



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y desarrollo de experimento
virtual de transferencia de energía
calorífica**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

César Octavio Flores Juárez

Pablo Andrés Molina González

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M. en A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto PAPIME PE104620 por su gran apoyo en el desarrollo del presente proyecto.

Asimismo, agradecemos al M.A. Luis Yair Bautista Blanco, quien mostro todo su interés y brindo todo el apoyo necesario para llevar a cabo este proyecto en cada una de sus etapas.

Pablo Andrés Molina González

Agradezco primeramente a Dios, quien siempre ha estado presente y ha sido mi apoyo incondicional durante toda mi vida.

Agradezco a mis padres, Lupita y Fernando, por su inagotable esfuerzo por lograr que yo llegara hasta este punto. Alcanzar mi título como Ingeniero Mecatrónico es un logro en conjunto de ellos y mío, los amo mucho.

También agradezco a mis hermanos quienes también han sido soporte mío en muchos aspectos durante este tiempo. Igualmente, a mis primos, tíos, abuelitos y demás familia que, por más mínimo o grande esfuerzo que hayan hecho por mí, han logrado que yo sea quien soy ahora. Comparto este logro con cada uno de ellos.

Agradezco a la Universidad Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a cada uno de los docentes que me impartieron alguna clase, por brindarme una gran y completa educación.

Quiero agradecer a todos mis amigos y compañeros con los que compartí mi estadía como estudiante en la UNAM, principalmente a los Pap's, a los M.A. de M., al Depto. De Mecatrónica, a los Yuki amigos y a María Salas.

Por último, y no por eso menos importante, agradezco especialmente a mi compañero y gran amigo César Octavio por compartir la elaboración de este proyecto y por ser mi amigo y gran apoyo antes, durante y después del mismo.

César Octavio Flores Juárez

Agradezco a mi compañero y gran amigo Pablo, quien me permitió compartir este camino desde el bachillerato hasta la licenciatura y culminar ésta de una manera interesante, enriquecedora y llena de buenas experiencias.

El presente trabajo es fruto de la dedicación y esfuerzo de muchas personas, gran parte de éstos se deben a mi papá Tomás, quien me apoyó a lo largo de toda mi vida académica. Agradezco sus palabras, su motivación y su dedicación para brindarme de todas las herramientas para conseguir mis sueños.

Agradezco a mi madre Gloria, quien ha vivido en mi corazón todos estos años y me ha impulsado a no claudicar en los peores escenarios.

Agradezco a mis hermanos Tomás y Jacqueline, no tengo palabras para describir mi agradecimiento, su apoyo incondicional me permitió seguir adelante ante toda adversidad.

Agradezco a mis compañeros de clase, tanto de la Facultad de ingeniería como de la E.N.P. #5 y a mis amigos con quienes aprendí el maravilloso valor de la amistad, de la admiración, de la responsabilidad y del respeto mutuo, en especial a Gustavo, Karen, Ari, Emilia, Aimeé, Miguel, Enrique y Pau.

Agradezco a la Universidad Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por proporcionarme conocimientos de una calidad excepcional, de experiencias, de valores, por forjarme culturalmente y permitirme conocer personas de gran calidad humana.

En especial, agradezco al M.E.M Enrique Arenas, quien me compartió el amor por las ciencias básicas y con ello reforzar y engrandecer el gusto de transmitir el aprendizaje con humanismo.

Per ardua ad astra

Índice

Introducción	5
1. Planteamiento del problema	6
1.1. Justificación	6
1.2. Objetivos generales.....	9
1.3. Objetivos específicos.....	9
2. Antecedentes	10
2.1. Experimento a virtualizar	10
2.2. Realidad virtual	12
2.3. Oculus Quest.....	13
2.4. Unity.....	13
2.5. Blender	14
2.6. Inventor	15
2.7. Microsoft Visual Studio	15
3. Diseño y desarrollo.....	16
3.1. Concepto	16
3.1.1. Requerimientos.....	16
3.1.2. Especificaciones	17
3.1.3. Propuesta	18
3.2. Modelado	19
3.3. Elaboración del entorno virtual	26
3.4. Programación de scripts	27
3.5. Implementación del ambiente.....	30
3.5.1. Aplicación de escritorio.....	30
3.5.2. Aplicación web	31
3.5.3. Aplicación inmersiva	32
4. Pruebas.....	41
4.1. Pruebas con aplicación de escritorio	41
4.2. Pruebas con aplicación web.....	48
4.3. Pruebas con aplicación inmersiva	54
5. Resultados	77
5.1. Resultados de la aplicación de escritorio.....	77
5.2. Resultados de la aplicación web	82
5.3. Resultados de la aplicación inmersiva	88
6. Conclusiones	93

7. Trabajo a futuro	96
Referencias.....	98

Introducción

Debido a los cambios y avances tecnológicos que el mundo y la sociedad han experimentado en los últimos años, la humanidad ha tenido la necesidad de adaptarse constantemente permitiéndose desarrollar nuevas perspectivas y herramientas que le ayuden a afrontar estos cambios en cualquier ámbito en que se presenten. La educación y la forma de aprender en las escuelas no están exentas de dicha evolución.

En el presente documento se desarrolla un proyecto que responde a la adaptación en la forma de enriquecer el aprendizaje universitario por medio de la virtualización de un proceso físico-químico de transferencia de energía implementado en una práctica de laboratorio.

En el capítulo 1 se describe el planteamiento de la problemática que será atendida por medio de la virtualización, detallando además como esta técnica ha sido implementada en otras partes del mundo y dan solución a necesidades y problemas en específico, así como los objetivos que se deben cumplir durante la ejecución del proyecto.

A través del capítulo 2 se indaga en el proceso que se quiere virtualizar abordando principalmente aquellos aspectos no deseables que se presentan indiscutiblemente al momento de desarrollar la práctica de manera presencial, tales como riesgos, peligros o limitaciones. Asimismo, se presenta una breve introducción a lo que son las herramientas que se utilizarán para el desarrollo del proyecto.

Para desarrollar un entorno de realidad virtual desde cero es necesario un proceso de diseño, en el que se identifican los requerimientos y especificaciones para generar una propuesta que los satisfaga. Es así que en el capítulo 3 se aborda este proceso de modelado, construcción, programación e implementación de todo el entorno.

Con el fin de llevar a la ejecución el proyecto y así obtener retroalimentación, en el capítulo 4 se describe cómo fue el proceso de pruebas con los usuarios potenciales en las diferentes versiones del entorno virtual.

En el capítulo 5 se da un avistamiento a los resultados que se obtuvieron tras la realización de las pruebas con usuarios, siendo posteriormente analizados para presentar las conclusiones de todos ellos que se encontrarán en el capítulo 6 del trabajo.

Finalmente, en el capítulo 7 se describen aquellos puntos que resultó importante tener en consideración para realizar un trabajo futuro de reprocesamiento del entorno virtual con la finalidad de crear una nueva versión mejorada del mismo.

1. Planteamiento del problema

En la búsqueda de implementar la realidad virtual para la mejora del proceso y experiencia del aprendizaje en las escuelas, se encuentran algunas limitantes a las que se enfrentan los alumnos en el desarrollo de sus prácticas de laboratorio. Para el caso particular de este proyecto se aborda un sistema en el que se presentan restricciones de tiempo, espacio y recursos.

Es por esto que se busca desarrollar, a través de este proyecto, un entorno virtual que permita a la comunidad académica tener acceso a recursos didácticos prácticos sin necesidad de asistir a un laboratorio de manera presencial, mejorando el desarrollo de las prácticas, potencializando la experiencia de aprendizaje en los estudiantes y reforzando los conocimientos adquiridos a lo largo de su plan de estudios.

1.1. Justificación

La implementación de la realidad virtual ha tomado importancia dentro de diferentes ámbitos como la ingeniería, la medicina, la química y no está fuera del área académica. Los estudiantes en repetidas ocasiones se ven limitados a comprender conceptos, procesos, todo lo que involucra para su formación, por medio de herramientas que suelen no cubrir la necesidad de transmitir el conocimiento adecuadamente como los pizarrones, apuntes o imágenes. En los últimos años el avance tecnológico ha permitido implementar programas de cómputo capaces de modelar y/o simular conceptos que mejoran el entendimiento de los estudiantes, por ejemplo, para observar figuras en tres dimensiones, siendo capaces de manipularlos para comprender diferentes puntos de vista. De esta manera, estudiantes y docentes de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), haciendo uso de software especializado como Unity 3D y Vuforia, desarrollaron una aplicación combinando la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada con el fin de incentivar el desarrollo de la capacidad espacial de los estudiantes de la carrera de Diseño Técnico y así facilitar la integración de los conceptos involucrados en sus materias [1].

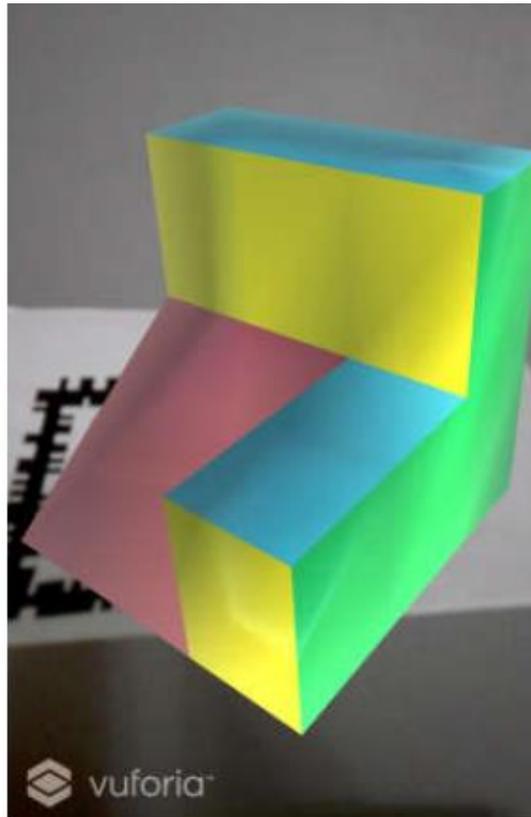
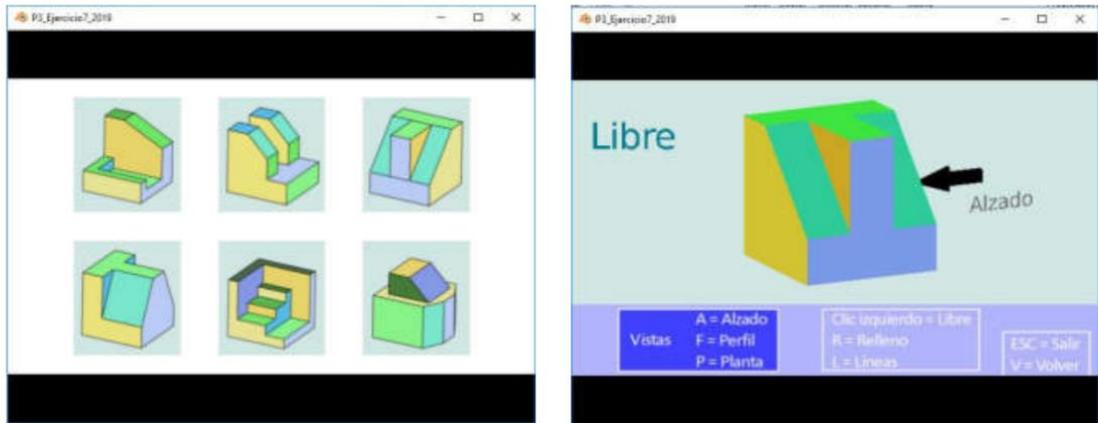


Figura 1. Modelos realizados por alumnos y docentes de la UNSL mostrados en realidad virtual (superior) y en realidad aumentada (inferior).

Virtualizar ambientes que existen en la vida real, como un laboratorio, permite tener una experiencia semejante a la que se tiene al estar físicamente, como es desplazarse a lo largo del espacio, ver, tomar y manipular objetos, responder a los fenómenos de la naturaleza como la gravedad, el concepto de masa, y se pueden agregar propiedades de la materia como uno lo desee. Esto trae como ventaja usar un mismo espacio (virtual) por múltiples personas ofreciendo un ahorro significativo al momento de querer implementar nuevos laboratorios que se ven limitados por espacio físico, materiales o equipo y claro, presupuesto. La realidad virtual es una herramienta versátil, pues se puede implementar desde dispositivos específicos, hasta la computadora o el celular, teniendo la oportunidad de acercar esta tecnología a más personas.

La Universidad Nacional Autónoma de México destaca por la calidad de sus laboratorios, con tecnología de vanguardia capaz de competir internacionalmente y que pone a disposición de su comunidad con fines educativos y de investigación. Desafortunadamente la capacidad de

estos se ve opacada por el número de alumnos, limitando la experiencia de su uso o como en otras circunstancias, por ejemplo, en la pandemia generada por COVID 19 que provocó la suspensión de actividades en marzo del 2020, los alumnos no podían asistir a los laboratorios sin oportunidad alguna de continuar sus estudios cuando la interacción con estos espacios es primordial en su formación académica.

