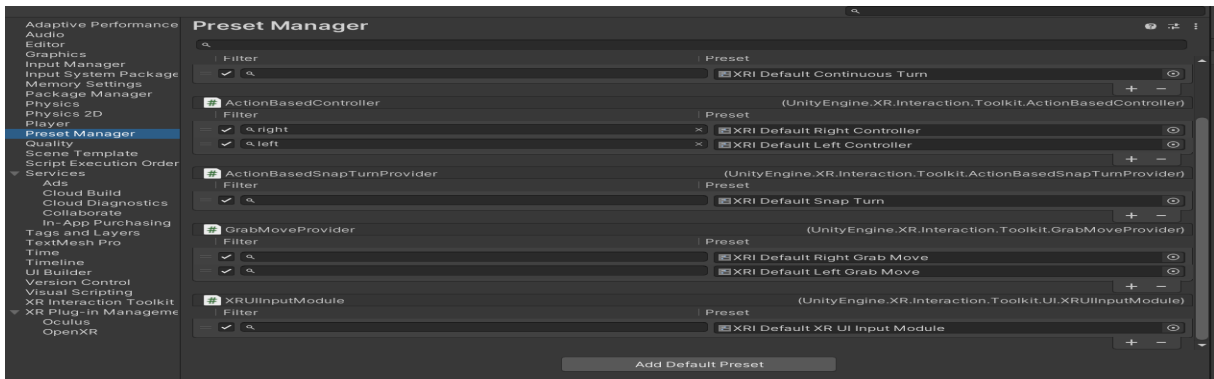


Figura 9: Preset Manager

En este apartado solamente es necesario escribir las palabras *Left* y *Right* para los controles.

Posteriormente se agregan *Assets* a la escena para que podamos interactuar con lo virtual desde los controles del *HMD*. Lo primero es agregar en la jerarquía el elemento llamado *XR Origin* como se muestra en la Figura 10.

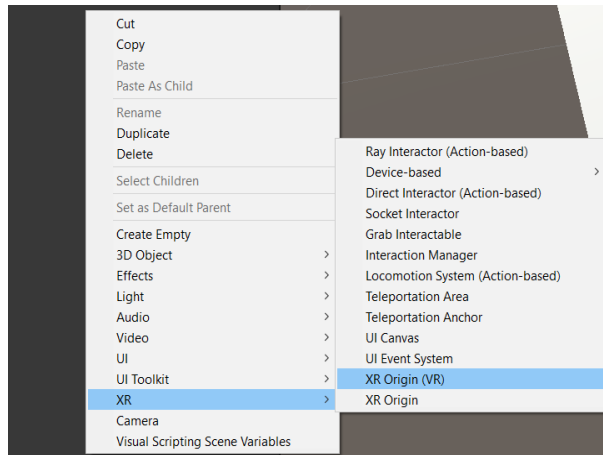


Figura 10: XR Origin

El propósito de XR Origin es transformar objetos y características rastreables a su posición, orientación y escala finales en la escena de Unity. Especifica un origen, un objeto de desplazamiento del suelo de la cámara y una cámara. En la jerarquía se nos agregaras los elementos mostrados en la Figura 11, estos elementos son importantes para la interacción entre el usuario y el entorno virtual inmersivo.

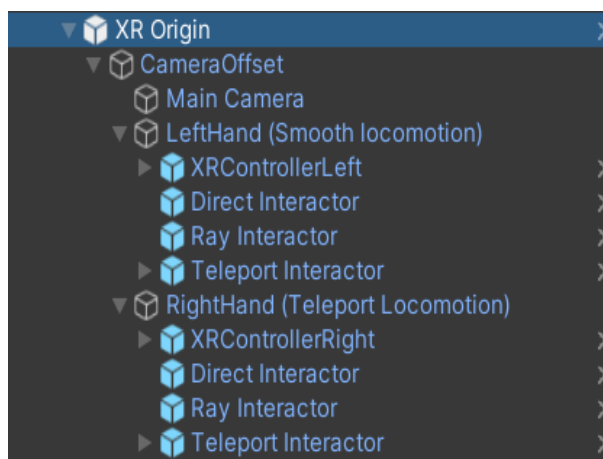


Figura 11: Caption

Es importante señalar que en la versión que se trabajó este proyecto se buscan usar las herramientas de Unity llamadas como *Action-based* ya que estas son las más actuales al momento, la anterior versión tenía la denominación *Device-based*. A la escena en Unity también se deben agregar dos componentes más estos son el *Input Action Manager* y el *Interaction manager* como se muestran en la Figura 12.

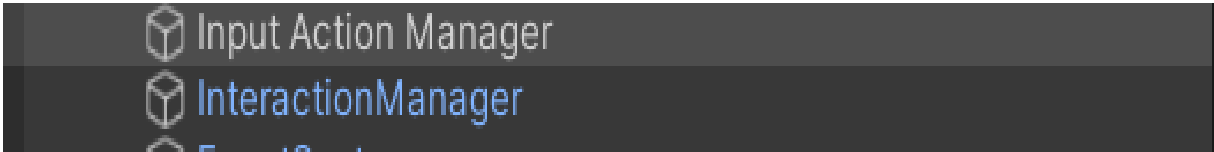


Figura 12: Componentes necesarios.

El *Input Action Manager* es un componente que activa o desactiva automáticamente todas las entradas de tipo `InputAction` en una lista de activos de tipo `InputActionAsset`.

En este componente debemos agregar los *Input assets* que se descargaron y se muestran en la Figura 8, donde en la casilla de *Action assets* agregamos los *inputs* antes mencionados como se muestra en la Figura 13.

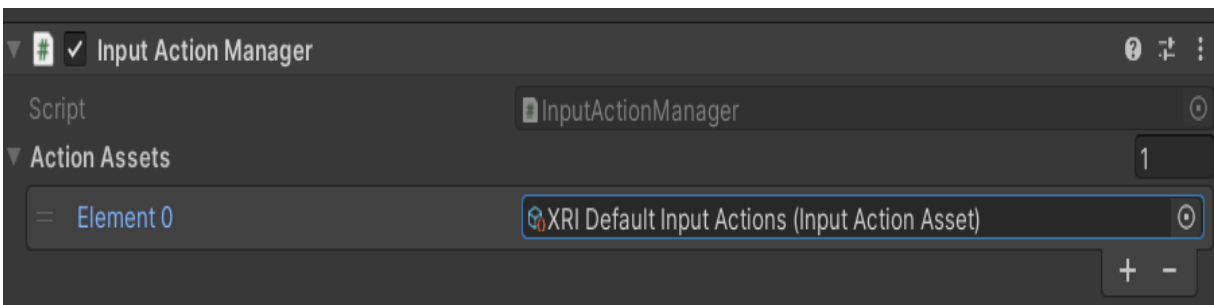


Figura 13: Action Assets

Lo siguiente es agregar el componente llamado *Locomotion system* el cual proporciona un conjunto de *locomotion primitives* que ofrecen los medios para moverse por una escena durante una experiencia XR. El diseño de la práctica fue realizado considerando no solo los aspectos técnicos del manipulador, sino también su impacto en el desarrollo de competencias en los estudiantes. En este sentido, las actividades propuestas

dentro del entorno virtual fueron orientadas a fortalecer atributos de egreso definidos por CACEI, tales como la aplicación de conocimientos técnicos y el uso de tecnologías emergentes.

De esta manera, la metodología no se limita a la implementación de una herramienta tecnológica, sino que incorpora un enfoque educativo basado en competencias, alineando la experiencia de aprendizaje con estándares de formación en ingeniería.

3.2. Funcion de cinematica inversa en unity

La rotación como ángulos de Euler en grados relativos a la rotación de la transformación principal.

Los ángulos de Euler pueden representar una rotación tridimensional al realizar tres rotaciones separadas alrededor de ejes individuales. En Unity, estas rotaciones se realizan alrededor del eje Z, el eje X y el eje Y, en ese orden.

Puede configurar la rotación de un Quaternion configurando esta propiedad, y puede leer los valores del ángulo de Euler leyendo esta propiedad.

Al usar la propiedad `.eulerAngles` para establecer una rotación, es importante comprender que, aunque proporciona valores de rotación X, Y y Z para describir su rotación, esos valores no se almacenan en la rotación. En su lugar, los valores X, Y y Z se convierten al formato interno de Quaternion.

Cuando se lee la propiedad `.eulerAngles`, Unity convierte la representación interna de Quaternion de la rotación en ángulos de Euler. Debido a que hay más de una forma de representar cualquier rotación dada usando ángulos de Euler, los valores que lea de nuevo pueden ser bastante diferentes de los valores que asignó. Esto puede causar confusión si intenta incrementar gradualmente los valores para producir animación.

3.3. Celda en entorno VR

La celda se creó con la finalidad de replicar una real, modelándola en el entorno virtual. El objetivo principal fue proporcionar a los estudiantes una experiencia lo más cercana posible a la interacción con el robot ABB real, permitiéndoles familiarizarse con sus funciones y características sin los riesgos y costos asociados al uso de equipos físicos.

La parte con la cual los alumnos tienen más interacción es con el FlexPendant, un dispositivo crucial para el control y programación del robot. En el entorno virtual, se replicaron las funciones básicas del FlexPendant, asegurando que los estudiantes pudieran realizar las mismas tareas que con el dispositivo físico.

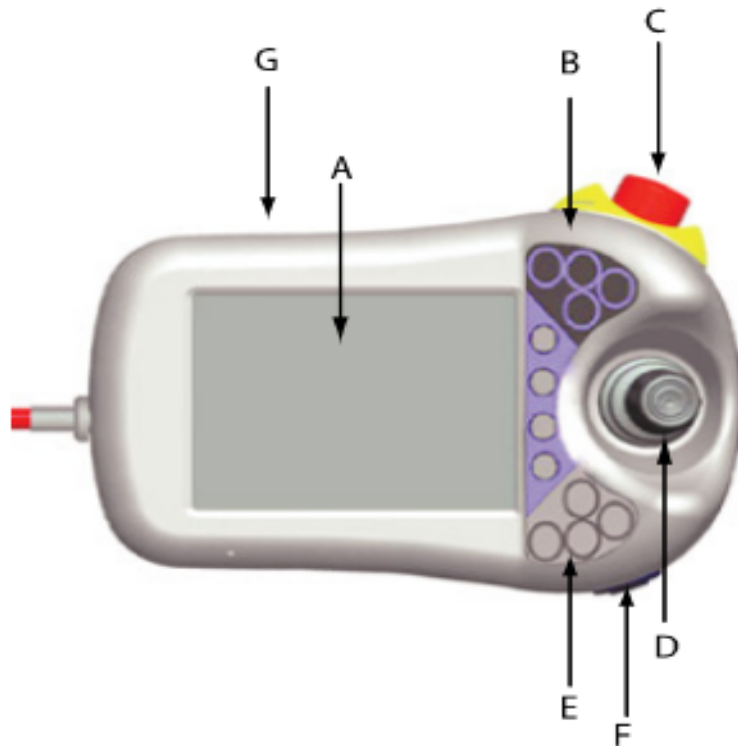


Figura 14: Descripción de la imagen

A continuación se muestra el modelo en 3D del FlexPendant en la Figura 14. Este controlador es el principal dispositivo con el que el operador interactúa para manipular el robot. Debido a su importancia, se modeló la geometría del FlexPendant, asegurando

Columna 1	Columna 2
Pos	Descripción
A	Pantalla
B	Teclas programables
C	Botón paro de emergencia
D	Joystick
E	Teclas de ejecución de programa
F	Conexión de memoria portátil USB
G	Alojamiento de puntero

Tabla 2: Botones principales Flexpendat

que los detalles y dimensiones fueran precisos, en la Tabla2 se muestran los botones principales que componen al Flexpendat. Además, la posición del FlexPendant en el entorno virtual se configuró para reflejar exactamente su ubicación en un entorno de uso real, proporcionando a los estudiantes una experiencia auténtica y representativa de cómo se utilizaría en situaciones prácticas. Este esfuerzo por replicar tanto la forma como la colocación del dispositivo permite que los usuarios se familiaricen de manera efectiva con su operación y control, facilitando una transición más fluida al trabajo con el equipo físico.