Partiendo de la pandemia que azotó, no solo a México sino a todo el mundo por más de un año, la comunidad académica se vio obligada a buscar alternativas de enseñanza desde pizarras electrónicas, videos, plataformas interactivas, aplicaciones móviles, entre otras herramientas que nos ofrece la tecnología moderna para poder conseguir una experiencia inclusive mejor que la enseñanza tradicional. La realidad virtual permite implementar entornos capaces de simular una interacción real de ciertos espacios a los que necesitamos interactuar en la vida real. Poniendo como ejemplo, en el IES Virgen del Pilar, España, desarrollaron un software en realidad virtual para formar a técnicos en refrigeración industrial en procesos que requieren el uso de amoniaco como refrigerante, por lo que les ayuda a aprender de forma práctica y remota y al mismo tiempo permite el cuidado de su salud lo más posible [2].



Figura 2. Software de enseñanza desarrollado en el IES Virgen del Pilar, España.

1.2. Objetivos generales

Diseñar, modelar, programar e implementar un banco de pruebas de un experimento mediante el uso de realidad virtual que apoye a los alumnos a llevar a cabo sus actividades prácticas, promoviendo la accesibilidad y disposición a los recursos necesarios para realizarlas, así mismo proveer una herramienta que ayude a potencializar el aprendizaje y motive al alumnado durante el desarrollo de sus prácticas.

1.3. Objetivos específicos

- Seleccionar el elemento a virtualizar.
- Elaborar el modelo 3D de todos los elementos visibles presentes en el experimento y en el laboratorio de pruebas.
- Crear y configurar el entorno virtual y realizar la distribución de todos los elementos.
- Programar los algoritmos que permitan el correcto funcionamiento del entorno.
- Adecuar la aplicación para su uso en diversas plataformas.

2. Antecedentes

El equipo de trabajo tuvo un acercamiento con alumnos de la Facultad de Química, los cuales expusieron las limitantes que tienen en uno de los laboratorios para realizar una práctica y la potencial oportunidad de virtualizar dicho espacio.

Tomando en cuenta los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería mecatrónica como la programación, la instrumentación y la capacidad de modelar matemáticamente eventos físicos, se propone a nuestros compañeros de la Facultad de Química virtualizar dicha práctica de laboratorio

Cabe hacer mención de que dicho acercamiento se realizó previo al confinamiento ocasionado por la pandemia del SARS-CoV-2.

Para poder entender de mejor manera el proyecto y cómo realizar su implementación es necesario definir algunos conceptos y conocer las herramientas que se emplearan para su desarrollo.

2.1. Experimento a virtualizar

La práctica en cuestión tiene como principal objetivo determinar experimentalmente el efecto de un dispositivo que permite distribuir el calor a lo largo de una barra cilíndrica a través del tiempo. El desarrollo se lleva a cabo de acuerdo al siguiente guion experimental:

- 1) Identificar la barra metálica de aluminio y las posiciones de entrada del termopar del termómetro digital.
- 2) Purgar las cámaras y las líneas de vapor abriendo las válvulas V3 y V5. Ver la Figura 3. Abrir lentamente V1, con ayuda de guantes y escalera. Después de purgar, cierre V4.
- 3) Abrir lentamente V2 hasta alcanzar la presión de vapor de 2 kgf/cm². Mantener la presión de operación en este valor estable, regulando constantemente y/o cuando se requiera.
- 4) Registrar, a tiempo cero, las temperaturas a lo largo de la barra insertando el termopar en los orificios indicados.
- 5) Realizar las mediciones y llenar la tabla de datos cada 10 minutos.
- 6) Al término de la experimentación, cerrar las válvulas y abrir la válvula V3 para que salgan los condensados.

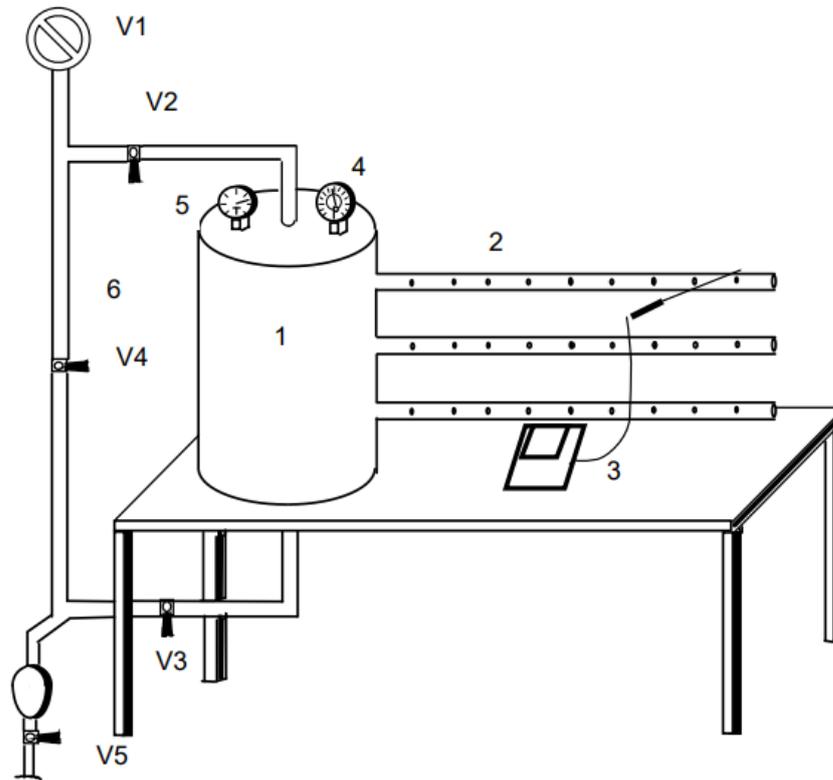


Figura 3. Equipo de conducción de barras metálicas.

De igual manera se tuvo un acercamiento con una de las profesoras que guía la práctica para conocer, desde el punto de vista docente, cuáles son los principales obstáculos y/o limitaciones que pueden presentarse al momento de realizar la práctica y que, a su vez, puedan ser resueltos mediante la virtualización del experimento.

La conversación se enfocó en 4 temas principales:

1. Seguridad:

Para el desarrollo de la práctica es necesario el uso de una caldera con el fin de obtener vapor de agua a alta temperatura (alrededor de 120 °C) la cual sirve para elevar la temperatura de la barra en uno de sus extremos. Debido a esto, la manipulación por parte de los alumnos se ve limitada debido al riesgo de sufrir quemaduras por contacto con los elementos del sistema termodinámico, ya sea con los conductores de vapor, las válvulas o con el vapor mismo.

Por otro lado, otro riesgo de seguridad asociado se genera a partir de la velocidad con que se abren y cierran algunas válvulas del sistema, ya que si no se abren y/o cierran lentamente puede presentarse un golpe de ariete en las mangueras.

Otro factor que se considera que impacta en la seguridad de los alumnos, consiste en que, al purgar las válvulas del sistema, el vapor se condensa humedeciendo el piso y por lo tanto es propenso a provocar accidente al pasar.

2. Equipo disponible:

Se comenta que en este laboratorio se cuenta con un solo equipo de conducción y que actualmente los grupos que realizan estas prácticas están conformados por 12 personas aproximadamente, siendo necesarios solo 4 usuarios para poder operar el equipo. La presencia de demasiados alumnos haciendo uso de un solo equipo puede reducir la visibilidad de aquellos

que no realizan actividades operativas de manera activa, e inclusive llega a repercutir en el interés de los alumnos y en su aprendizaje de la metodología del proceso. El contar con más equipo podría permitir que el desarrollo de la práctica sea óptimo.

3. Condiciones ambientales:

Como ya se comentó en el punto anterior, el hecho de que varios alumnos hagan uso de un solo banco de pruebas también puede repercutir a que, al estar todos aglomerados alrededor del experimento, la circulación del aire no sea la ideal, o al menos no sea la misma con la que se realizaron los cálculos teórico-prácticos con que se diseñó el desarrollo y resultado óptimo de la práctica.

Al utilizar el vapor de agua como medio para elevar la temperatura de la barra, es necesario regular constantemente la presión a la que se encuentra el tanque que lo almacena para así controlar su temperatura. Sin embargo, se comenta que este trabajo es un proceso manual que realizan los alumnos por lo que es complicado mantener constante dicha temperatura del vapor.

4. Limitaciones físicas:

El espacio de trabajo en donde se desarrolla la práctica es propenso a que los alumnos se distraigan, ya que normalmente se tienen otros grupos de alumnos trabajando a un lado por lo que existe una gran saturación de ruido.

Por otra parte, el experimento se puede realizar únicamente probando la capacidad de conducción de un único material debido a la dificultad física de desmontaje y cambio de la barra metálica necesaria para su operación, limitando así la prueba a sólo un material y geometría del mismo. Adicional, un punto de mejora que se identificó es que no solo se puede trabajar con barras cilíndricas si no con otras geometrías en un ambiente idealizado.

2.2. Realidad virtual

Un sistema de Realidad Virtual se define como “un mundo que a pesar de no tener ninguna realidad física es capaz de darle al usuario, a través de una estimulación adecuada de su sistema sensorial, la impresión perfecta de estar en interacción con un mundo físico” [3]. La computadora y visores de realidad virtual hacen posible llegar a esta estimulación, cada vez las características que componen a la realidad virtual son más semejantes a la realidad mejorando la experiencia del usuario y eliminando la necesidad de la existencia física de espacios.



Figura 4. Usuario inmerso en entorno de Realidad Virtual [4].

2.3. Oculus Quest

La tecnología ha permitido el desarrollo de dispositivos con el fin único de visualizar e interactuar en ambientes de Realidad Virtual. Oculus es una compañía estadounidense, que pertenece actualmente a Facebook, que desarrolla tecnología para este ámbito, entre sus productos se encuentra el Oculus Quest, un dispositivo capaz de ejecutar software sin necesidad de una computadora gracias a su sistema operativo incluido basado en Android, un sistema que se encuentra en más de la mitad de los teléfonos inteligentes del mercado. El dispositivo consta de 3 elementos principales: un visor que permite la inmersión en lo audiovisual y 2 controles, uno para cada mano, los cuales permiten interactuar con los objetos y con las interfaces de usuario.



Figura 5. Dispositivo Oculus Quest.

Para el desarrollo del software que se ejecuta tanto en este dispositivo de Realidad Virtual como en la computadora, se requiere un motor gráfico que cubra nuestra necesidad de virtualizar el laboratorio.

2.4. Unity

Unity es un motor gráfico para el desarrollo e implementación de contenido 3D, que permite crear software para múltiples sistemas operativos de computadora como Microsoft Windows, Mac OS, Linux y también para dispositivos móviles con Android y iOS.

El lenguaje que utiliza para llevar a cabo la lógica del software es C#. En los últimos años Unity ofrece herramientas que permiten desarrollar Realidad Virtual de una forma fácil e integral, además de que goza de una amplia comunidad que pone a disposición complementos o documentación de proyectos que se han realizado a lo largo del tiempo.

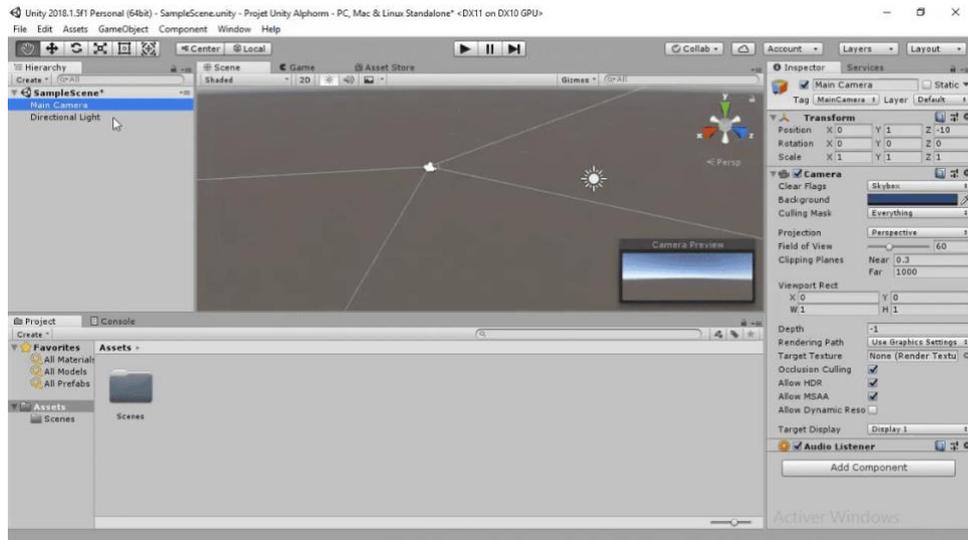


Figura 6. Interfaz de desarrollo de Unity 3D.

En Unity es necesario incluir modelos en 3D que representen los objetos físicos con los que el usuario interactúa, para ello se requiere de software especializado en modelado y diseño 3D.

2.5. Blender

Blender es un software libre y de código abierto para modelar, texturizar y animar objetos tridimensionales. Cualquier entorno virtual en su mayoría está conformado por este tipo de objetos, por lo que el uso de este software en el proyecto es indispensable para poder representar la ejecución de la práctica.

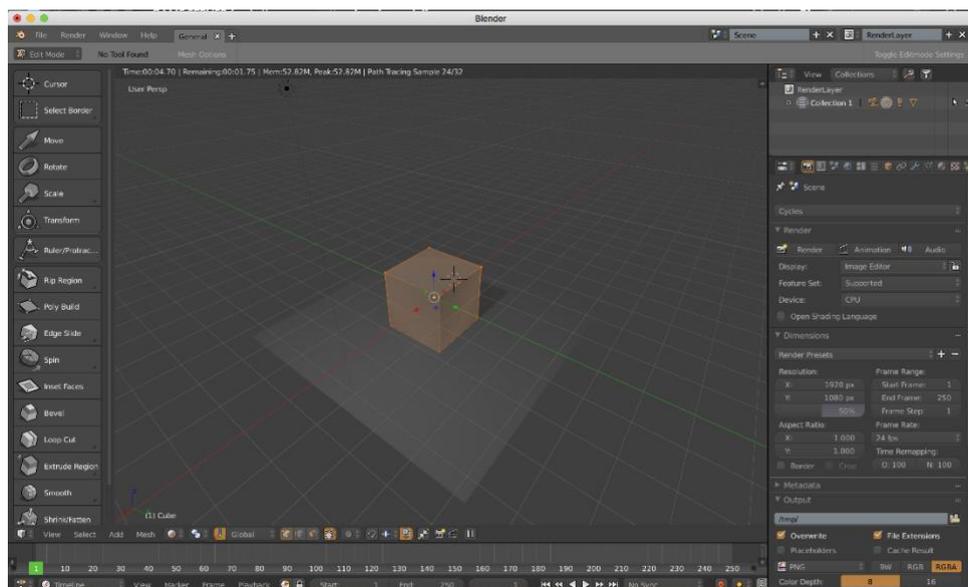


Figura 7. Interfaz de desarrollo de Blender.

Para la elaboración de objetos con particularidades y medidas muy específicas es necesario hacer uso de otro tipo de software de modelado que permitiera cubrir esta necesidad de precisión.

2.6. Inventor

Inventor es un software de modelado de sólidos en 3D que es distribuido por la reconocida marca Autodesk. Piezas como sensores, partes mecánicas o piezas con un detalle más complejo se realizan con este software. Además, en la facultad de ingeniería se incluye como parte del software para desarrollar temarios de materias como: Diseño y manufactura asistido por Computadora, Dibujo mecánico e Industrial, Diseño de elementos de máquinas, entre otros.

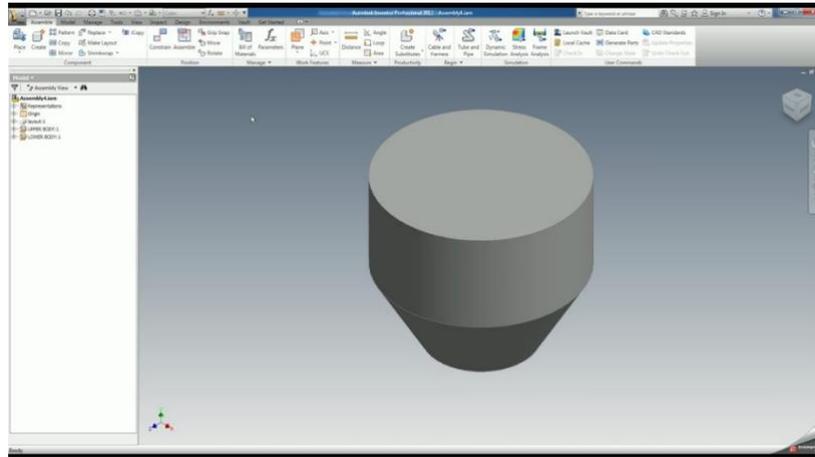


Figura 8. Interfaz de desarrollo de Autodesk Inventor.

2.7. Microsoft Visual Studio

Con el objetivo de hacer que cada objeto respete ciertas reglas, se mueva de lugar, interactúe con otros objetos o realice diversas acciones dentro de la simulación es necesario que exista un programa o código que provea las instrucciones necesarias para realizarse. Es por eso que empleamos Visual Studio, el cual es un entorno de desarrollo que proporciona servicios integrales que facilitan la programación de scripts. Cuenta con una interfaz de edición de código y herramientas útiles como el autocompletado inteligente de instrucciones y visualizador de sintaxis permitida o requerida. Este software es compatible con múltiples lenguajes de programación, sin embargo, para su interacción con Unity se necesita hacer uso del lenguaje C# y su paradigma orientado a objetos.

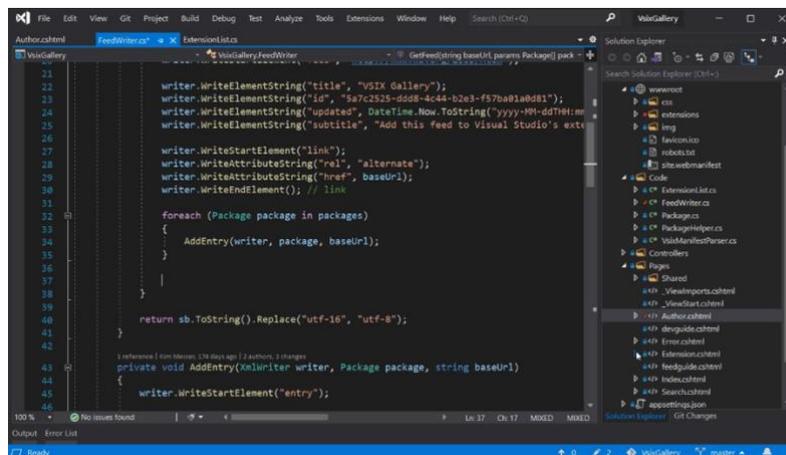


Figura 9. Interfaz de desarrollo de Microsoft Visual Studio.

3. Diseño y desarrollo

Una vez teniendo en cuenta las herramientas necesarias para la elaboración de un ambiente virtual, es necesario delimitar el proyecto sobre el que se van a aplicar, con el fin de tener claros los alcances y las restricciones que puedan presentarse, derivadas de los requerimientos y especificaciones. Para lo anterior, es que se tiene una aproximación con algunos usuarios para poder entender cómo se llevan a cabo las prácticas, y de esta manera poder tener más clara la representación visual y mental del proyecto a desarrollar, es decir, generar lo que se denomina como concepto.

3.1. Concepto

Los usuarios mostraron el experimento que se pretende virtualizar, el cual se encuentra en el Laboratorio de transferencia de energía de la Facultad de Química de la UNAM. Explicaron las generalidades del experimento, en qué consiste y cómo se lleva a cabo, así como las restricciones con las que se enfrentan, las condiciones ideales a la hora de llevar a cabo la práctica y las áreas de oportunidad de mejora.



Figura 10. Experimento físico de transferencia de energía, Facultad de Química, UNAM.

Luego de conversar con los usuarios, de la entrevista que se tuvo con una docente (Sección 2.1 del presente trabajo) y de observar y analizar el banco de pruebas, se definen los requerimientos y las especificaciones que demarcarán el desarrollo del proyecto.

3.1.1. Requerimientos

Se elabora una lista con todos los elementos que se consideran indispensables para incluir en el entorno de realidad virtual, así como las instrucciones y pasos que se deben de seguir para el correcto desarrollo de la práctica.

Los elementos obligatorios que deben incluirse son:

- Mesa o escritorio
- Barras de metal
- Cámara de enfriamiento
- Soporte Universal
- Sistema para calentar la barra
- Sensor de temperatura
- Texto con el valor de la distancia a la que se encuentra el sensor a lo largo de barra

- Texto con el valor de la temperatura registrada del sensor
- Texto con el valor de la temperatura ambiente

La secuencia de pasos que debe seguirse es:

1. Seleccionar una sola barra de algún material.
2. La barra debe tener conectada a un extremo la fuente de calor y al otro la cámara de enfriamiento.
3. Iniciar el experimento, asumiendo que este iniciará desde el estado estacionario.
4. La barra debe calentarse desde el extremo en que tiene conectada la fuente calorífica con lo que debe generarse el perfil de calor a lo largo de la barra.
5. El sistema de calentamiento puede apagarse en cualquier momento provocando el enfriamiento de la barra debido a la acción de la temperatura ambiente.
6. De igual manera puede volver a prenderse y provocar que la barra vuelva a aumentar su temperatura.
7. El sensor deberá poder moverse a lo largo de la barra.
8. El sensor debe medir y mostrar la temperatura que registra, así como su posición actual a lo largo de la barra.
9. Posibilidad de cambiar la barra actual por otra de otro material. Solo cuando la barra esté (completamente fría/ a temperatura ambiente)

3.1.2. Especificaciones

Es necesario definir las características cualitativas y cuantitativas de los elementos requerimientos, las cuales son las siguientes:

- La barra debe medir 1 metro de longitud y 1.9 cm de diámetro.
- Se dispone de 4 tipos de materiales.
- La temperatura ambiente debe oscilar entre los 5 y los 45 grados Celsius.
- Debido a la existencia de material previamente adquirido para el proyecto, se usará una resistencia térmica para generar el efecto de calentamiento sobre la barra; el valor mínimo al que podrá estar la resistencia dependerá de la temperatura ambiente, y podrá alcanzar 600 grados Celsius.
- El valor de la temperatura debe mostrar un máximo de 2 decimales y debe estar en grados Celsius.
- El comportamiento de la temperatura de la barra se registrará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\theta_r \sinh[m(L - x)] + \theta_h \sinh[mx]}{\sinh[mL]}$$

Donde:

θ = Temperatura de la barra – Temperatura ambiente [°C]

θ_r = Temperatura de la resistencia – Temperatura ambiente [°C]

θ_h = Temperatura del agua helada – Temperatura ambiente [°C]

$x = \text{Posición del sensor en la barra [m]}$

$L = \text{Longitud de la barra [m]}$

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k \cdot A}}$$

$A = \text{Área transversal de la barra [m}^2\text{]}$

$P = \text{Perímetro de la barra [m]}$

$k = \text{Conductividad térmica del material } \left[\frac{W}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}} \right]$

$h = \text{Coeficiente de transferencia de energía } \left[\frac{W}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2} \right]$

3.1.3. Propuesta

Realizando una síntesis del resultado del análisis del concepto, requerimiento y especificaciones del experimento, se proponen las siguientes funciones y características para su virtualización:

- ✓ Cambio en el sistema que calienta la barra: del uso de vapor de agua al uso de una resistencia cerámica de banda. Esto debido a que resultaría más fácil el control de su temperatura de operación y puede ser operada por los mismos alumnos y/o maestros.
- ✓ Cambio de instrumento de medición de temperatura de la barra: de un termopar a uno menos invasivo como lo es un sensor de temperatura infrarrojo.
- ✓ Capacidad del usuario de desplazarse libremente por el espacio de trabajo, tal como lo puede realizar cualquier persona sobre el suelo: de izquierda a derecha y de atrás para adelante.
- ✓ Rotación del campo de visión del usuario respecto a los ejes transversal y vertical, simulando el movimiento de la cabeza por acción de los músculos del cuello.
- ✓ Simulación del perfil de calor únicamente en el estado estacionario debido a que solo para este estado se tiene definida la ecuación que lo representa.
- ✓ Desplazamiento del sensor de temperatura a lo largo de la barra metálica.
- ✓ Control del encendido y apagado de la resistencia de banda mediante una interfaz de usuario.
- ✓ Control del inicio y término del experimento por el usuario.
- ✓ Cambio del material de la barra a experimentar, seleccionado por el usuario mediante una interfaz.
- ✓ Aumento y decremento en la temperatura ambiente y en la temperatura de operación del calentador por medio de una interfaz de usuario.
- ✓ Visualización de los valores numéricos más importantes en el experimento: Temperatura registrada por el sensor, temperatura ambiente, temperatura de operación de la resistencia y distancia del sensor respecto a la barra.

3.2. Modelado

El modelado de las piezas es una tarea de alta relevancia en la creación de entornos virtuales, pues cada elemento debe cumplir con ciertas características visuales, estéticas y morfológicas, mismas que deben ir de acuerdo a las necesidades del usuario. Así mismo, deben ser capaces de captar la esencia del objeto real que se pretende modelar, con el fin de que exista una mayor familiaridad e inmersión al momento de presenciarlos virtualmente.

Los diferentes elementos que se consideraron en modelar para la creación del espacio de trabajo se enumeran a continuación:

1. Panel de control central.

Esta es la pieza principal con la que interactúa el usuario y es donde se realizan la mayoría del cambio de las variables del experimento. Consta de tres partes principales:

a. Chasis:

Pieza principal donde se montan los botones que serán presionados por acción del usuario. Se consideró un perfil trapecio-rectangular con el propósito de que la cara inclinada principal, que contiene a los botones, se posicione lo más paralelo posible al plano de visión del usuario con mayor facilidad a que si se encuentra totalmente horizontal o vertical. El color negro con que se le caracteriza responde a la necesidad de brindar un mayor contraste entre este y los diferentes botones, haciendo más fácil ubicarlos e identificarlos.

b. Botones de cambio de material:

Los botones se modelaron teniendo como base el estilo de los botones tradicionales que pueden encontrarse en aplicaciones industriales. Su función es cambiar el material de la barra metálica dentro del experimento, existiendo un botón para cada uno de los materiales disponibles. Su color y textura coincide con el color y textura del material por el que realizan el cambio, es decir, por dar un ejemplo, el botón que realiza la acción de cambiar el material de la barra por aluminio deberá tener el color y textura del aluminio.