Como se observa en la Figura 14 se recreó la geometría, sin embargo, no se modeló la interfaz completa esto debido a que se optó por una interfaz enfocada en lo académico donde se mostrara los movimientos básicos del robot a un alto nivel, con la finalidad de que se establezcan las bases para conocimientos más complejos.

Actualmente se cuentan con movimientos de articulación por articulación, en este caso son 6, en sentido positivo y negativo, así como un modo de movimiento global. Los cuales se manejan desde los controladores del Oculus Quest 2. El cual fue el dispositivo seleccionado para este trabajo.

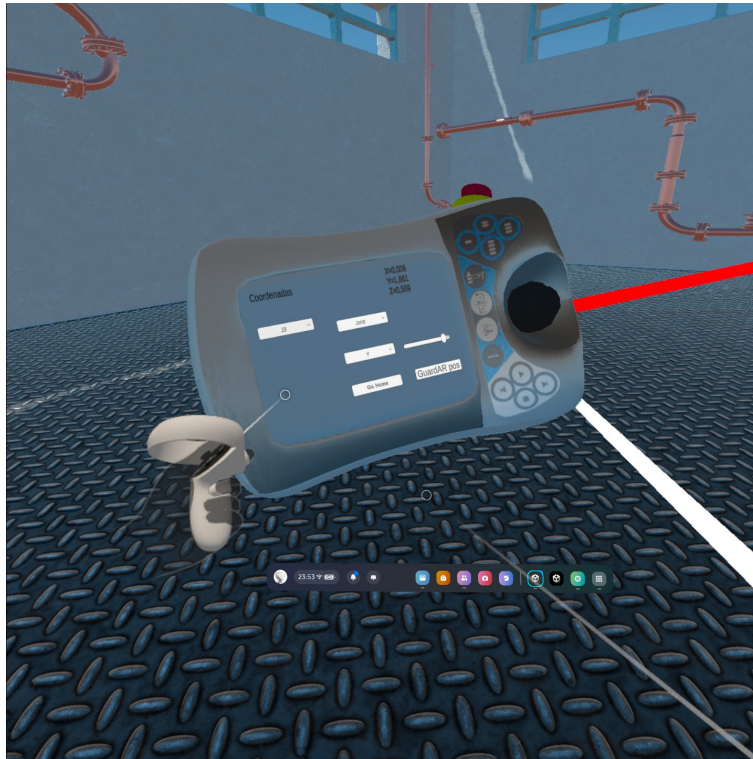


Figura 15: Interfaz de usuario entorno VR

En la interfaz desarrollada mostrada en la Figura 15, el usuario cuenta con un menú desplegable que muestra las articulaciones del robot. Adicionalmente, se ha implementado otro menú desplegable para la selección del modo de movimiento, permitiendo elegir entre movimiento global o por articulación. Cuando el modo de movimiento por articulación es seleccionado, el usuario puede mover cada articulación individualmente a través de los botones en los controles del Oculus Quest 2. Si el usuario selecciona el modo de movimiento global, un menú desplegable adicional le permite elegir la coordenada en la que desea mover el robot (X, Y o Z). Además, se ha agregado un botón que permite regresar el robot a su posición inicial predeterminada, facilitando así el reinicio de las operaciones y la realización de nuevas pruebas sin complicaciones.

Un elemento adicional que se modelo fue el controlador IRC5 el cual es esencial para el funcionamiento de un robot industrial, gestionando el control de movimiento, la planificación de trayectorias, y la comunicación con otros sistemas. Además, maneja las entradas y salidas, implementa medidas de seguridad, y facilita la programación y configuración a través del FlexPendant. También ofrece herramientas para el diagnóstico y mantenimiento, asegurando precisión, eficiencia y protección en diversas aplicaciones industriales. A continuación se muestra el controlador de manera física en la Figura 16:



Figura 16: Controlador IRC5

Enseguida se muestra el controlador modelado en 3D para el entorno virtual en la Figura 17:

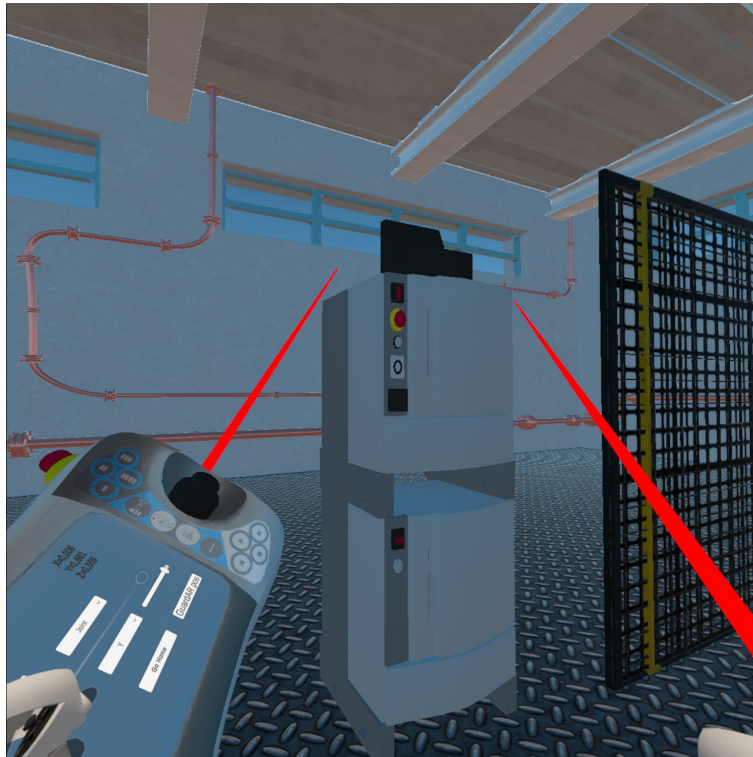


Figura 17: Controlador IRC5 entorno virtual

El controlador se modeló con la finalidad de replicar de manera fiel el entorno en el que se encuentra el robot. En el entorno 3D, el controlador es un elemento estático, diseñado así para asegurar que el usuario tenga una percepción clara y realista de los diferentes componentes que se pueden encontrar en una celda de manufactura. Al mantener el controlador estático, se facilita la orientación del usuario y se proporciona un contexto visual constante, lo cual es crucial para la comprensión de la disposición

espacial y la interacción entre los diferentes elementos del entorno de trabajo.

Adicionalmente, se modeló un espacio que se muestra en la Figura 18 que asemeja una celda de manufactura, tal como la que se encuentra en la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se llevó a cabo este experimento. En la universidad, se cuenta con dos robots; sin embargo, en este caso solo se modeló uno, incorporando elementos adicionales con el objetivo de hacer el aprendizaje más preciso en su representación sin que los estudiantes enfrenten los riesgos asociados a la manipulación de este robot en la vida real. Por esta razón, se añadieron advertencias en un recuadro de diálogo ubicado detrás del robot, el cual alerta al usuario si se está colisionando el manipulador o si se encuentra dentro del espacio de trabajo del robot. Estas medidas garantizan que los estudiantes puedan practicar de manera segura, comprendiendo las limitaciones y precauciones necesarias al operar el robot en un entorno real.

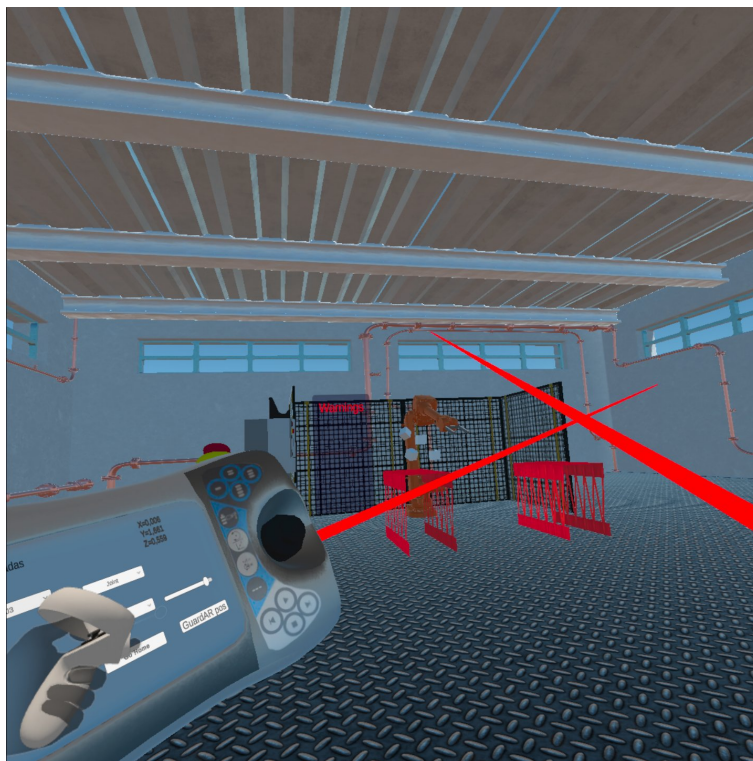


Figura 18: Celda de manufactura VR

El robot modelado en el entorno virtual mostrado en la Figura 19 esta escalado para que el usuario perciba la escala y el alcance, a continuación se muestra su modelo en el software Unity donde se realizo este desarrollo:

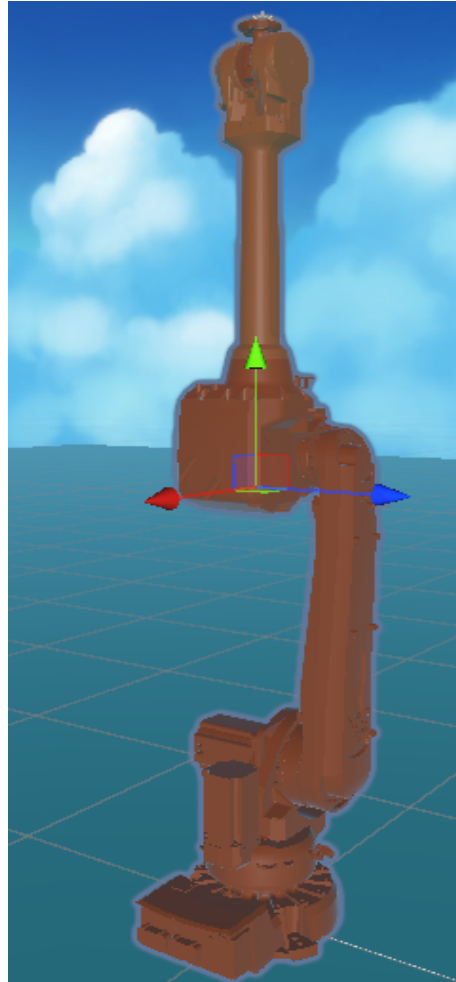


Figura 19: ABB 4600 modelo 3D

La ventaja de usar software como Unity es que facilita la integración de las articulaciones del robot de manera similar a como se haría en la vida real. En la Figura 20, se muestra a la izquierda el árbol jerárquico, donde cada articulación depende de la anterior, comenzando desde la base. Esto simplifica el cálculo de la cinemática del robot y permite ajustar con precisión el punto de pivote del robot para moverlo según los enlaces entre cada articulación. Esta jerarquía estructurada es fundamental para lograr un movimiento preciso y realista del robot en el entorno virtual.