Cada botón tiene una separación vertical entre sí de 10 cm para tener una mejor visibilidad y distribución sobre el panel, además de 15 cm de separación horizontal entre sí para poder agregar las etiquetas de los nombres correspondientes a los materiales por los que realizan el cambio.

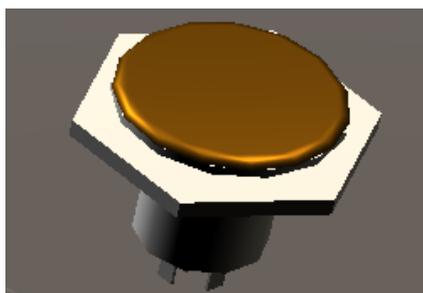


Figura 11. Botón pulsador, su función es cambiar el material de la barra involucrada en

el experimento.

c. Botón maestro:

En él se concentra la función de iniciar y detener el experimento. El modelo se basa en los botones de tipo 'hongo' con el fin de hacerlo diferente a los demás botones y que el usuario identifique rápidamente que se trata del botón principal. Se le asigna el color verde brillante para indicar que el experimento se encuentra en curso. El modelo completo del panel de control luce de la siguiente manera:

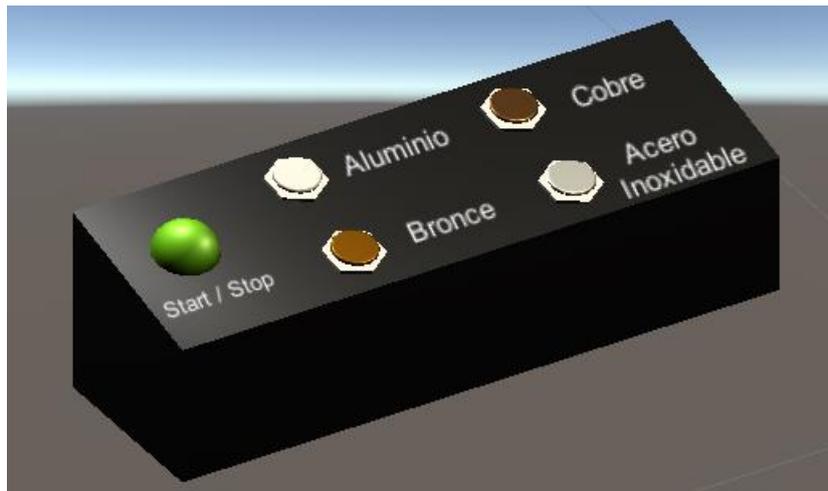


Figura 12. Panel de control para el experimento.

2. Panel de control de temperatura.

Al igual que el panel de control central se compone de chasis y botones, y el perfil trapecio-rectangular y el color del chasis se justifican de la misma manera que en el caso anterior.

El modelo tiene dos variantes debido a que ambos paneles cumplen la misma función, pero cada uno modificando diferentes variables. Su principal característica diferenciadora está dada por el color de los botones: Se utiliza el color rojo para los botones que suben y bajan el valor nominal de operación de la resistencia de banda debido a que este color está estrechamente relacionado con las altas temperaturas por lo que, al ser el objeto que alcanza la temperatura máxima dentro del experimento, se le asocia este color a los botones que cambian su valor; por otro lado, se utiliza el color verde para los botones que varían el valor de la temperatura ambiente debido a que este color está muy relacionado con el medio ambiente y esto puede ayudar a que el usuario asimile rápidamente la función de cada uno de los botones de los paneles. De igual manera ambos presentan una señal con el signo de '+' o el signo de '-' para clarificar, dependiendo de la marca que contenga el botón, cuál será el resultado de presionarlo, si elevar o disminuir el valor de la temperatura.

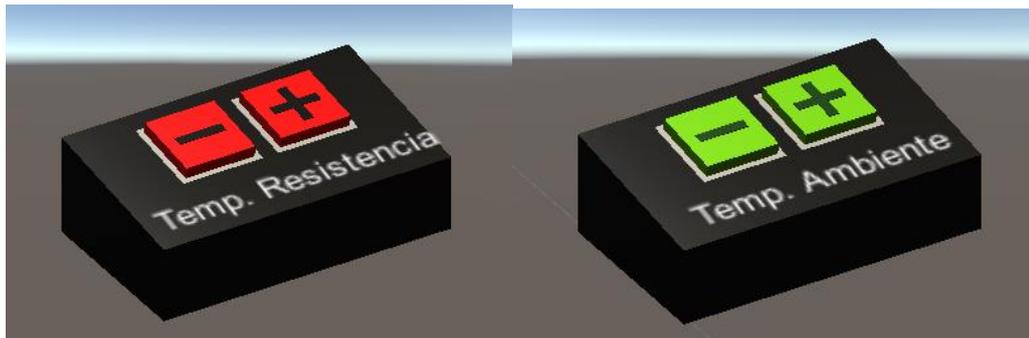


Figura 13. Panel de control de temperatura en la resistencia (superior) y en el ambiente (inferior).

3. Sensor de temperatura infrarrojo

El diseño del sensor se basa en el modelo OS130A - Omega, el cual es muy empleado en el ámbito industrial. La ventaja de que se virtualice este sensor es que no se limita a su capacidad de lectura, que realmente va de los $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $538\text{ }^{\circ}\text{C}$. Adicionalmente se le colocó un distintivo color naranja debido a que no hay algún otro componente que tenga dicho color, por lo que facilita su localización en contraposición a su característica de ser de un tamaño menor respecto a otros componentes y objetos, lo cual perjudica a su pronta localización. El modelo respeta las medidas de 25 milímetros en el diámetro y 127 milímetros de largo.

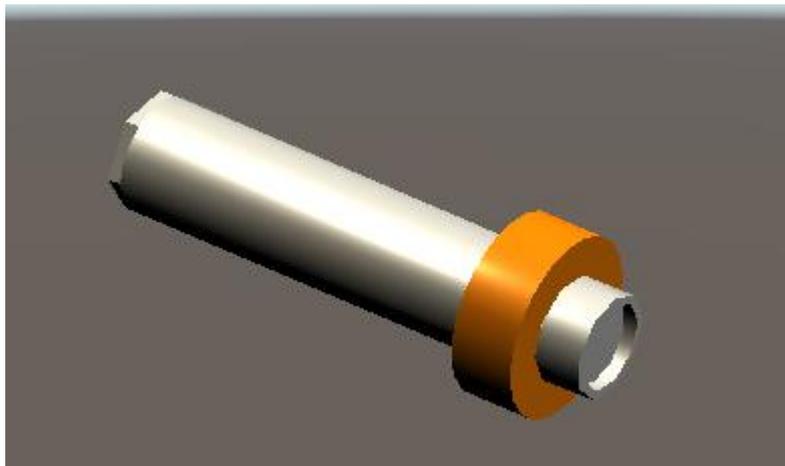


Figura 14. Sensor de temperatura infrarrojo.

4. Resistencia de banda

El modelo de la resistencia de banda se encuentra basado en la resistencia de tipo banda con elemento cerámico. Dicho componente posee una temperatura máxima de operación de $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene armadura externa de acero inoxidable AISI 321, así como aislamiento interno de cerámica y conexión eléctrica de caja.

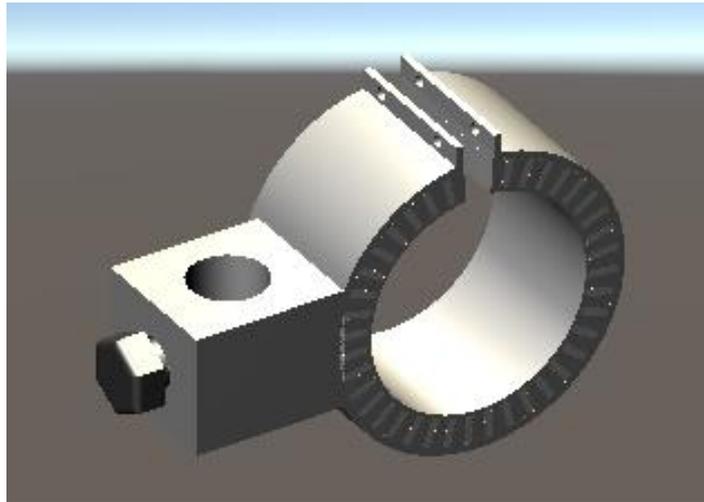


Figura 15. Resistencia de tipo banda.

5. Dispositivo de enfriamiento

El dispositivo de enfriamiento está modelado de tal manera que se puede observar una cámara de almacenamiento de agua a baja temperatura, misma que estará en contacto directo con la barra metálica. Se muestra también un conector cilíndrico al que se conectará la barra. Así mismo se identifican 2 mangueras conectadas a los costados de la cámara que cumplen la función de hacer circular el agua fría entre ella y la fuente de suministro. A estas últimas se les asigna el color azul, debido a la relación de este color con las bajas temperaturas.

Con el fin de que la barra se encuentre elevada sobre la mesa, se modeló una pequeña base cuadrúpeda de acero A23 que servirá como base de la cámara de enfriamiento:

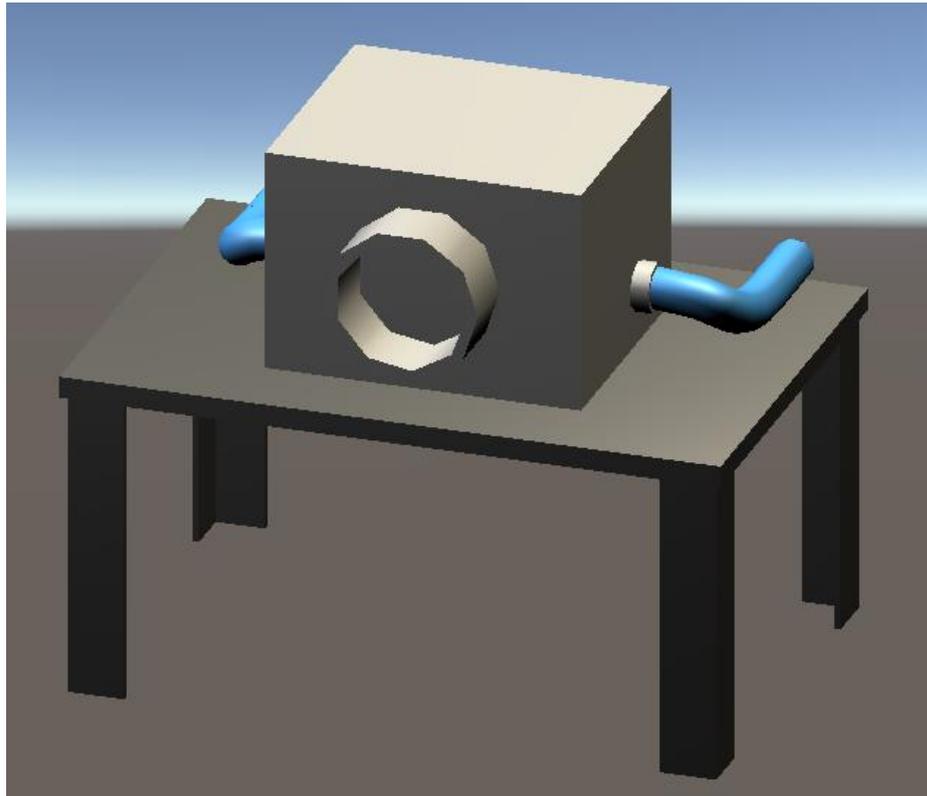


Figura 16. Cámara de enfriamiento.

6. Soporte Universal

Para solventar el hecho de que la barra debe encontrarse elevada sobre el nivel de la mesa de ambos lados, se modeló también un soporte universal de laboratorio para sujetar la resistencia de banda en la que se introducirá el otro extremo de la barra:

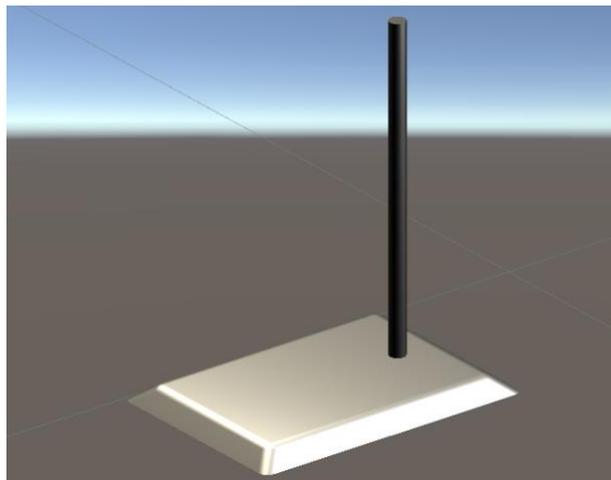


Figura 17. Soporte universal.