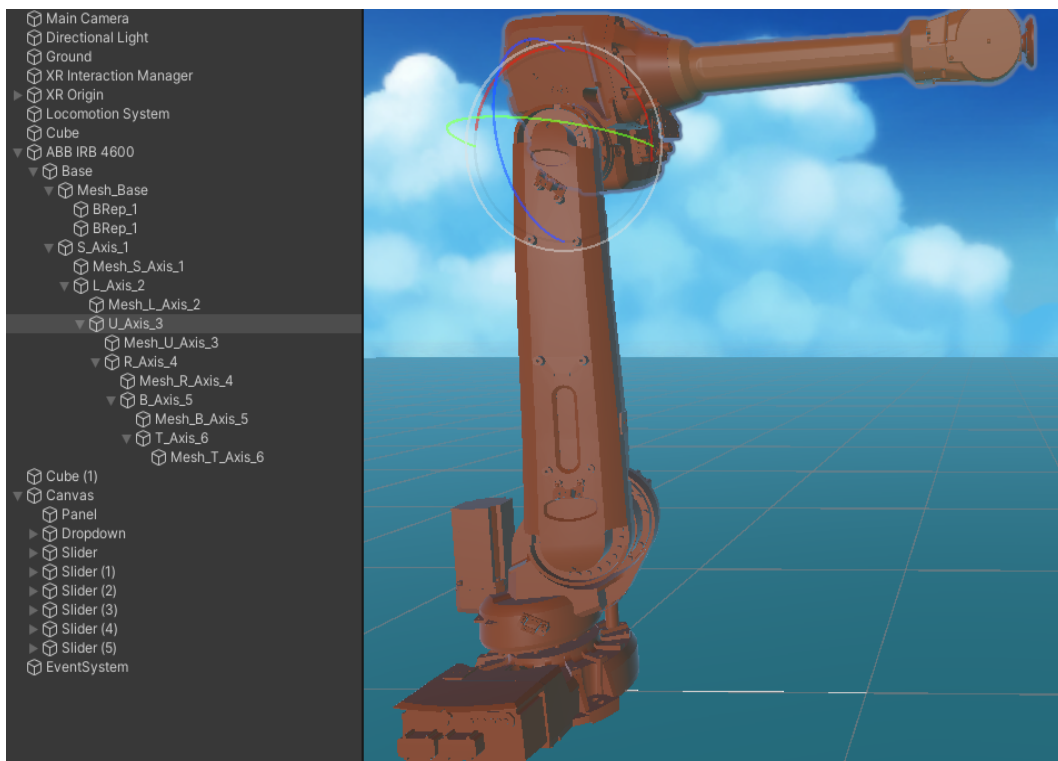


Figura 20: Jerarquía de partes en robot VR

En la Figura 21 se muestra las advertencias mostradas en el panel de trasero, primero tenemos la alerta de colisión la cual se muestra cuando el manipulador colisiona con las mesas o las protecciones que lo rodean.

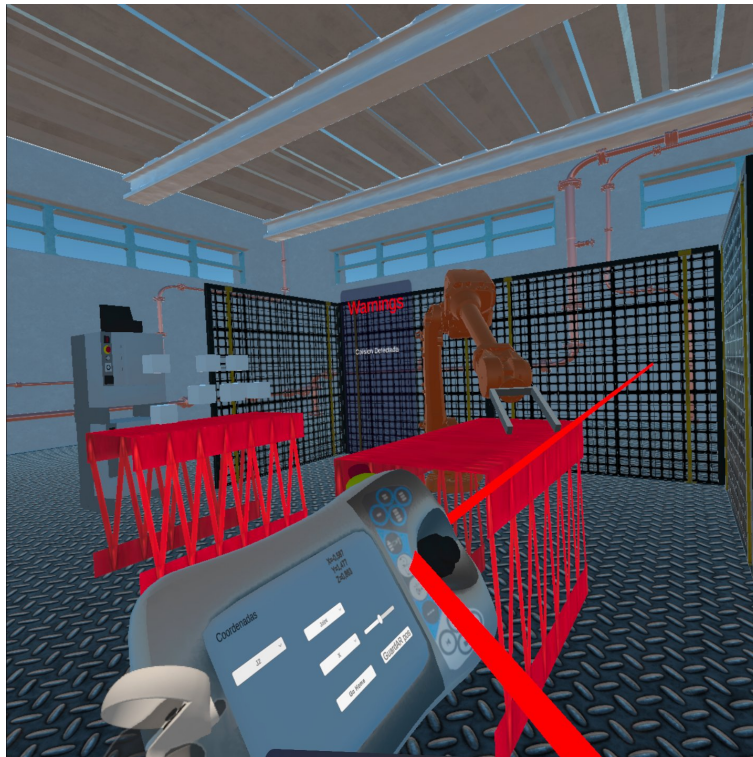


Figura 21: Panel de advertencias

A continuación en la Figura 22 se muestra la advertencia de espacio de trabajo del robot, la cual se muestra si el usuario esta dentro del alcance del manipulador.

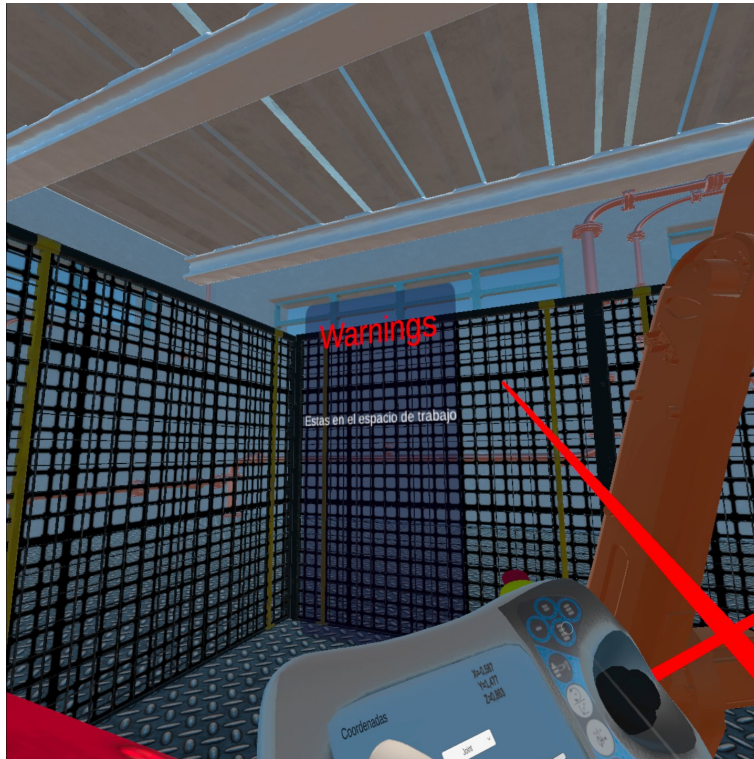


Figura 22: Advertencia espacio e trabajo

En ambos casos se subraya la importancia de la conciencia sobre el entorno del manipulador y la necesidad de respetarlo para evitar accidentes. Un entorno virtual inmersivo puede clave para la prevención de accidentes, ya que permite a los usuarios experimentar y comprender los riesgos asociados con la operación de robots industriales en un espacio seguro y controlado. Este tipo de entorno proporciona una simulación realista donde se pueden practicar protocolos de seguridad y observar las consecuencias de acciones inseguras sin poner en riesgo a las personas ni al equipo, fomentando una cultura de seguridad y prevención en la industria.

A continuación se muestra en la Figura 23 y Figura 24 una comparación entre el robot real y el modelado para el entorno virtual.



Figura 23: Celda de manufactura UAQ

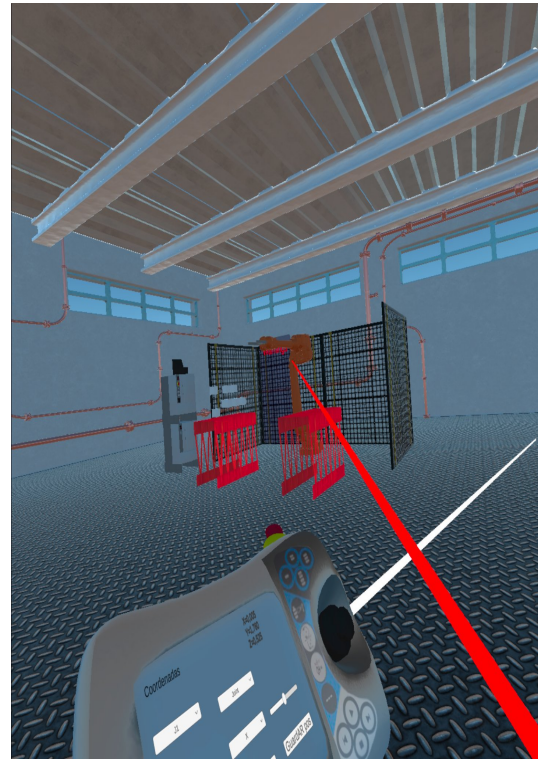


Figura 24: Celda en entorno virtual

Como se muestra en la imagen superior se intento replicar el hardware existente en la universidad ya sera con el que tendrán contacto los alumnos que participen en este experimento.

A continuación en la Figura 25 y en la Tabla3 se describe la funcionalidad de los controladores para interactuar dentro del entorno virtual.

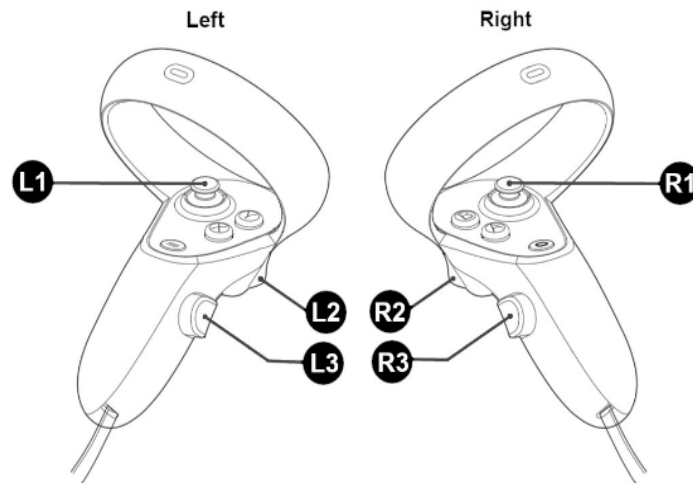


Figura 25: Controles Oculus Quest 2

Boton IZQ	Descripción	Boton DER	Descripción
Oculus	Centrar Posición	Oculus	Centrar Posición
Y	Incremento ángulo	B	NA
X	Decremento ángulo	A	Selección
L1	Moviente usuario	R1	Movimiento cámara
L2	NA	R2	Selección
L3	Selección	R3	Selección

Tabla 3: Mapeo de botones

3.4. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir del estudio realizado para evaluar la efectividad de un entorno virtual inmersivo en la enseñanza de la programación de un robot de seis grados de libertad. La investigación se centró en comparar las percepciones de los estudiantes que utilizaron un robot real con aquellos que interactuaron con el entorno virtual, con el objetivo de determinar si la realidad virtual puede constituirse como una herramienta pedagógica eficaz en el aprendizaje de conceptos de robótica.

Para llevar a cabo el análisis, se implementó un diseño experimental que incluyó encuestas estructuradas utilizando una escala de Likert, permitiendo así cuantificar las percepciones de los estudiantes sobre el potencial del entorno virtual como herramienta de enseñanza. A continuación en la Figura 26 se describe como se llevo acabo la practica, esto flujo de trabajo se aplico a los alumnos en el momento que usaron el entorno virtual, sin importar si fueron los que usaron el robot real primero o el entorno virtual.