7. La barra

El objeto de estudio central del experimento fue modelado con una longitud de 100 centímetros y con un radio de 1.9 centímetros para su sección transversal. El color de la barra varía de acuerdo al material de la misma.

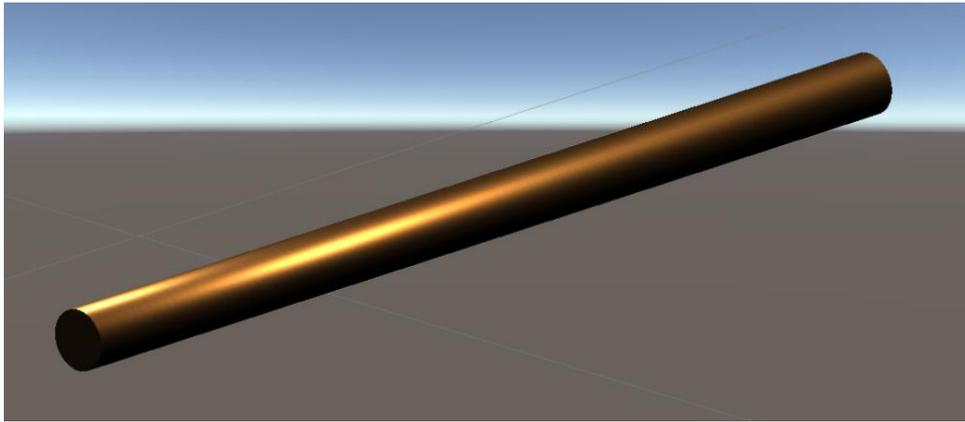


Figura 18. Barra de metal.

8. Mesa de experimento.

Una vez modelados los objetos respectivos al experimento, se modeló la mesa de laboratorio. Nuevamente se utiliza el color negro para la superficie principal para mejorar el contraste entre esta y los elementos centrales del experimento. Cabe mencionar que los cajones y compuertas solo cumplen una función estética.

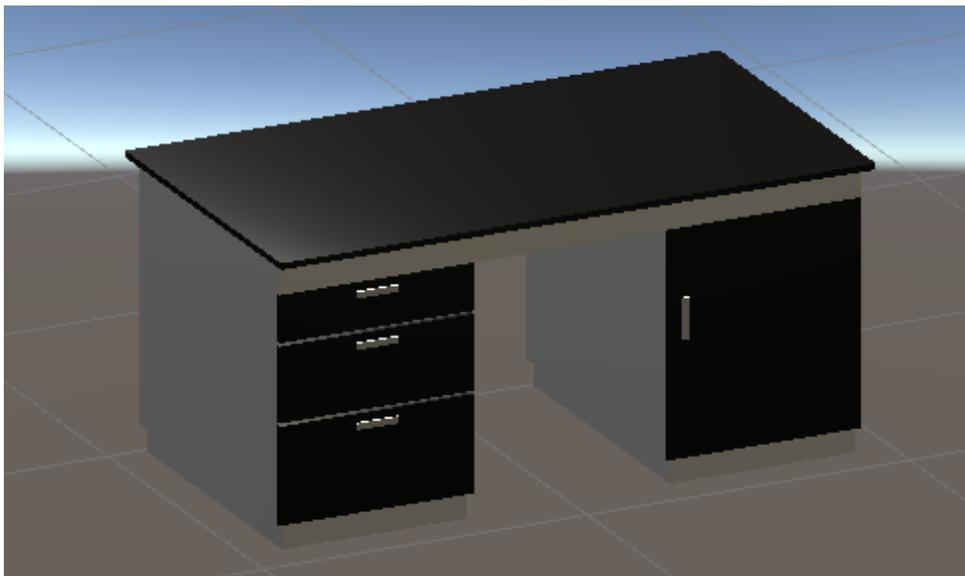


Figura 19. Mesa de laboratorio para el experimento.

9. Pizarrón:

Se modelaron pizarrones de gis con fines decorativos y/o para ser utilizados como interfaces de usuario, donde se pueda leer información relevante para el experimento.

10. El salón de clases

Al encontrarnos en un entorno virtual se necesita generar cierto ambiente que permita al usuario sentirse en determinado lugar físico. En este caso se optó por ambientar el entorno virtual en un laboratorio de clases virtual, por lo que se generó un modelo de la estructura del inmueble, con ventanas y un marco de puerta.



Figura 20. Paredes del salón de clases.

Para mejorar la experiencia y la familiarización con el ambiente, se crearon diferentes objetos que tienen como objetivo el ser decorativos. Es de esta manera que se modelan los siguientes objetos:

- Perchero con batas de laboratorio
- Escritorio de profesor
- Mesas de laboratorio
- Muebles archivadores
- Extintor de incendios
- Caja de herramientas
- Cuaderno
- Libros



Figura 21. Muebles decorativos del ambiente.

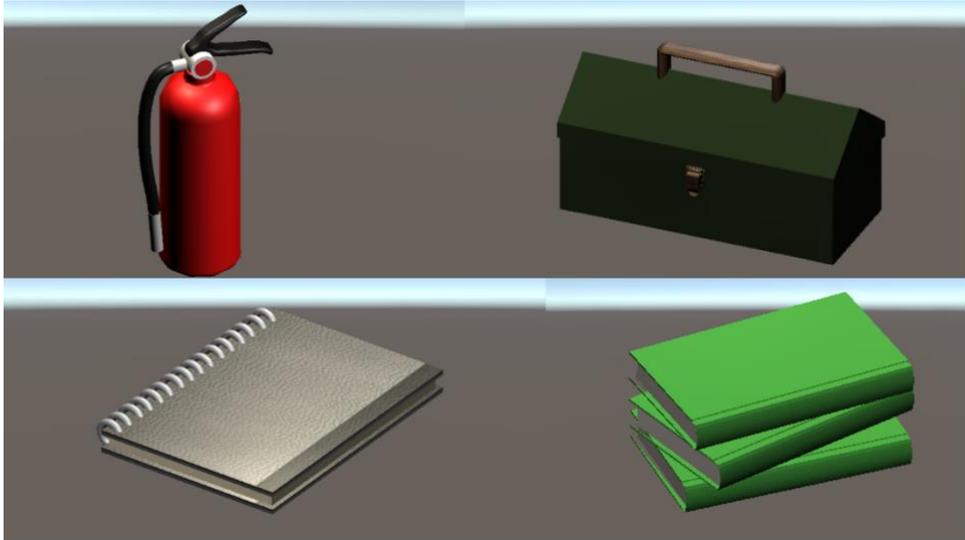


Figura 22. Extintor, caja de herramientas, libreta y libros decorativos para el ambiente.

3.3. Elaboración del entorno virtual

Dentro del entorno de Unity, se creó un nuevo proyecto 3D, el cuál es un espacio completamente vacío en el que se pueden insertar cada uno de los objetos modelados, así como agregarles texturas y programar las reglas requeridas que permiten el correcto funcionamiento de la simulación.

Luego de tener modelado cada uno de los objetos requeridos y teniendo sus respectivas texturas, deben exportarse a la carpeta del proyecto creado. Luego de esto, es posible colocar cada elemento en cualquier posición del espacio de trabajo que tenemos y relacionarlos entre sí.



Figura 23. Espacio de trabajo del experimento.

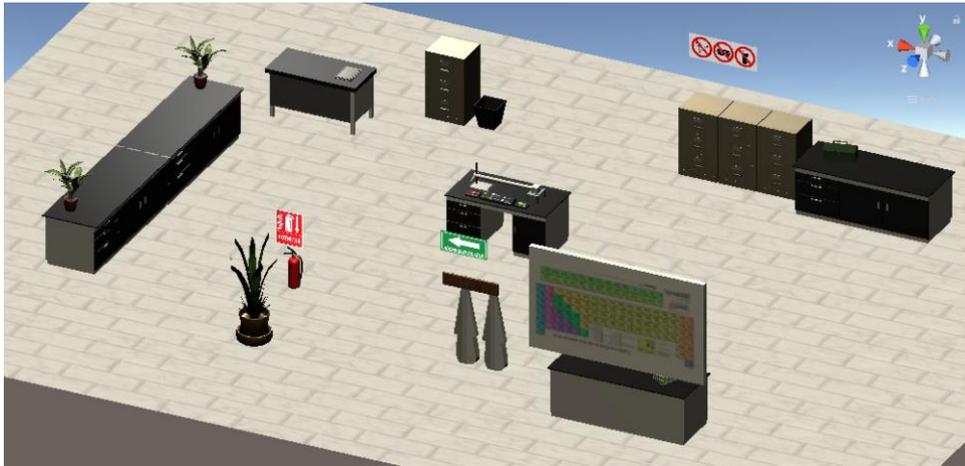


Figura 24. Interior del salón de clases con la distribución del espacio de trabajo y objetos de decoración.

3.4. Programación de scripts

Para llevar a cabo el funcionamiento del entorno, se requiere de programación que nos permita darle al usuario un acercamiento a una experiencia similar a cuando se realiza la práctica de laboratorio de forma presencial.

La programación consta de la implementación de seis principales funciones:

1. Movimiento del usuario.

Para que el usuario sea capaz de moverse a través del salón de laboratorio, similar a como lo haría presencialmente, se programaron funciones que, mediante la interacción del usuario en una interfaz, le permitan desplazar la cámara principal paralelamente a la superficie del suelo (plano XZ), modificando los valores de Posición X y Z del objeto.

De igual manera, haciendo uso de algún dispositivo de entrada que el usuario pueda manejar, se realiza la modificación de los ángulos de la cámara de visión referentes a los ejes transversal y vertical, es decir los ejes Y y Z del sistema de coordenadas local de la cámara.

Por otra parte, para generar las leyes físicas que no permiten que dos cuerpos puedan ocupar el mismo espacio, es decir, para evitar que el usuario sea capaz de atravesar objetos, se le agregó y configuró un *box collider* tanto al usuario como a las paredes y demás objetos del aula, con el fin de detectar cuando exista un impacto entre ellos y limite el movimiento de cualquiera de los mismos.

2. Características de los materiales

Las barras metálicas empleadas en la práctica de laboratorio poseen propiedades intensivas y extensivas que juegan un papel en el comportamiento de la distribución de calor como: La conductividad térmica, el coeficiente de transferencia de energía y la longitud, adicionalmente al tratarse de barras cilíndricas se considera el área transversal y el perímetro de la barra. Todas estas características se tienen que guardar en variables para su posterior implementación en el modelo matemático que rige el experimento. Además, se considera el uso

de variables públicas para implementar dichas propiedades con el fin de poder ser modificadas al momento de seleccionar un material distinto apretando los botones asignados para ello.

3. Condiciones ambientales

La temperatura ambiente, la temperatura del dispositivo de enfriamiento y la temperatura de operación de la resistencia, son valores que pertenecen al ambiente de la práctica y que a su vez requieren de su implementación en el modelo matemático que rige el experimento. La temperatura del dispositivo de enfriamiento es constante (5 °C) mientras que la temperatura ambiente se implementa de tal forma que se pueda variar desde los 5 °C hasta los 45 °C.

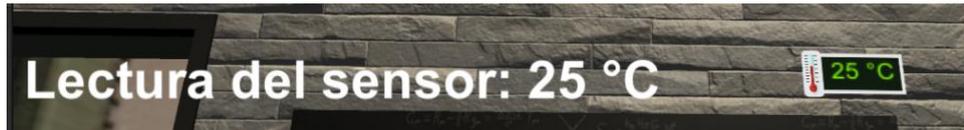


Figura 25. Texto en pantalla que muestra la lectura del sensor.

Para el caso de la temperatura de la resistencia, que proporciona la energía calorífica a la barra, se programa de tal forma que el valor nominal de operación de la resistencia pueda establecerse en un intervalo de 50 °C a 650 °C (máxima capacidad de temperatura de operación en la resistencia de banda comercial escogida).

4. Modelo matemático

Al tener funciones trascendentes (funciones trigonométricas, etc.), se requiere de una biblioteca integrada en Unity para su correcta implementación. En este caso se hizo uso de la biblioteca *Math*.

El modelo matemático planteado permite integrar todas las variables expuestas en los puntos anteriores. Para su implementación se opta por la creación de una función de tipo *float*, pues permite manejar variables de tipo real con sus respectivos decimales significativos. Todas las variables conforman al argumento de dicha función, incluyendo la posición a la que se encuentra el sensor de temperatura a lo largo de la barra. Posteriormente se construye mediante código el modelo matemático del experimento que permite obtener la temperatura a lo largo de barra.

5. Botones de Cambio de Material

Cada uno de los botones del panel de control fueron diseñados para cambiar las propiedades intensivas de acuerdo a los diferentes materiales que se tienen para el aluminio, bronce, cobre y acero.

Cada botón tiene la programación necesaria que permite modificar los valores de la conductividad térmica y el coeficiente de transferencia de energía para que a su vez sean utilizados en el modelo matemático y se obtenga un resultado acorde al material seleccionado.

Adicionalmente, este cambio de material es importante que pueda visualizarse por lo que el script de cada botón realiza el cambio de aspecto de la barra, así como indicar con un tono verde alrededor del botón qué material se selecciona.



Figura 26. Botones de cambio de material. Se realza en color verde el contorno del botón de material seleccionado.

6. Programación del botón maestro

El botón maestro tiene como función el completar 2 tareas:

a) Conjuntar variables, y funciones

Las variables descritas en los puntos 2 y 3 son declaradas en el script asociado a este botón, al igual que las funciones (punto 4) que ocupan de estas variables. Esto con el fin de tener en un solo lugar estas características y su implementación, evitando hacer numerosas llamadas a otros objetos y scripts, lo cual mejora el rendimiento del programa.

b) Representar el control de la simulación con 2 estados: inicio y paro.

En Unity, existe una función que permite ejecutar sentencias de manera repetitiva. Por lo que es ideal para implementar el modelo matemático en dicha función al momento de dar inicio a la simulación.

Para poder separar ambos estados, se implementa una estructura if en donde una variable auxiliar permite el intercambio entre ambos estados cambiando únicamente su valor.

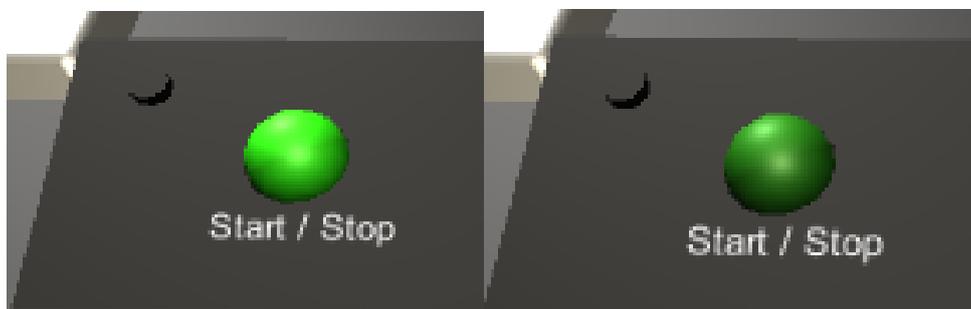


Figura 27. Representación de los estados Inicio y Paro en el botón maestro.

3.5. Implementación del ambiente

Los ambientes de realidad virtual tienen la capacidad de poder mostrarse en diferentes dispositivos electrónicos, desde celulares o tabletas hasta dispositivos o sistemas especialmente creados para su reproducción. Es por esto que un entorno virtual puede presentar diferentes niveles de inmersión, los cuales exploraremos a continuación.

3.5.1. Aplicación de escritorio

Unity permite exportar el proyecto para un entorno con sistema operativo Windows, basta con realizar un cambio a la plataforma PC desde *Build Settings* para obtener los archivos necesarios para que el proyecto funcione correctamente en una PC con sistema operativo Windows.

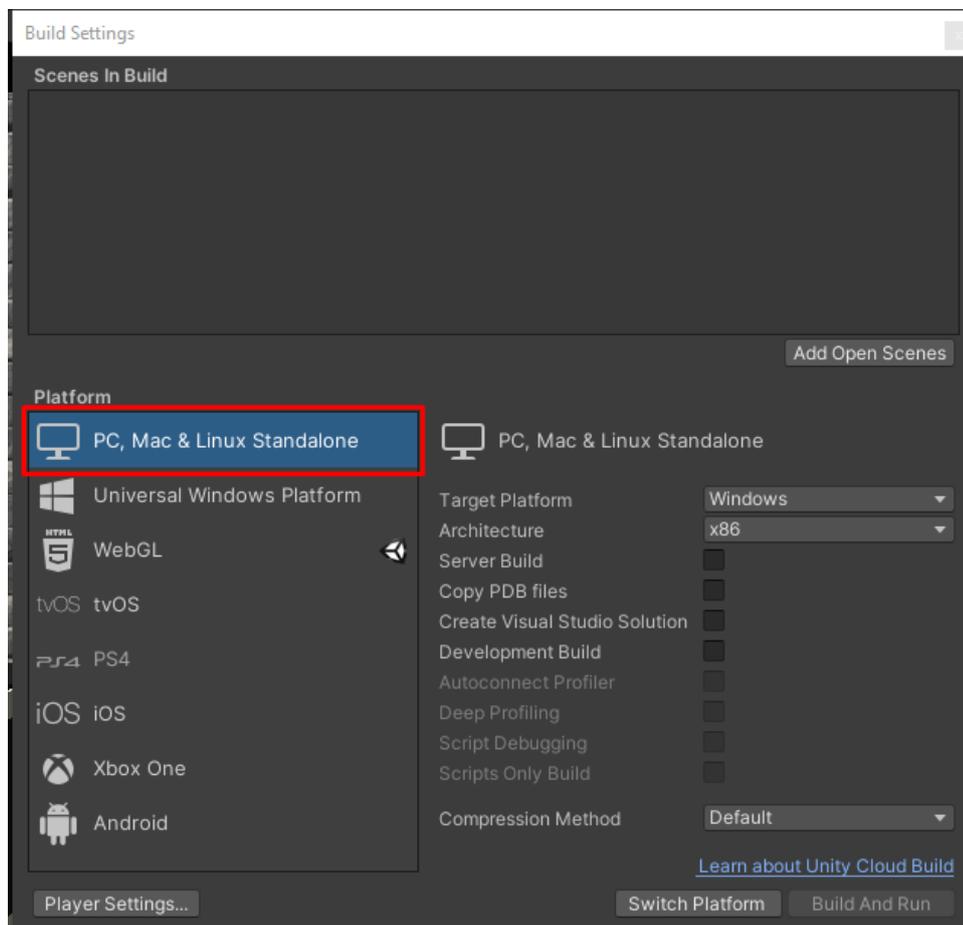


Figura 28. Ventana *Build Settings* en Unity para exportar el proyecto.

Teniendo como resultado, un archivo de tipo ejecutable (.exe) capaz de correr en Windows.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MonoBleedingEdge	09/05/2021 10:23 p. m.	Carpeta de archivos	
New Unity Project_Data	10/05/2021 10:38 p. m.	Carpeta de archivos	
UnityCrashHandler32.exe	13/10/2020 11:42 p. m.	Aplicación	902 KB
VirtualLab.exe	13/10/2020 11:47 p. m.	Aplicación	625 KB
UnityPlayer.dll	13/10/2020 11:48 p. m.	Extensión de la ap...	19,608 KB

Figura 29. Archivos de salida de la exportación del proyecto.

3.5.2. Aplicación web

La anterior aplicación pertenece a tipo de archivo ejecutable para Windows, por lo que es necesario tener dicho archivo en una computadora para poder ejecutarla. Unity permite exportar un proyecto para diferentes entornos, por lo que pasar a aplicación que esté en un servidor Web es una tarea sencilla.

WebGL es una especificación estándar la cual permite la construcción de un proyecto en JavaScript, permitiendo la capacidad de ejecutarlo en cualquier navegador web moderno.

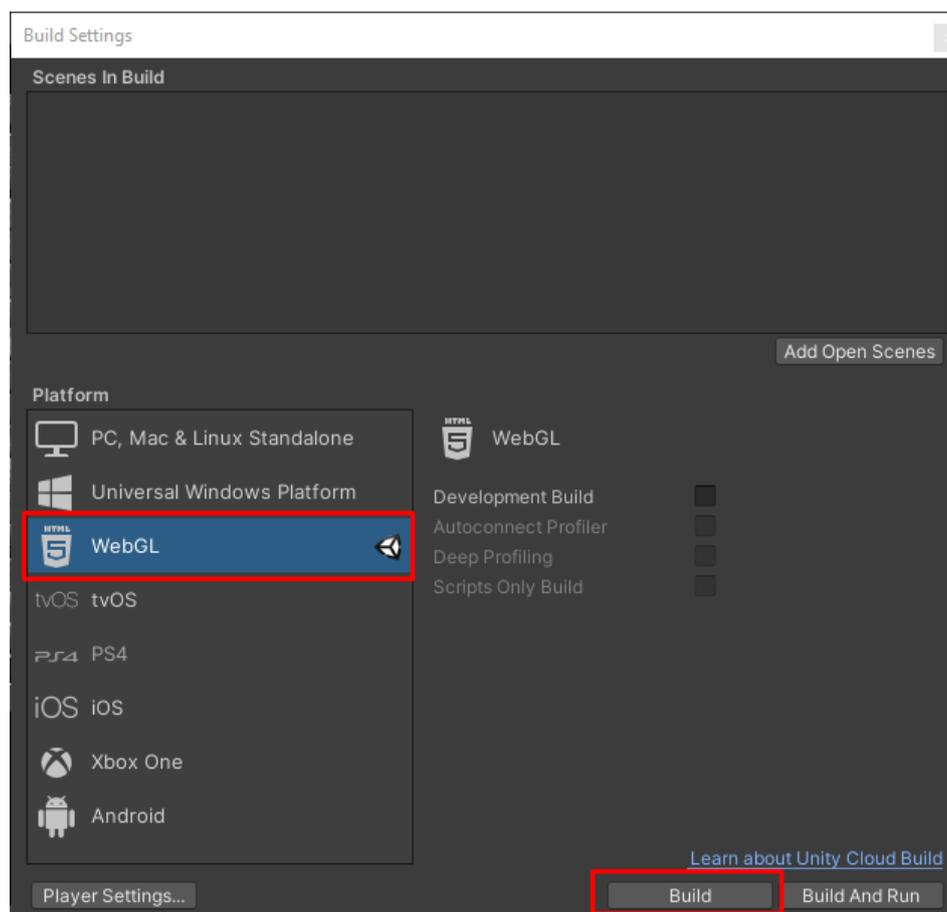


Figura 30. Ventana Build Settings en Unity para exportar el proyecto para una versión web.

Posteriormente, el archivo puede ser cargado a una plataforma capaz de almacenar y proporcionar un dominio para que cualquier persona con el URL pueda acceder a la aplicación.

ITCH es una plataforma web orientada a la publicación de videojuegos de desarrolladores independientes que permite alojar los proyectos de Unity en la nube (en su exportación de tipo WebGL) con el fin de que pueda ejecutarse en el navegador sin la necesidad de realizar alguna instalación que requiera espacio en el disco duro o de archivos adicionales.

Al ser una plataforma gratuita, cualquier persona con acceso a internet podrá ingresar a los diferentes proyectos que se encuentran alojados. Aunque también se puede realizar un plan de negocio en caso de querer generar ingresos, sin embargo, esta característica es opcional.

Por lo anterior, el proyecto se encuentra en dicha plataforma para que cualquier persona pueda acceder por medio de la dirección que se proporcione.

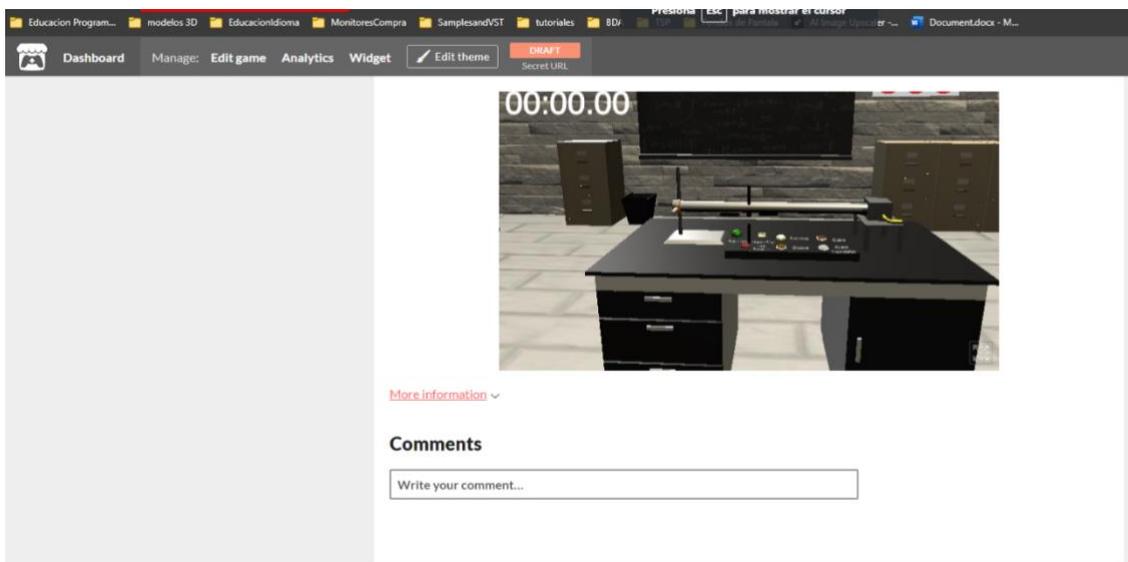


Figura 31. Vista del navegador al ingresar a la aplicación web.

3.5.3. Aplicación inmersiva

Para lograr una mejor inmersión en el ambiente virtual y vivir la experiencia lo más parecida a la realidad se hace uso de los visores Oculus Quest, cuyos elementos quedaron descritos en la Sección 2.3 del presente trabajo.