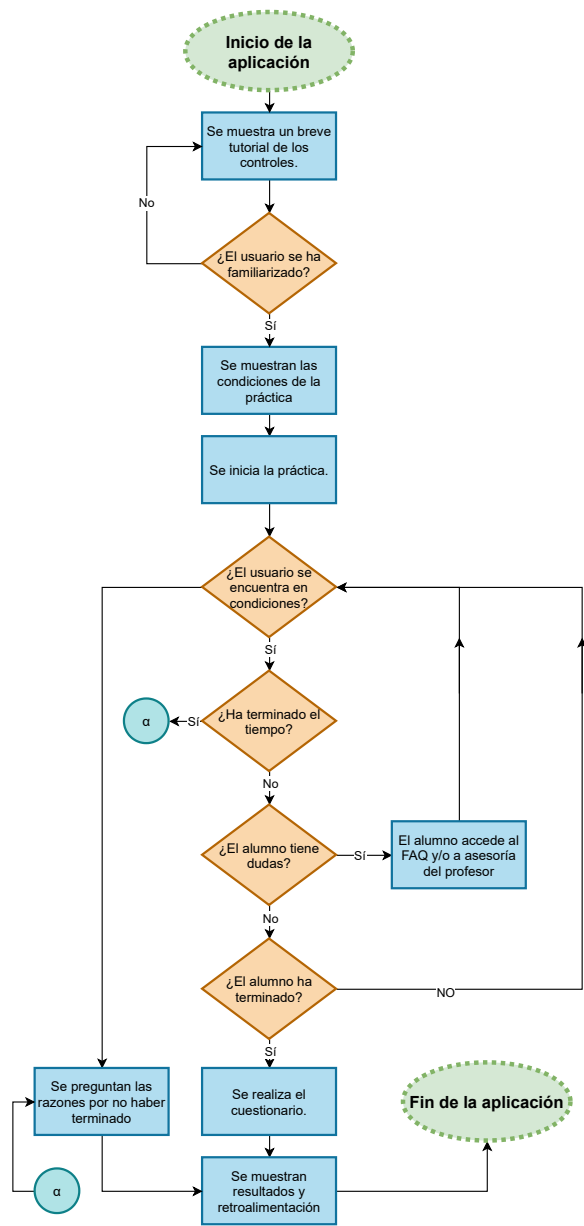


Figura 26: El proceso a seguir en la metodología del proyecto.

Antes de que inicie la aplicación, explicara se explicar el funcionamiento y los alcances del entorno virtual al alumno de esta manera el podrá familiarizarse con los controles, de igual manera, se busca que éste experimente la tecnología y adapte cuestiones como el ajuste del *HMD*; también este paso busca aportar una familiarización con el entorno virtual y los objetos que lo componen. En este caso se podrá tomar un tiempo arbitrario, de acuerdo a las decisiones del profesor.

Posteriormente, se dará inicio a la práctica, la cual consiste en el movimiento de objetos de una mesa a otra. En este ejercicio, el alumno deberá utilizar los diferentes modos de movimiento del robot para completar la tarea de trasladar cubos de una mesa a otra. Este ejercicio está diseñado para que los estudiantes se familiaricen con el control y la precisión del robot, al mismo tiempo que practican la selección de los modos de movimiento.

Durante la práctica, los alumnos tendrán la oportunidad de experimentar con el modo de movimiento por articulación, donde podrán manipular cada articulación del robot individualmente, y con el modo de movimiento global, que les permitirá mover el robot en coordenadas específicas (X, Y, Z). Este enfoque les proporciona una comprensión integral de las capacidades del robot y les permite desarrollar habilidades esenciales para su operación.

Únicamente en el caso de que el alumno termine la práctica por completo, se le aplica el cuestionario relacionado a la misma.

El siguiente aspecto estará vigente durante el transcurso de la práctica:

- El usuario tendrá la posibilidad indicar si puede o no continuar utilizando el dispositivo de realidad virtual, se ha tomado esta decisión debido a que, dependiendo de la capacidad visual y/o nerviosa del usuario, éste puede experimentar mareos o malestares, por lo que podrá pausar o detener por completo el transcurrir de la práctica. Durante la pausa se detendrá el tiempo, pero si se detiene se le pedirán las razones por las que no ha podido terminar y se le dará una retroalimentación de sus resultados.

- Se estará monitorizando la práctica, en caso de no poder terminarla se le pedirá al usuario exponer las razones por las que no pudo terminar, tras esto, se le dará la retroalimentación de sus resultados y se concluirá la ejecución de la aplicación.
- Como se mencionó, el estudiante también contará con la opción pedir la asesoría del profesor.
- Se esperará hasta que el alumno registre sus respuestas, al hacerlo, terminará la práctica.

Únicamente en el caso de que el alumno termine la práctica por completo, se le aplica el cuestionario relacionado a la misma.

En términos generales, esta es la estructura del experimento. No obstante, el algoritmo que debe seguir la aplicación varía ligeramente, ya que es necesario considerar otros factores como el procesamiento, la conectividad y la correcta programación de la aplicación.

En el caso del experimento en el robot real este se llevara acabo de la siguiente manera, primero se dará una explicación de las indicaciones de seguridad las cuales se deben seguir, haciendo énfasis en la seriedad con la que se debe tomar la actividad para evitar accidentes, posteriormente se dará un explicación sobre los elementos físicos que componen el ecosistema del robot y permiten su funcionamiento, como se menciono anteriormente se dará un repaso en elementos como el pendant, el robot y finalmente el controlador, se para posteriormente mostrar movimientos básicos del manipulador, ya que se dio esta introducción se dará a los alumnos el pendat para que ellos mismos puedan manipular el robot. Una vez finalizado se aplicara la encuesta correspondiente.

Para la aplicación del experimento se dividió al grupo en dos, donde el primer grupo usaría interactuaría con con el robot dentro del entorno virtual primero y posteriormente con el robot real, el segundo grupo lo haría de manera inversa primero con el robot real y después con el robot en entorno virtual.

A continuación se muestran las encuestas realizadas, una encuesta previa a la par-

ticipación esto con el objetivo de tener un antecedente de los conocimientos que presentaban los alumnos sobre este tipo de tecnologías, seguida de una encuesta posterior a su participación en la actividad, esto para evaluar su experiencia.

- ¿Consideras que eres propenso a mareos o nauseas?
- ¿Conocías la realidad virtual?
- ¿Conoces la diferencia entre realidad virtual y realidad aumentada?
- ¿Conoces alguno de estos dispositivos de realidad virtual?
- ¿Conoces algunas aplicaciones de realidad virtual centradas en la educación?
- ¿Conocías el potencial de la realidad virtual como herramienta de enseñanza?

A continuación el cuestionario posterior a participación, en el cual la primera pregunta se usará para filtrar entre el primer y segundo grupos las demás declaraciones están relacionadas con el uso de la realidad virtual como una herramienta de enseñanza.

Estas encuestas utilizan la escala de Likert, la cual es una herramienta de medición ampliamente empleada en estudios de percepción para evaluar actitudes, opiniones o percepciones de los encuestados. Esta escala se basa en una serie de afirmaciones acompañadas de opciones de respuesta ordenadas que reflejan distintos niveles de acuerdo o desacuerdo, típicamente desde “totalmente de acuerdo” hasta “totalmente en desacuerdo”, permitiendo transformar respuestas subjetivas en datos cuantificables para su análisis [8, 1].

- ¿Usaste la herramientas antes o después del robot real?
- Considero que se me facilitó la comprensión de conceptos de programación de robots después del uso del entorno virtual
- Considero que el entorno virtual puede ser una herramienta de aprendizaje de la programación de robots cuando no se cuenta con un robot en la vida real.

- Considero que el entorno virtual me ayudó a visualizar el riesgo de entrar al espacio del trabajo del robot
- Considero que el entorno virtual me ayudó a planear la trayectoria del robot para evitar colisiones
- Considero que el entorno virtual me ayudó a entender el modo de movimiento de articulación por articulación
- Considero que el entorno virtual me ayudó a comprender como planear trayectorias
- Considero que el entorno virtual me ayudó a entender como funciona un robot en la vida real
- Considero que el entorno virtual me ayudó a entender el movimiento del robot en cada eje(X,Y,Z)
- Considero esta herramienta como una ayuda importante para el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería que estén interesados en la programación de robots industriales
- Considero que hay ventajas en el uso de la realidad virtual como herramienta de enseñanza sobre los métodos tradicionales

Analizando las respuestas obtenidas en el cuestionario previo a la actividad.

4. Resultados

4.1. Primera pregunta



Figura 27: Resultados pregunta 1

En este caso se preguntó esto debido a que esta tecnología es propensa a causar nauseas y/o mareos personas que no frecuentan su uso o a personas que usan esta tecnología por primera vez, en este caso se observa que la mayoría de los participantes en este caso como se muestra en la Figura 27 el 84.6% no son propensos a estos padecimientos, sin embargo el 15.4% si es propenso.

Al momento de llevar acabo la actividad todos los participantes sufrieron mareos al principio el cual desapareció conforme la actividad se desarrollaba, es importante mencionar que los participantes se encontraban vigilados por un profesor y el autor de esta investigación. Todos los estudiantes se adaptaron al uso de lentes de realidad

virtual, ninguno de ellos presento náuseas.

Como se mencionó anteriormente, todos los estudiantes experimentaron leves mareos al usar el HMD, pero esta molestia desapareció a medida que avanzaba la actividad, lo que se puede atribuir a la adaptación natural del cuerpo a un nuevo estímulo. Es importante destacar este punto, ya que sugiere la necesidad de considerar una curva de adaptación al uso de la realidad virtual, así como medidas adicionales para apoyar a los alumnos más propensos a mareos. Por lo tanto, considero esencial el acompañamiento del profesor en las primeras experiencias con esta tecnología.

La curva de adaptación puede incluir pausas estratégicas para monitorear al alumno, así como el inicio con actividades menos intensas, lo que ayuda a los estudiantes a aclimatarse gradualmente al uso de la realidad virtual. Esto no solo tiene como objetivo hacer más productiva su experiencia, sino también minimizar la posibilidad de situaciones incómodas o incluso más serias. Además, es crucial considerar ajustes adicionales en la programación y creación del entorno virtual, especialmente para aquellos alumnos que son más propensos a experimentar náuseas.

4.2. Segunda pregunta

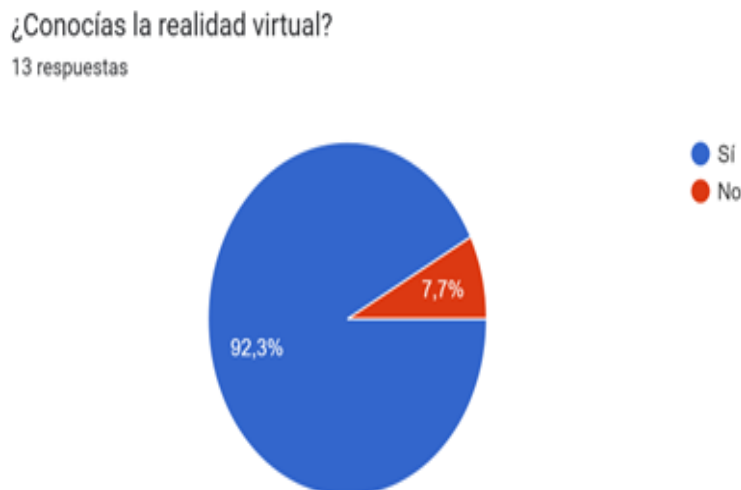


Figura 28: Resultado pregunta 2

Esto nos sirve como referencia para evaluar si el alumno tenía algún antecedente con esta tecnología, ya que esto puede alterar su percepción de la aplicación. La experiencia previa puede llevar a los estudiantes a comparar la aplicación con otras, evaluándola en aspectos como el realismo, la interfaz de control, la rapidez con la que se adaptan a su uso, el manejo del entorno y el alcance en términos de interacción del usuario. Además, al considerar estos factores, podemos obtener retroalimentación más precisa al final de la actividad. Además, es relevante evaluar la posibilidad de que los estudiantes que ya conocían esta tecnología se sintieran más confiados, lo cual podría llevar a una mayor disposición para adoptar la tecnología y enfrentar tareas más avanzadas dentro del entorno virtual.

Un estudiante familiarizado con aplicaciones similares puede ofrecer una perspectiva diferente sobre cómo nuestra aplicación se compara en términos de usabilidad y funcionalidad, como se muestra en la Figura 28. Estos usuarios pueden identificar áreas de

mejora en la interfaz de control, como la ergonomía de los controles o la adición de más tareas. Del mismo modo, aquellos sin experiencia previa pueden aportar información valiosa sobre la curva de aprendizaje y la accesibilidad de la aplicación para nuevos usuarios.