Unity permite configurar y exportar el proyecto como una aplicación con extensión .apk, la cual es compatible para poder cargarse y ejecutarse en los visores de realidad virtual inmersiva.

Para poder realizar el cambio de ambiente y realizar las adecuaciones pertinentes fue necesario agregar, del Package Manager, las paqueterías siguientes:

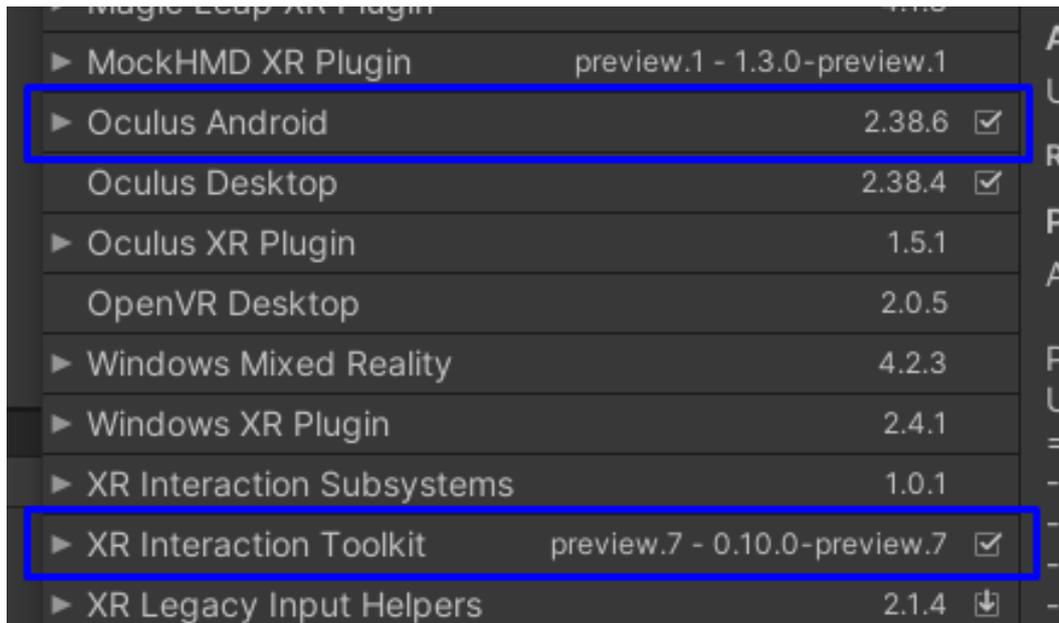


Figura 32. Paqueterías necesarias para configurar y exportar el proyecto para Oculus.

- Oculus Android:

Esta paquetería es útil ya que contiene los componentes necesarios para utilizar el SDK de realidad virtual de Oculus en Android. Es decir, al usar este complemento se pueden implementar y ejecutar aplicaciones en dispositivos compatibles con Oculus [5]. Para habilitar que las aplicaciones puedan usarse en dispositivos Oculus mediante esta paquetería, debe habilitarse la compatibilidad con la realidad virtual a través de la sección “XR Settings” del “Player Settings” (Edit -> Project Settings -> Player), agregando ‘Oculus’ a la lista de “Virtual Reality SDKs” y validar que esté activada la casilla de “V2 Signing (Quest)” [6].

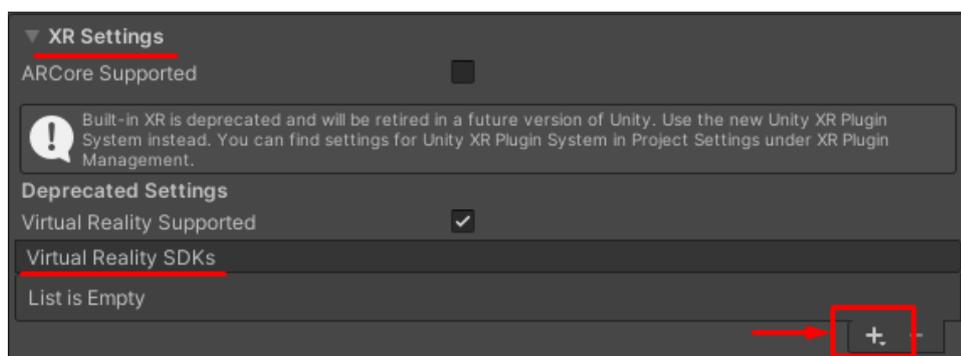


Figura 33. Apartado XR Settings de la ventana Player Settings con señalización para ubicación de ciertos elementos.

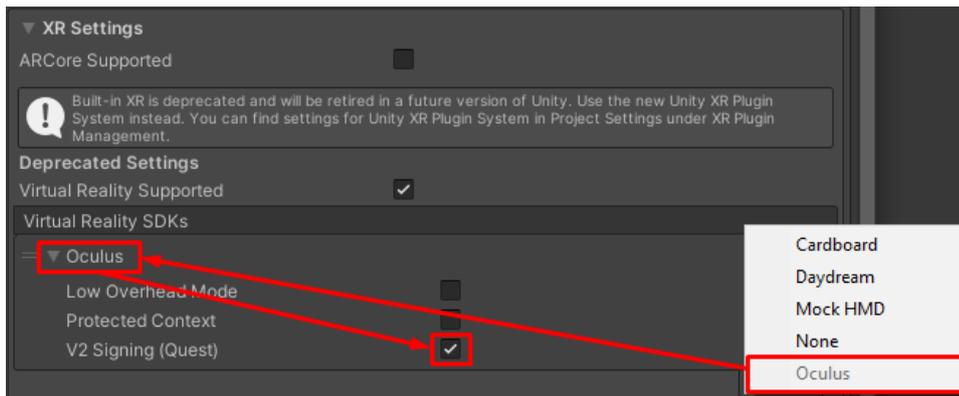


Figura 34. Apartado XR Settings de la ventana Player Settings con indicaciones para validar la casilla activada V2 Signing (Quest).

- XR Interaction Toolkit:

Para poder realizar las diversas interacciones entre el usuario y los objetos, mediante señales de entrada accionadas por dispositivos especializados de realidad virtual inmersiva, se hizo uso de esta paquetería. 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 a partir de los eventos de entrada de Unity. Cabe mencionar que XR es la denominación que se tiene para conjuntar los conceptos de VR (Realidad Virtual) y AR (Realidad Aumentada), por lo que puede ser empleado para crear ambientes especializados en ambas ramas. El núcleo de este sistema es un conjunto de componentes básicos: elemento interactor, elemento interactuable y administrador de interacciones que une estos dos tipos de componentes previos. Se entiende por elemento interactor a aquel objeto que puede seleccionar o mover otro objeto (elemento interactuable) dentro del ambiente virtual [7].

Con el propósito de adaptar el entorno a un ambiente en el que se interactuará mediante los visores y controles de realidad inmersiva, fue necesario crear un objeto que sirva para dar vida al personaje, el cual funcionará como los ojos, cabeza y manos del usuario. A este objeto se le nombró como “VR Rig”, al cual se le agregarán una serie de componentes y se le emparentarán varios objetos para poder tener completo el “First Player”. La estructura y jerarquía de este objeto se muestra a continuación.

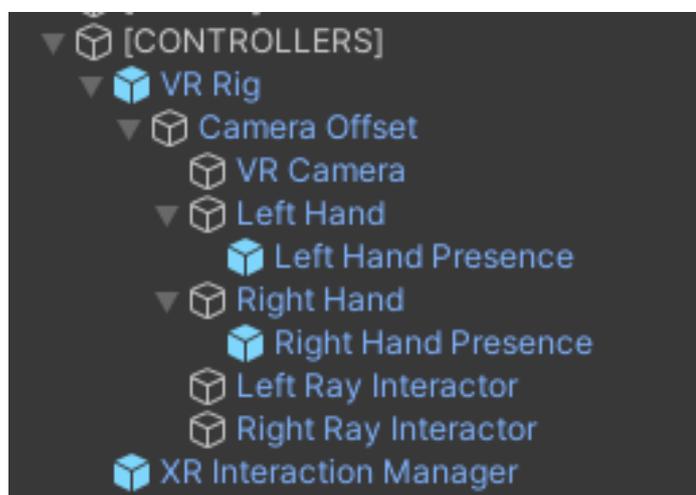


Figura 35. Árbol de jerarquía del proyecto en Unity del objeto [CONTROLLERS].

Con base en la Figura 35, se explicará de manera general cada uno de los objetos que se muestran y su deber ser dentro del proyecto realizado:

- VR Rig

Es el encargado de agrupar todos los componentes relacionados al usuario. En la ventana de Inspector del objeto, se deben agregar los componentes mostrados en la Figura 36, los cuales ayudarán a la administración de las diferentes funciones.

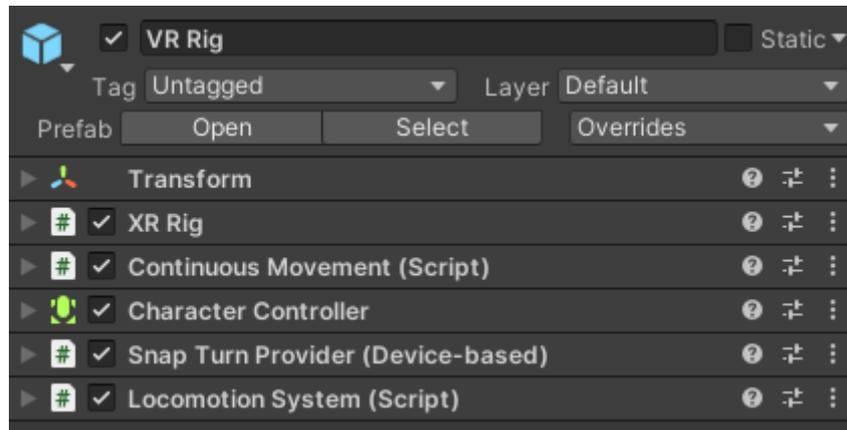


Figura 36. Ventana Inspector en Unity del objeto VR Rig.

El componente “XR Rig” es un script que almacena el Objeto que se manipulará a través de la locomoción, es decir, el objeto que servirá como usuario, para su administración. Dentro de sus valores a configurar y objetos que se le deben asociar son: el objeto “VR Rig” que se manipulará, el objeto de la cámara y un objeto que servirá para hacer un *Offset* a la cámara respecto al suelo (objeto “Camera Offset”).

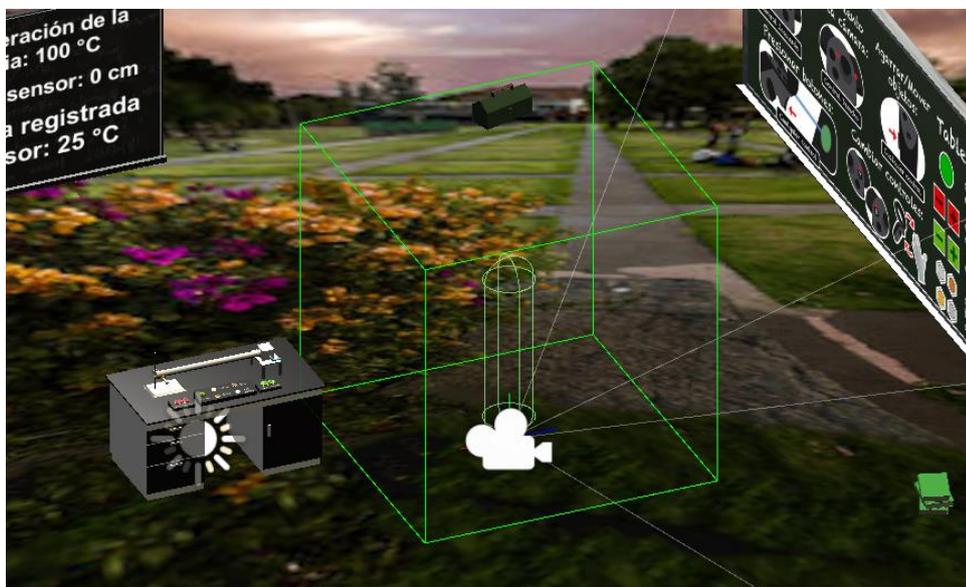


Figura 37. Objeto VR Rig dentro del proyecto en Unity.

El componente “Continuous Movement” es un script creado que permite desplazar al usuario horizontalmente mediante el uso del joystick del control. Asimismo, permite el desplazamiento vertical mediante la acción de la gravedad y permite la posibilidad de "agacharse" al modificar el tamaño del collider del usuario conforme se mueve verticalmente el Headset, es decir, el visor. Este script solicita como parámetros de entrada: El objeto de la mano

(izquierda/derecha) que se ocupará de presionar el Joystick para el desplazamiento, el valor de velocidad que se desea, el valor de la gravedad, un valor de altura adicional simulando el espacio entre los ojos y la cúspide de la cabeza y el "Layer" que se destinará para los objetos de tipo "Ground" o que simularán el suelo dentro del entorno. Cabe mencionar que, al estar utilizando fuerzas físicas, para la actualización de algunas variables que dependen de ellas, en vez de utilizar la función Update() se utiliza la función FixedUpdate() la cual puede ejecutarse 0, 1 o varias veces por frame y permite que el motor de físicas se adecue lo más parecido a la realidad sin importar los frames por segundo a los que se ejecute la simulación.