Al recopilar esta retroalimentación, buscamos mejorar continuamente la aplicación, asegurando que sea intuitiva y efectiva tanto para usuarios novatos como para aquellos con experiencia previa. Esta información es crucial para ajustar y perfeccionar el diseño y la funcionalidad, con el objetivo de proporcionar una herramienta de aprendizaje más efectiva y satisfactoria para todos los usuarios.

Esta pregunta también nos permite planificar cómo debería desarrollarse la interfaz y la experiencia de usuario para el entorno virtual. En caso de que los estudiantes no tengan experiencia previa con la realidad virtual, se deben considerar ayudas adicionales, como tutoriales y guías interactivas, que permitan comprender mejor los alcances y funcionalidades de la tecnología. Implementar estos recursos puede ayudar a reducir la curva de aprendizaje y hacer que la transición a la realidad virtual sea más suave y accesible para todos los usuarios.

4.3. Tercera pregunta



Figura 29: Resultado pregunta 3.

La diferencia entre ambas tecnologías puede ser confusa para usuarios que no están familiarizados con el tema, por lo que es importante explicar a los alumnos participante las diferencias entre los alcances de ambas tecnologías, como se muestra en la Figura 29 en el grupo participante el 61.5 % de los alumnos la conocía mientras que el 38.5 % no la conocía.

En el transcurso de la actividad de procedió a explicar las ventajas y desventajas de ambas tecnologías así como sus alcances. En este caso donde se recreo una celda de manufactura de las principales ventajas tenemos la seguridad a los alumnos, los cuales pueden tener un acercamiento al uso de robots manipuladores sin necesidad de exponerse al peligro que representa estar en físico con el mismo, así como la posibilidad de poder hacer mas amena y productiva la educación de los alumnos.

4.4. Cuarta pregunta

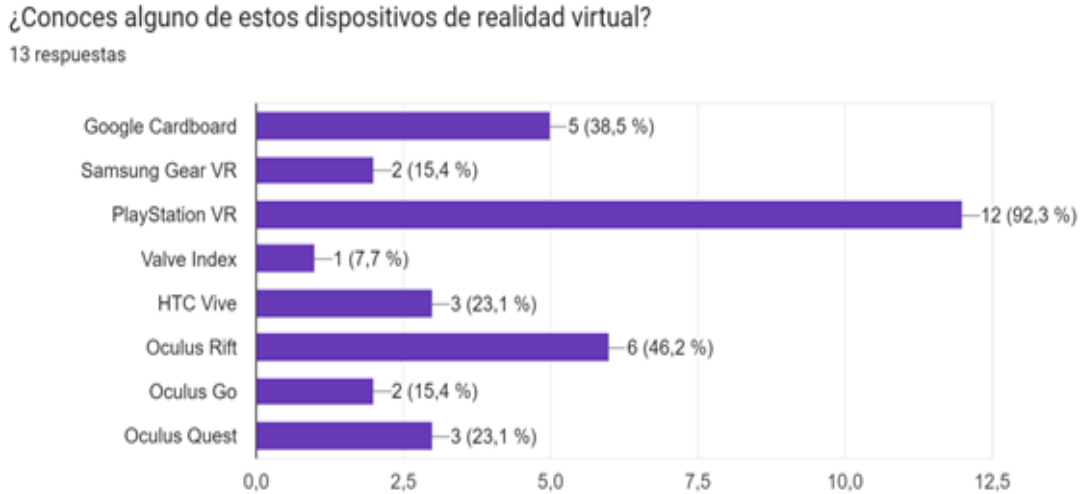


Figura 30: Resultado pregunta 4.

En esta pregunta se analiza el conocimiento de los participantes sobre los dispositivos disponibles en el mercado, de esto podemos concluir como se muestra en la Figura 30 que la mayoría de los participantes conocía el dispositivo marca PlayStation, pese a ser el dispositivo más nuevo al momento que se realizó la encuesta era el más conocido, esto debido a que se promociona como un videojuego. Se podría priorizar los desarrollos sobre esta plataforma, ya que se podría agilizar la curva de adaptación al dispositivos debido a que la mayoría lo conoce.

Así mismo, esta pregunta nos permite conocer las expectativas que podría tener el alumno respecto al hardware utilizado en el desarrollo del entorno virtual. Si el alumno ha usado hardware de alta gama, este podría esperar una experiencia más inmersiva. mientras que un alumno que solo conoce dispositivos de entrada más básicos podría ajustar sus expectativas y esto podría influir en su disposición a utilizar la realidad virtual.

4.5. Quinta pregunta

¿Conoces algunas aplicaciones de realidad virtual centradas en la educación?
13 respuestas

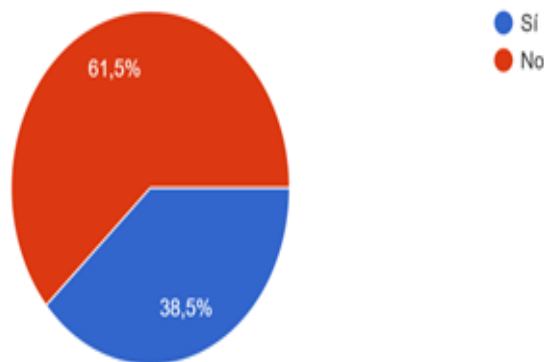


Figura 31: Resultado pregunta 5.

Esta pregunta demuestra que al momento que se realizó la investigación, como se muestra en la Figura 31 la mayoría de los alumnos participantes no conocían aplicaciones de la realidad virtual que estuviesen enfocadas en la educación, el autor investigó la disponibilidad de aplicaciones de esta índole, encontrando que la mayoría de estas se encontraban en tiendas de terceros ajenas al desarrollador del dispositivo en este caso Oculus, de estas aplicaciones la mayoría están enfocadas en el área de la salud, donde como en esta aplicación se corre un gran riesgo si algo sale mal. Otra porción de aplicaciones de este tipo se encuentran en desarrollo por entidades académicas con el fin de aprovechar las ventajas con fines de mejorar la experiencia de enseñanza.

La experiencia previa en el uso de aplicaciones de realidad virtual enfocadas en la educación puede influir en las expectativas de los alumnos sobre el entorno virtual.

Estos pueden esperar dinámicas y mecánicas orientadas a la educación, lo que facilita su adaptación y aceptación de esta tecnología con este enfoque. Además, estos alumnos podrían proporcionar opiniones de mejora basadas en su experiencia, indicando qué les funcionó bien y con qué se sintieron más cómodos.

4.6. Sexta pregunta

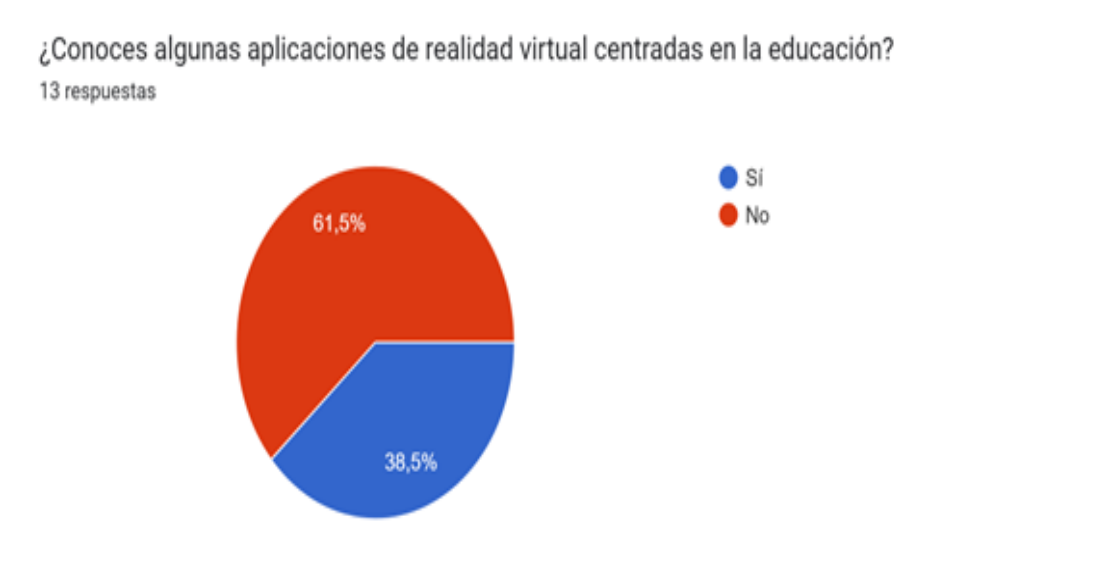


Figura 32: Resultado pregunta 6.

De la anterior como se muestra en la Figura 32 podemos concluir que los alumnos participantes están familiarizados del potencial que se le puede dar a esta tecnología como herramienta de enseñanza, el poder llevar acabo cosas que no se pueden el mundo real, el no solamente relacionar esta tecnología al ocio sino mas bien pensar en como podemos hacer de esta tecnología un apoyo en nuestras actividades del día a día.

Podemos impulsar a que se trabaje en mas desarrollos de esta índole los cuales nos sirvan para mejor la forma en la que se imparten ciertos aspectos de la enseñanza en

especial los prácticos así como llevar esta tecnologías a otras áreas.

4.7. Cuestionario posterior a participación.

En la siguiente sección analizaremos los resultados de las encuestas de los alumnos posterior a la actividad, recordemos que se dividió el grupo en dos. Para evaluar la respuestas de los participantes usaremos la escala de Likert.

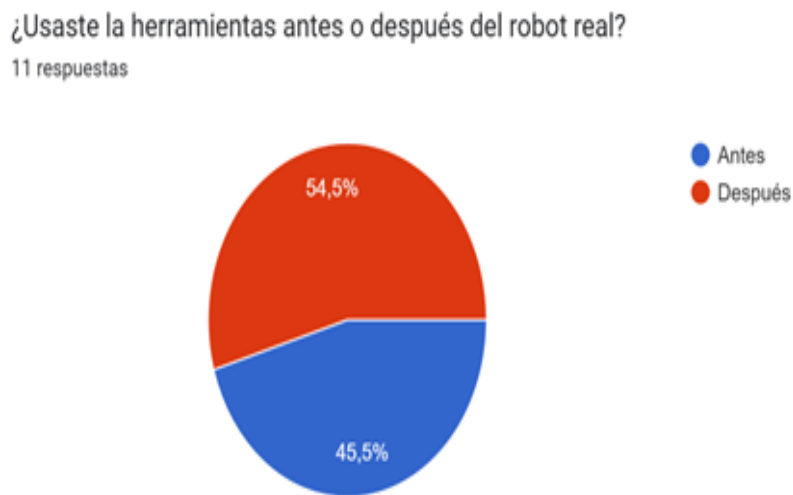


Figura 33: Resultado pregunta 1.

Como se muestra en la Figura 33 pregunta la usaremos para diferenciar entre los alumnos que usaron el primero el robot real y de los que usaron primero el entorno virtual, en este caso tenemos un numero disparejos de respuestas debido a que el grupo esta conformado por 11 estudiantes. En este caso 6 alumnos usaron el entorno virtual después del robot real y 5 usaron primero el entorno virtual.

Se asignaran puntuaciones numéricas correspondientes a la escala de Likert:

- Totalmente de acuerdo: 5

- De acuerdo: 4
- Neutral: 3
- En desacuerdo: 2
- Totalmente en desacuerdo: 1

La asignación de valores del 1 al 5 en la escala de Likert es una práctica ampliamente utilizada en la investigación social y educativa, ya que permite la cuantificación precisa de actitudes y percepciones de los encuestados. Este enfoque numérico ofrece una representación clara del grado de acuerdo o desacuerdo con una afirmación, donde el valor 1 típicamente denota "totalmente en desacuerdo" el valor 5 representa "totalmente de acuerdo". Esta estructura proporciona una base sólida para el análisis estadístico de los datos, facilitando la identificación de patrones y tendencias en las respuestas de los participantes. Además, el uso de un rango reducido de opciones permite a los encuestados expresar sus opiniones de manera sencilla y directa, lo que contribuye a una mayor fiabilidad en la recopilación de datos [18].

4.8. Primera declaración

La primera declaración es: *Considero que se me facilitó la comprensión de conceptos de programación de robots después del uso del entorno virtual.*

Se usara la media con la finalidad de medir si los alumnos consideran que el entorno virtual les facilito la comprensión de conceptos de robótica. Comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 5}{5} = 4.2 \quad (21)$$

Como se muestra en la Ecuación 21 media es 4.2, lo que sugiere que, en promedio, los alumnos están de acuerdo que en entorno virtual les facilito la comprensión de conceptos

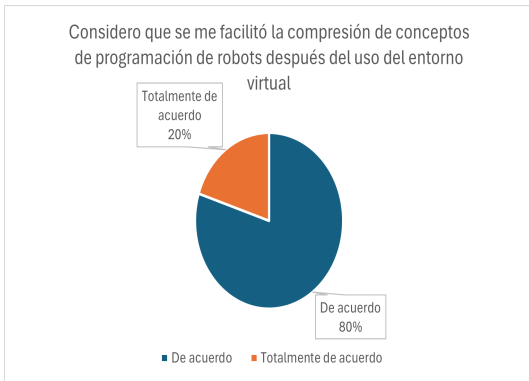


Figura 34: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

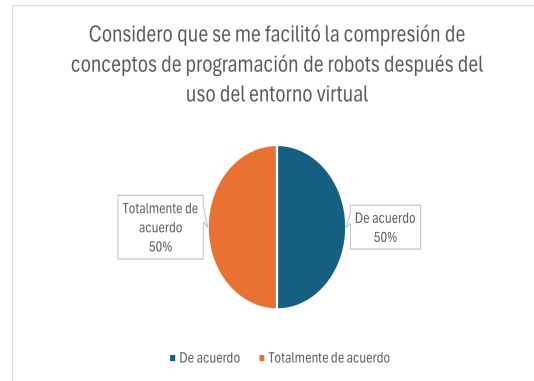


Figura 35: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 36: Comparación de resultados.

de programación de robots. Continuado con los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 5 + 5 + 5}{6} = 4.5 \quad (22)$$

Como se muestra en la Ecuación 22, lo cual sugiere que, en promedio, los alumnos concuerdan en que entorno virtual les facilitó la comprensión de conceptos de programación de robots.

La media de los alumnos que usaron el robot primero es más alta lo cual sugiere que el entorno virtual podría usarse como una herramienta de repaso, ya que en ocasiones la infraestructura disponible no permite un uso prolongado de dispositivos como lo son los robots industriales.

Esto puede indicar un área de mejora en puntos específicos del entorno virtual, como los controles o la percepción del alumno dentro del entorno virtual. Se buscará desarrollar el entorno virtual teniendo en cuenta la actividad exacta a llevar a cabo con el robot físico, con el fin de hacer la herramienta más representativa, aunque esto pueda significar más tiempo de desarrollo.

Desde la perspectiva de los atributos de egreso definidos por CACEI, esta declaración se relaciona principalmente con el **AE1**, ya que la comprensión de conceptos

de programación de robots implica aplicar conocimientos técnicos para interpretar y resolver problemas asociados con sistemas automatizados. En este sentido, una percepción favorable en esta gráfica sugiere que el entorno virtual no solo resultó útil como apoyo visual, sino que también contribuyó al fortalecimiento de capacidades analíticas vinculadas con la formación en ingeniería [3].

4.9. Segunda declaración

La segunda declaración es: *Considero que el entorno virtual puede ser una herramienta de aprendizaje de la programación de robots cuando no se cuenta con un robot en la vida real.*

Esta declaración puede asociarse con el **AE2**, debido a que reconoce el valor de una tecnología emergente, en este caso la realidad virtual, como medio para atender necesidades de formación en ingeniería. El resultado de esta gráfica sugiere que los estudiantes identifican al entorno virtual como una alternativa tecnológica viable para complementar procesos de enseñanza práctica en contextos donde el acceso al equipo físico es limitado [3].

Donde:



Figura 37: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

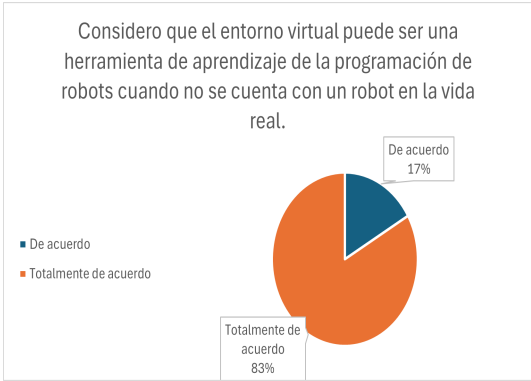


Figura 38: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 39: Comparación de resultados.

En este caso usaremos la media con la finalidad de determinar si los alumnos consideran que el entorno virtual puede ser una herramienta de aprendizaje cuando no se cuenta con la infraestructura. Comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{5} = 5 \quad (23)$$

Como se muestra en la Ecuación 23 media es de 5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que en que esta herramienta, puede ser usada para la enseñanza de programación de robots cuando no se cuenta con la infraestructura de estos.

Continuado con los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 4 + 5 + 5}{6} = 4.8 \quad (24)$$

Como se muestra en la Ecuación 24 media es de 4.8, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que la herramienta puede ser usada como herramienta de enseñanza cuando no se cuenta con un robot real.

Teniendo en cuenta que la media de los alumnos que usaron el robot primero es más baja que la de los alumnos que usaron el entorno virtual primero, se podría interpretar que el entorno virtual no reemplaza por completo la experiencia de interactuar con el robot real. Esto puede deberse a la falta de interacción física o a la dificultad de simular ciertos aspectos del robot real.

4.10. Tercera declaración

La tercera declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a visualizar el riesgo de entrar al espacio del trabajo del robot.*

La interpretación de esta gráfica puede vincularse con el **AE4**, ya que el reconocimiento del riesgo dentro del espacio de trabajo del robot se relaciona con la formación en seguridad, responsabilidad y uso adecuado de entornos tecnológicos. En este caso, el entorno virtual permite representar condiciones potencialmente peligrosas sin ex-

poner físicamente al estudiante, lo que aporta valor educativo desde una perspectiva preventiva [3].

Donde:

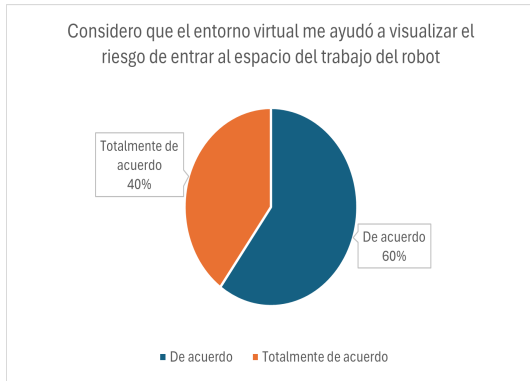


Figura 40: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

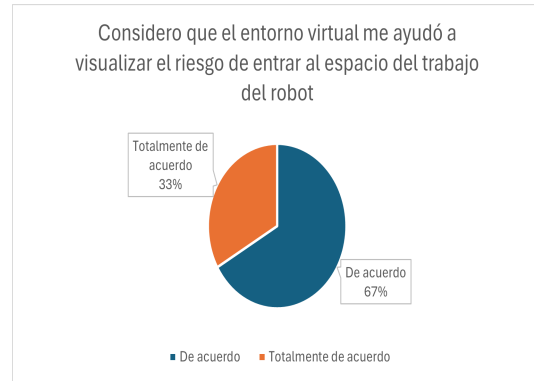


Figura 41: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 42: Comparación de resultados.

A continuación se usara la media para determinar si el entorno virtual ayudo a los alumnos a visualizar los riesgos de entrar en espacio de trabajo del robot. Comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 5 + 5}{5} = 4.4 \quad (25)$$

Como se muestra en la Ecuación 25 media es de 4.4, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos están de acuerdo en que el entorno virtual los ayudo a visualizar los riesgos de entrar en el espacio de trabajo del robot. Recordemos que en el entorno virtual si el usuario entra en espacio de trabajo del robot esta mostrara una alerta visible detrás del robot. Continuando con los que usaron el robot primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 5 + 5}{6} = 4.3 \quad (26)$$

Como se muestra en la Ecuación 26 media es de 4.3, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos están de acuerdo en que el entorno virtual los ayudo a visualizar el riesgo

de entrar en el espacio de trabajo del robot.

La media más baja en comparación con otras preguntas sugiere un punto de mejora en el entorno virtual. Se podrían agregar elementos adicionales que resalten las indicaciones de seguridad, así como incluir mecánicas y simulaciones que muestren estos riesgos y las consecuencias de ignorar estas advertencias, con el fin de hacer la experiencia más representativa.

4.11. Cuarta declaración

La cuarta declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a planear la trayectoria del robot para evitar colisiones.*

La interpretación de esta gráfica puede vincularse con el **AE4**, ya que el reconocimiento del riesgo dentro del espacio de trabajo del robot se relaciona con la formación en seguridad, responsabilidad y uso adecuado de entornos tecnológicos. En este caso, el entorno virtual permite representar condiciones potencialmente peligrosas sin exponer físicamente al estudiante, lo que aporta valor educativo desde una perspectiva preventiva [3].

Donde:

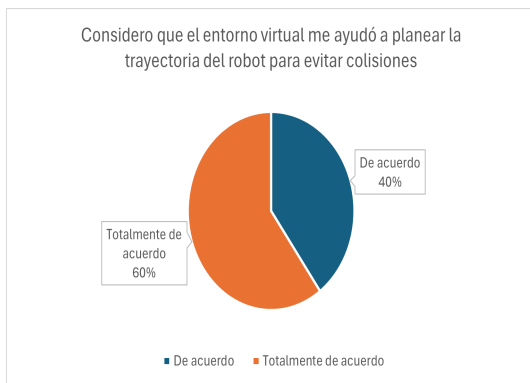


Figura 43: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

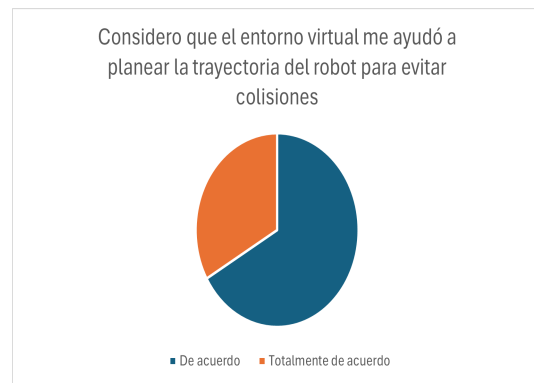


Figura 44: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 45: Comparación de resultados.

A continuación se usara la media para medir si los alumnos consideran que si entorno virtual me ayudo a planear la trayectoria del robot para evitar colisiones. Recordemos que si el manipulador chocaba con la mesa o la barrera protectora trasera, se mostraba una alerta visible detrás del robot. Comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 5 + 5 + 5}{5} = 4.6 \quad (27)$$

Como se muestra en la Ecuación 27 media es de 4.6, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que el entorno virtual los ayudo tener mas consideración al momento de planear la trayectoria del robot con fin de evitar colisiones. A continuación los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 5 + 5}{6} = 4.3 \quad (28)$$

Como se muestra en la Ecuación 28 media es de 4.3, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos que usaron el robot están de acuerdo que el entorno virtual los ayudo a planear de mejor manera la trayectoria del robot.

La media alta en ambos grupos indica que los alumnos consideran que el entorno virtual es útil para aprender a planear trayectorias. La media más alta en los alumnos que usaron el entorno virtual primero podría señalar un área de mejora en el entorno virtual. Como se mencionó anteriormente, se buscará desarrollar un entorno virtual más representativo conforme a los temas a enseñar. Estas características adicionales podrían ayudar a mejorar la experiencia de los alumnos.

4.12. Quinta declaración

La quinta declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a entender el modo de movimiento de articulación por articulación.*

El contenido de esta declaración se asocia principalmente con el **AE1**, ya que comprender el movimiento articulación por articulación implica interpretar la lógica ci-

nemática del manipulador y relacionarla con su comportamiento físico. Así, los resultados observados en esta gráfica pueden entenderse como un indicio de fortalecimiento en la comprensión técnica del sistema robótico [3].

Donde:

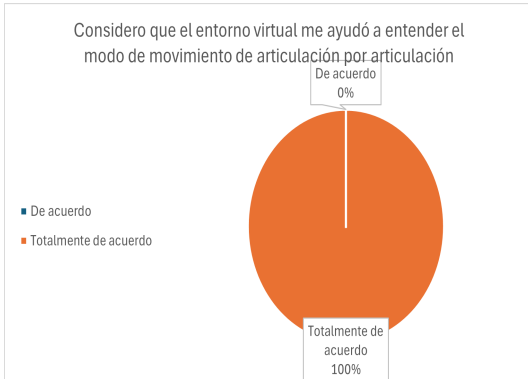


Figura 46: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

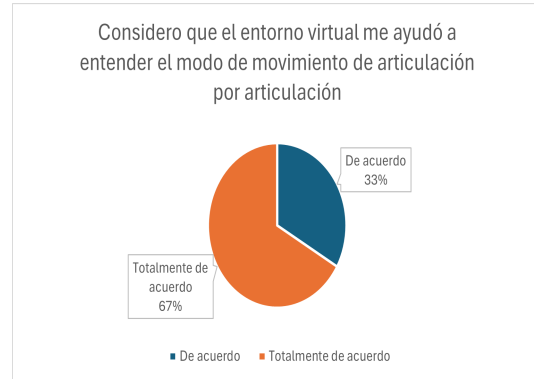


Figura 47: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 48: Comparación de resultados.

A continuación se usará la media para evaluar si la herramienta les ayudo a entender si el entorno virtual ayudo a los alumnos a entender el movimiento articulación por articulación del robot, Este un concepto básico en la programación del robot desde don parten temas mas avanzados. Comenzando por lo alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{5} = 5 \quad (29)$$

Como se muestra en la Ecuación 29 media es de 5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que el entorno virtual los ayudo a comprender el modo de movimiento de articulación por articulación. Continuando con los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 5 + 5 + 5 + 5}{6} = 4.6 \quad (30)$$

Como se muestra en la Ecuación 30 media es de 4.6, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos están de acuerdo en que la herramienta los ayudo a comprender el modo de movimiento de articulación por articulación.

Se obtuvo una media superior a los 4.5 en ambos casos, lo cual sugiere que herramientas de este tipo se comparan con entornos físicos y pueden replicar su funcionalidad con similitud. Esto resaltando el valor educativo del entorno virtual.

Como se observa en los resultados obtenidos la media de los alumnos que usaron el robot el entorno virtual es mayor a la de los alumnos que usaron el robot físico primero, lo que sugiere que la herramienta influye de manera positiva en la percepción de utilidad del entorno virtual, esto puede deberse a la manera en que esta diseñado, con un ambiente didáctico e interactivo. Por parte los alumnos que usaron e, robot físico primero, los cuales mostraron una media mas baja, puede significar un área de mejora para el entorno virtual, donde se pude interpretar que una representación mas semejante a la real puede ayudar a los alumnos complementar los que ya se estudió con el robot real.

4.13. Sexta declaración

La sexta declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a comprender como planear trayectorias.*

Esta gráfica también puede analizarse a la luz del **AE1**, dado que la planeación de trayectorias constituye una actividad central en la resolución de problemas de robótica y automatización. En consecuencia, una respuesta positiva por parte de los estudiantes sugiere que el entorno virtual favorece la apropiación de conceptos aplicados y no únicamente la observación pasiva del robot [3].

Donde:

Se usara la media para determinar si el uso de la herramienta ayudo a la comprensión en planeo de trayectorias cuando se usa un robot. Primero comenzado con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:



Figura 49: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.



Figura 50: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 51: Comparación de resultados.

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{5} = 5 \quad (31)$$

Como se muestra en la Ecuación 31 media es de 4.6, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que el entorno virtual los ayudo a comprender como planear las trayectorias cuando se usa un robot. Continuando con los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 5 + 5}{6} = 4.3 \quad (32)$$

Como se muestra en la Ecuación 32 media es de 4.3, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos están de acuerdo en que el entorno virtual los ayudo a comprender la forma de planear trayectorias.

La media que se presento en los alumnos que usaron el robot primero es menor a la de los alumnos que usaron el entorno virtual primero lo cual podría ser un indicador de un área de mejora, en este caso tomando en cuenta los comentarios de los propios alumnos se puede mejorar la interfaz de control e incluir mas ejercicios o escenarios en el entorno virtual.

4.14. Séptima declaración

La séptima declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a entender como funciona un robot en la vida real.*

Esta declaración puede vincularse tanto con el **AE1** como con el **AE2**. Por una parte, entender el funcionamiento de un robot real exige asimilar principios técnicos de automatización; por otra, hacerlo a través de un entorno virtual evidencia el aprovechamiento de tecnologías emergentes como medio de aprendizaje. Por ello, esta gráfica resulta relevante para sostener que la herramienta tiene un impacto formativo más allá de lo meramente demostrativo [3].

Donde: En esta declaración se usara la media para determinar si el entorno virtual

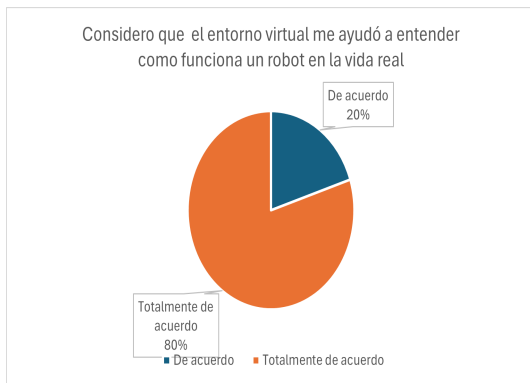


Figura 52: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

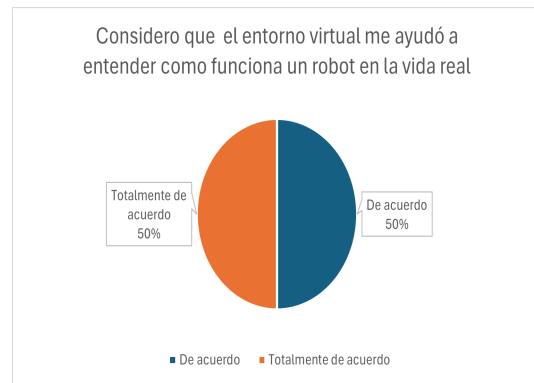


Figura 53: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 54: Comparación de resultados.

ayudo a los alumnos a comprender como funciona un robot en la vida real. comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 4}{5} = 4.8 \quad (33)$$

Como se muestra en la Ecuación 33 media es de 4.8, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que en el entorno virtual los ayudo a comprender como funciona un robot en la vida real. Continuando con los alumnos que usaron el robot

real primero:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 5 + 5 + 5}{6} = 4.5 \quad (34)$$

Como se muestra en la Ecuación 34 media es de 4.5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que en el entorno virtual los ayudo a comprender como funciona un robot en la vida real.

La media en ambos casos es mayor a 4.5 lo cual destaca que se logro representar de buena manera el robot en el entorno virtual y se logro ensañar los conceptos básicos prácticos relacionados a la robótica.

Aunque amabas medias son buenas, haciendo un analizáis mas detallado de las respuestas obtenidas por los alumnos que usaron el robot físico primero, sugiere un área de mejora en las dinámicas y movimientos del robot lo cual haría del robot en el entorno virtual una herramienta aun mas poderosa para comprender como funciona un robot real.

4.15. Octava declaración

La octava declaración es: *Considero que el entorno virtual me ayudó a entender el movimiento del robot en cada eje(X,Y,Z).*

La presente declaración se relaciona principalmente con el **AE1**, ya que la comprensión del movimiento del robot en los ejes cartesianos implica interpretar relaciones espaciales y de control fundamentales en la programación de manipuladores. Los resultados de esta gráfica pueden considerarse una señal de que el entorno virtual facilita la visualización tridimensional y la comprensión geométrica del movimiento robótico [3].

Donde:

En esta declaración se usara la media para evaluar si los alumnos considerando que el entorno virtual los ayudo a comprender el uso de coordenadas globales para movimientos en X, Y y Z . Comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual

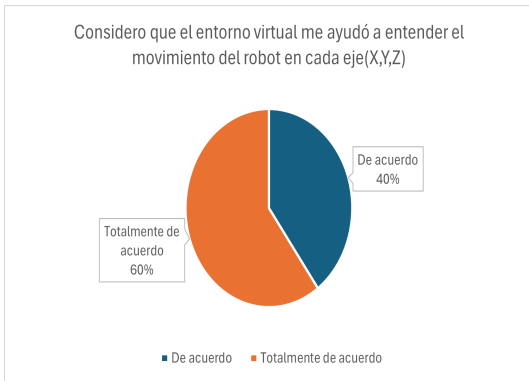


Figura 55: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

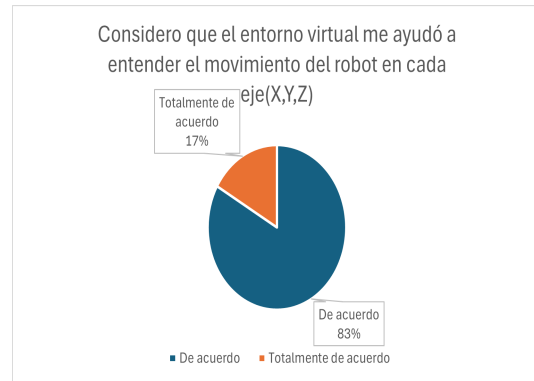


Figura 56: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 57: Comparación de resultados.

primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 4 + 4}{5} = 4.6 \quad (35)$$

Como se muestra en la Ecuación 35 media es de 4.6, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que el entorno virtual los ayudo a comprender el uso de coordenadas globales. Continuando con el los que comenzaron con el robot real:

$$media = \frac{4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 5}{6} = 4.1 \quad (36)$$

Como se muestra en la Ecuación 36 media es de 4.1, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos están de acuerdo en que el entorno virtual los ayudo a comprender el uso de coordenadas globales.

La media obtenida en los alumnos que usaron el robot primero es menor esto puede significar un área de mejora, principalmente en la manera que se representas esta coordenadas en entorno virtual, ya que actualmente solo se muestran en la parte superior derecha del controlador, además las misma limitaciones de la tecnología utilizada puede resultar en un entorno donde sea difícil representar las percepciones espaciales del alumno. Adicionalmente se pueden implementar escenarios mas interactivos que

permitan a los estudiante reforzar estos conceptos.

4.16. Novena declaración

La novena declaración es: *Considero esta herramienta como una ayuda importante para el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería que estén interesados en la programación de robots industriales.*

Esta declaración se asocia de manera importante con el **AE2**, debido a que refleja la aceptación de la realidad virtual como una tecnología emergente con valor formativo en ingeniería. Asimismo, de manera indirecta también se vincula con el **OE4**, ya que pone de manifiesto la pertinencia de incorporar nuevas herramientas tecnológicas en los procesos de actualización y fortalecimiento disciplinar [3].

Donde:



Figura 58: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

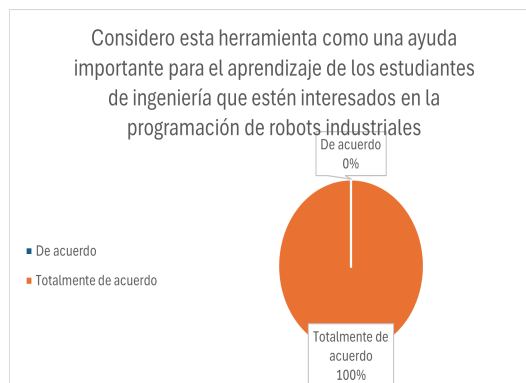


Figura 59: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 60: Comparación de resultados.

A continuación se usara la media para evaluar el atractivo e interés que genera el uso de herramientas de enseñanza fuera de lo convencional como la propuesta en esta investigación. comenzando con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{5} = 5 \tag{37}$$

Como se muestra en la Ecuación 37 media es de 5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que esta herramienta es una ayuda importante para los estudiantes que estén interesados en aprender programación de robots industriales. Continuando con los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5}{6} = 5 \quad (38)$$

Como se muestra en la Ecuación 38 media es de 5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que esta herramienta es una ayuda importante para los estudiantes que estén interesados en aprender programación de robots industriales.

En ambos casos la media obtenida es de 5 puntos, lo cual sugiere una buena aceptación y apertura al uso de nuevos métodos para el aprendizaje por parte de los alumnos. Este nivel de aceptación del entorno virtual reflejan un potencial considerable para escalear el uso de esta tecnología en diferentes contextos educativos y profesiones, ya que una de sus mayores ventajas es la adaptabilidad a diferentes situaciones permitiendo a los alumnos de diferentes disciplinas hacer practicas en un entorno controlado y seguro.

4.17. Décima declaración

La décima declaración es: *Considero que hay ventajas en el uso de la realidad virtual como herramienta de enseñanza sobre los métodos tradicionales.*

La interpretación de esta gráfica se relaciona principalmente con el **AE2**, al evidenciar que los estudiantes reconocen ventajas en el uso de tecnologías emergentes dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. De manera complementaria, este resultado también fortalece la justificación educativa del presente trabajo, ya que sugiere que la herramienta no solo fue aceptada, sino que fue percibida como una alternativa con valor agregado frente a métodos tradicionales [3].

Donde:



Figura 61: Respuesta alumnos que usaron primero el entorno virtual.

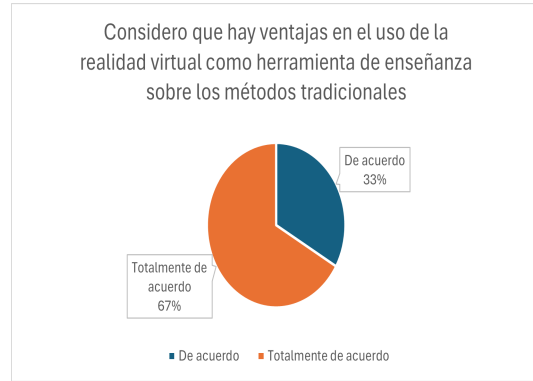


Figura 62: Respuesta alumnos que usaron primero el robot.

Figura 63: Comparación de resultados.

A continuación se usara la media para evaluar si los alumnos consideran que si hay ventajas en el uso de la realidad virtual como herramienta de enseñanza sobre los métodos tradicionales. comenzando primero con los alumnos que usaron el entorno virtual primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 5}{5} = 5 \tag{39}$$

Como se muestra en la Ecuación 39 media es de 5, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que esta herramienta ofrece ventajas sobre los métodos de enseñanza tradicionales. continuando los alumnos que usaron el robot primero:

$$media = \frac{5 + 5 + 5 + 5 + 4 + 4}{6} = 4.6 \tag{40}$$

Como se muestra en la Ecuación 40 media es de 4.6, lo cual sugiere que, en promedio los alumnos concuerdan en que esta herramienta ofrece ventajas sobre los métodos de enseñanza tradicionales.

La realidad virtual presenta ventajas como la capacidad de proporcionar retroalimentación inmediata y ajustarse en tiempo real. Esto se muestra cuando en el entorno virtual cuando sucede una coalición del manipulador o si el usuario entra al espacio del

trabajo del robot. Al incluir este tipo de dinámicas e interacciones los alumnos pueden prepararse en ambiente simulado y de esta manera reducir la ansiedad y aumentar la confianza.

La media obtenida por los estudiantes que utilizaron el primero es menor a los que usaron el entorno virtual primero lo cual sugiere un área de oportunidad, el incluir mas escenarios y practicas con el objetivo conseguir de un entorno virtual mas realista.

La elección de la media como herramienta de análisis en esta investigación se justifica por su capacidad para proporcionar una medida central que sintetiza las percepciones de los estudiantes sobre el entorno virtual inmersivo. Al utilizar una escala de Likert, que asigna valores numéricos a diferentes niveles de acuerdo o desacuerdo, la media permite resumir estas respuestas en un único valor representativo. Este enfoque facilita la identificación de tendencias generales en las opiniones de los participantes, lo que es crucial para evaluar la efectividad del entorno virtual en comparación con métodos de enseñanza tradicionales [?].

Los resultados obtenidos mediante la escala de Likert no solo reflejan la percepción de los estudiantes sobre el uso del entorno virtual, sino que también pueden interpretarse en términos del desarrollo de atributos de egreso.

Por ejemplo, las respuestas relacionadas con la comprensión del funcionamiento del robot y la facilidad de aprendizaje pueden asociarse con el atributo AE1, mientras que la aceptación del uso de tecnologías como la realidad virtual se vincula con el atributo AE2. Asimismo, la percepción de seguridad y confianza durante la interacción con el sistema virtual se relaciona con el atributo AE4.

En este sentido, los resultados sugieren que el entorno virtual no solo es bien aceptado por los estudiantes, sino que también contribuye al desarrollo de competencias alineadas con los estándares de CACEI.

5. Conclusiones

En cuanto a la elección de utilizar *Unity*, esta se fundamenta en su consolidación como una plataforma eficiente para el desarrollo de entornos tridimensionales interactivos y simulaciones en tiempo real. *Unity* permite la implementación de modelos jerárquicos basados en transformaciones, lo cual resulta particularmente adecuado para la representación de cadenas cinemáticas en manipuladores robóticos [22]. Además, su flexibilidad facilita la integración con herramientas de modelado como *Blender*, permitiendo la importación de modelos tridimensionales y reduciendo significativamente el tiempo de desarrollo.

En este sentido, el uso combinado de herramientas de modelado y motores de simulación ha sido ampliamente adoptado en aplicaciones recientes, incluyendo simulación de sistemas multicuerpo, entornos interactivos y desarrollo de sistemas autónomos [14, 25]. Esta integración permite no solo la representación visual de sistemas complejos, sino también su análisis funcional dentro de entornos controlados.

Por otra parte, la realidad virtual ha demostrado ser una herramienta eficaz en el ámbito educativo, particularmente en áreas técnicas como la ingeniería. Diversos estudios recientes han evidenciado mejoras en la comprensión de conceptos complejos y en la retención del conocimiento cuando se emplean entornos inmersivos [6, 20]. Esto se debe a la posibilidad de interactuar directamente con los sistemas, lo cual favorece el aprendizaje basado en la experiencia.

Asimismo, el desarrollo de tecnologías más accesibles ha permitido que la realidad virtual se integre progresivamente en contextos educativos. A pesar de que aún existen limitaciones relacionadas con el acceso al hardware y ciertas restricciones fisiológicas, como el mareo en algunos usuarios, la tendencia apunta hacia una mayor adopción de estas tecnologías en los próximos años.

Desde una perspectiva educativa, este trabajo propone una herramienta que busca complementar los métodos tradicionales de enseñanza, particularmente en áreas donde el acceso a equipos físicos es limitado. La simulación de manipuladores robóticos en un

entorno virtual permite a los estudiantes experimentar con sistemas reales de manera segura, sin los riesgos ni costos asociados a la infraestructura física.

Adicionalmente, la implementación de este tipo de herramientas resulta especialmente relevante en contextos donde existen limitaciones económicas o geográficas, ya que permite democratizar el acceso a experiencias prácticas. Esto adquiere mayor importancia en escenarios como la educación a distancia, donde la interacción con equipos reales no siempre es posible.

En términos de impacto académico, el entorno desarrollado contribuye al fortalecimiento de competencias clave en la formación de ingenieros, tales como la aplicación de conocimientos técnicos, el uso de tecnologías emergentes y la resolución de problemas en entornos controlados. Estos aspectos se alinean con los atributos de egreso definidos por organismos de acreditación como CACEI.

Finalmente, se concluye que el uso de entornos virtuales inmersivos representa una alternativa viable para complementar la enseñanza en ingeniería. La herramienta desarrollada no solo cumple con su función didáctica, sino que también establece un puente entre el análisis teórico y la práctica, permitiendo a los estudiantes interactuar con modelos complejos de manera intuitiva. En este sentido, la realidad virtual se posiciona como una tecnología con alto potencial para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la ingeniería.

Referencias

- [1] A. et al. Ali. Likert measurement scale in education and social sciences. *Journal of Social Sciences*, 2024.
- [2] A. Brancaccio et al. Virtual reality laboratories in engineering blended learning. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 2023.
- [3] CACEI. Marco de referencia para la acreditación de programas de ingeniería, 2018.
- [4] Z. Dodevska et al. Virtual reality as a learning tool in simulation laboratories. *Heliyon*, 2025.
- [5] Michel Enrique Gamboa Graus. Escalas de medición estadística. *Revista Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 13(1), 2022.
- [6] O. Halabi. Virtual reality in education: A systematic review. *Education Sciences*, 2020.
- [7] X. et al. Huang. Applications of virtual reality in robotics education. *IEEE Access*, 2023.
- [8] Minseok Koo. Likert-type scale. *Encyclopedia*, 2025.
- [9] G. Lampropoulos et al. Virtual reality in engineering education: A scoping review. *Education Sciences*, 2025.
- [10] X. Li et al. Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(1), 2024.
- [11] Mariana Maggio. La enseñanza en tiempos de pandemia: desafíos y oportunidades. *Revista Educación*, 2021.
- [12] G. Makransky. Immersive virtual reality for engineering learning. *Educational Psychology Review*, 2019.

- [13] Guido Makransky and Gitte B. Petersen. Immersive virtual reality and learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 2021.
- [14] M. Mohammadi. Photogrammetry and simulation of multibody systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2020.
- [15] Sanghoon Park and Sungwon Kim. Metaverse for education: A systematic review. *Computers & Education: X Reality*, 2023.
- [16] J. et al. Radianti. Virtual reality in engineering education. *Computers & Education*, 2020.
- [17] Jaziar Radianti, Tim A. Majchrzak, Jennifer Fromm, and Isabell Wohlgenannt. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education. *Computers & Education*, 147:103778, 2020.
- [18] Juan Luis Reyes Cruz, Manuel Alfonso Garzón Castrillón, and Blanca Tapiá Sánchez. Diseño y validación de una escala tipo likert para establecer características emprendedoras. *Dimensión empresarial*, 16(2):135–160, 2018.
- [19] Ildefonso Ruano Ruano, Elisabet Estévez Estévez, Alejandro Sánchez García, Javier Gámez García, and Juan Gómez Ortega. Integración de laboratorios online en entornos de aprendizaje. In *XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica: Proceedings TAAE 2020= XIV Conferência em Tecnologias Aplicadas ao Ensino da Eletrónica= XIV Conference on Technology, Teaching and Learning of Electronics*, pages 303–310. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2020.
- [20] Maged Soliman, Apostolos Pesyridis, Damon Dalaymani-Zad, Mohammed Gronfula, and Miltiadis Kourmpetis. The application of virtual reality in engineering education. *Applied Sciences*, 11(6), 2021.
- [21] M. et al. Speicher. What is mixed reality? *CHI Conference Proceedings*, 2019.

- [22] Unity Technologies. Unity user manual: Transform component, 2023.
- [23] José Varela-Aldás, Guillermo Palacios-Navarro, Rebecca Amariglio, and Iván García-Magariño. Head-mounted display-based application for cognitive training. *Sensors (Switzerland)*, 20(22):1–22, 2020.
- [24] P. et al. Wang. Applications of game engines in virtual reality education. *Computers & Education*, 2022.
- [25] K. Wong. Applications of virtual reality in engineering education. *IEEE Access*, 2020.
- [26] Yuxuan Zhang, Hexu Liu, Shih-Chung Kang, and Mohamed Al-Hussein. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. *Automation in Construction*, 118:103–311, 2020.