El componente "Character Controller" ayuda a delimitar el "cuerpo" del usuario colocándole una especie de "Box Collider" y permitiendo que pueda interactuar y chocar con otros objetos del sistema, otorgándole propiedades de cuerpo rígido.



Figura 38. Movimientos programados para el objeto VR Rig.

El componente "Snap Turn Provider" permite modificar el ángulo de rotación actual que tiene todo el jugador respecto al eje "Y" mediante la acción del usuario. Como principales parámetros solicita: el objeto del sistema "VR Rig", el objeto de la mano (izquierda/derecha) que se ocupará de presionar el actuador de entrada para lograr la rotación, el ángulo que se rotará cada vez que se mande la señal de salida.

El componente "Locomotion System" se utiliza para controlar el acceso al XR Rig. Este sistema obliga a que solo un proveedor de locomoción pueda mover el XR Rig a la vez. Como parámetro solicita el objeto XR Rig, en este caso es el propio objeto VR Rig el que controlará la locomoción del usuario.

- Camera Offset

Es el objeto encargado de almacenar a los objetos consecuentes (cámara y manos) con el fin de agruparlos y tener la posibilidad de colocarles un valor de "Offset" ya sea en cuanto a posición como a rotación.

- VR Camera

Prácticamente podríamos definir a este objeto como los ojos del usuario, pues es aquel que presenta la vista que se tiene del entorno, misma que es mostrada al usuario a través de los visores de realidad inmersiva.



Figura 39. Ventana Camera Preview donde se muestra lo que la cámara está observando, es decir lo que el usuario observará encontrándose en esa posición.

- Left/Right Hand

Son aquellos objetos que nos permitirán representar a las manos del practicante, los cuales son el medio de interacción con los demás objetos del laboratorio virtual. Los componentes agregados a estos objetos son los que se muestran en la siguiente figura:



Figura 40. Ventana Inspector en Unity del objeto Left Hand.

El componente “XR Controller” es el encargado de detectar al control de oculus así como de definir las funciones que tendrá cada uno de los botones del dispositivo en la simulación. Asimismo, se debe señalar si se trata del control izquierdo o del control derecho, ya que ambos controles se pueden configurar de manera independiente.

El componente “XR Direct Interactor” es aquel que da la característica al objeto de ser un ente “Interactuador”, es decir, el elemento activo que podrá interactuar con los elementos u objetos que se configuren para tal fin.

El “Sphere Collider” permite asignarle al objeto determinado espacio o volumen. Se configura con la opción “Is Trigger”, la cual permite que el límite pueda ser atravesado, es decir, que sea intangible. Esto permite que la interacción con determinados objetos solo pueda realizarse cuando el objeto entre en el espacio delimitado por este componente.

- Left/Right Hand Presence

Este objeto es muy especial pues es el encargado de mostrar visualmente el modelo de los controles o de las manos en el entorno. Para esto se elaboró el Script “Hand_Presence”, el cual es el encargado de buscar el dispositivo de control y de acuerdo con ello mostrar un modelo de control. Es decir, al ejecutarse el programa, el script busca en los dispositivos de entrada a aquellos catalogados como controles y si los reconoce como “controles de oculus quest” muestra el modelo detallado de dichos controles, pero si no reconoce algún modelo específico del cual se tenga asociado un modelo detallado se muestra el diseño de un “Control por defecto”. Es decir, que se tiene la posibilidad de ampliar los modelos agregados para poder personalizar la experiencia si se varía el modelo del dispositivo de realidad inmersiva utilizado para ejecutar la simulación. Así mismo se tiene la posibilidad de que, a elección del usuario, mediante la activación de un botón se pueda visualizar un modelo de “manos” para cada control. Para lograr esto, se descargaron de internet los modelos de los controles del Oculus Quest, así como los modelos de las manos.

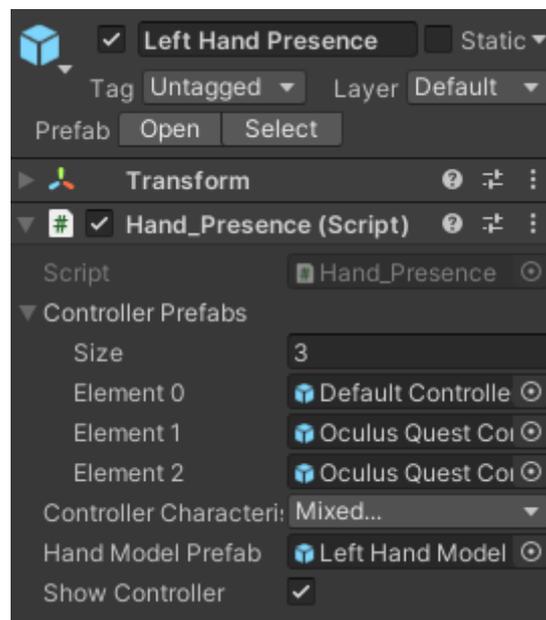


Figura 41. Ventana Inspector en Unity del objeto Left Hand Presence.

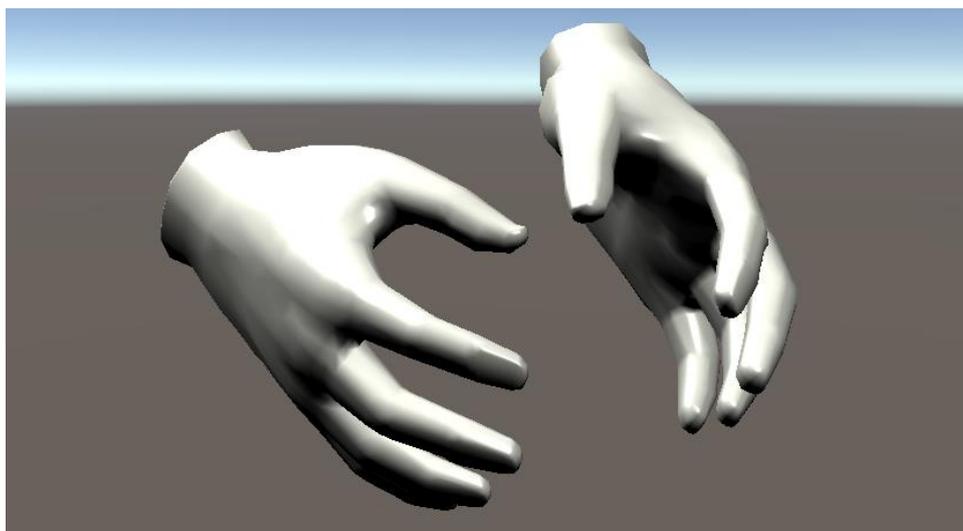


Figura 42. Modelo 3D que representa las manos del usuario.

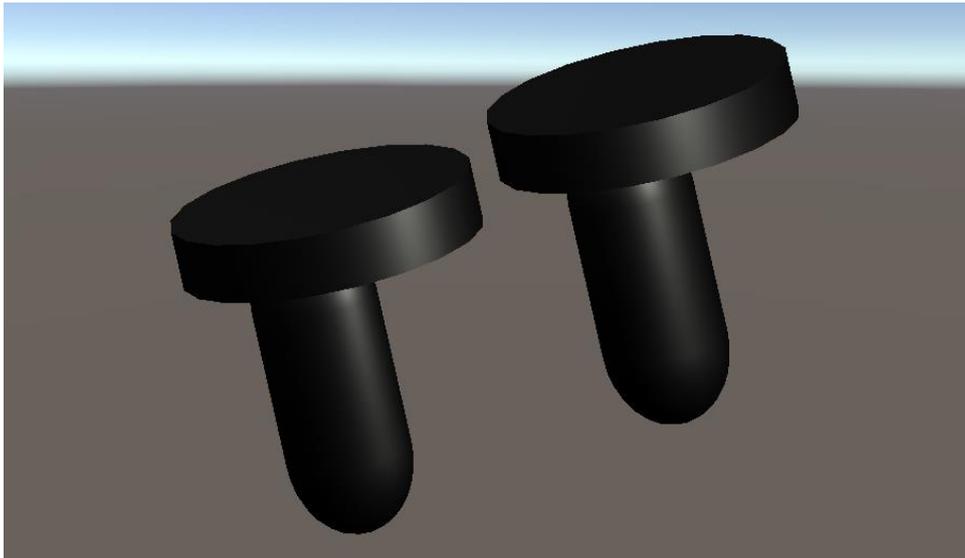


Figura 43. Modelo 3D de los controles por defecto.



Figura 44. Modelo 3D de los controles de Oculus Quest.

- Left/Right Ray Interactor

Estos objetos son los responsables de lograr la interacción a distancia entre las manos/controles virtuales y los botones presentes en los diferentes paneles de control. Es necesario agregar a este objeto los componentes que se muestran a continuación en la Figura 45:

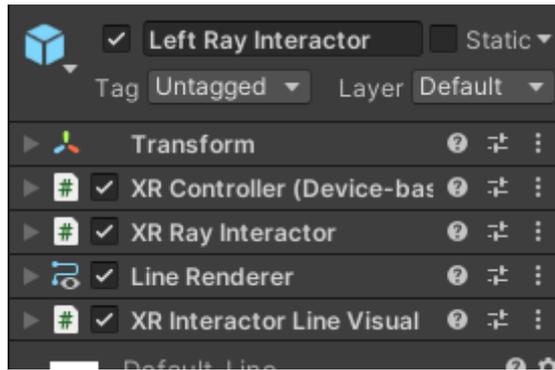


Figura 45. Ventana Inspector en Unity del objeto Left Ray Interactor.

El objetivo del componente XR controller se explica en el punto previo, en que se explicó el deber ser del objeto “Left/Right Hand”.

El componente “XR Ray Interactor” permite configurar al rayo interactor, por ejemplo, el tipo de trayectoria que sigue desde el control hasta el objeto a interactuar, con qué capas del entorno podrá interactuar, el tipo de detección de objetos, entre algunos otros parámetros.

El componente Line Renderer es aquel componente que, como su nombre lo indica, se encarga de renderizar la línea que unirá a los puntos señalados como inicio y fin del rayo interactor.

El componente “XR Interactor Line Visual” permite configurar algunas características visuales de la línea, como, por ejemplo, el color y opacidad de la misma cuando detecta un objeto compatible o cuando no, la distancia que tendrá como máximo y que se renderizará, entre unos pocos valores más.

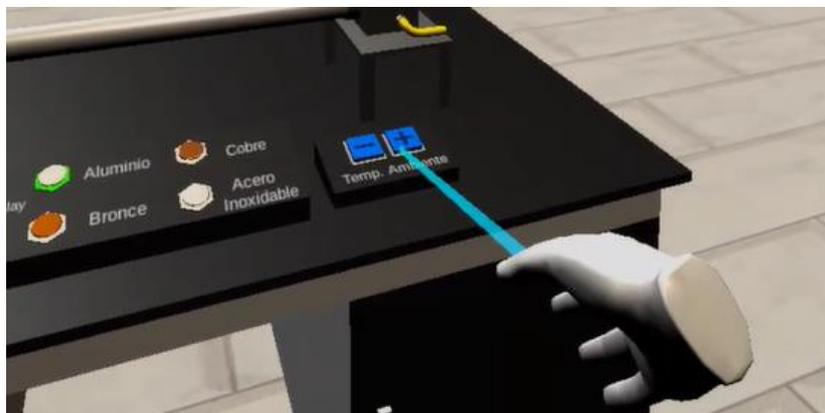


Figura 46. Rayo interactor configurado en trayectoria recta, de color azul y opacidad alta al seleccionar un botón.

- XR Interaction Management

Este último objeto sirve para albergar el script con el mismo nombre, el cual funciona de intermediario entre objetos interactores y objetos interactivables.

Para finalizar este Capítulo se busca enfatizar en las principales diferencias entre la implementación del entorno virtual en las diferentes tecnologías, es decir, al implementarla como aplicación de escritorio, aplicación web y aplicación de realidad inmersiva.

Analizando cada uno de los casos, evaluando la complejidad requerida para generar y configurar completamente el entorno, se determinó que la forma más sencilla y rápida de

implementar un ambiente virtual es a través de una aplicación de escritorio, ya que todas las herramientas necesarias para lograrlo ya se encuentran instaladas y habilitadas con el simple hecho de crear el proyecto. En segundo lugar, tenemos a la aplicación Web, cuya mayor complejidad consiste en cambiar la Plataforma de construcción del proyecto a WebGL, construirlo y cargarlo a algún sitio web que permita almacenar la aplicación y ejecutarla; esto debido a que la programación y configuración del mismo no cambian respecto a la aplicación de escritorio. Sin embargo, al querer transformar el entorno existente para su implementación en dispositivos de realidad inmersiva existe la complejidad de descargar varias paqueterías, configurarlas para su funcionamiento con los dispositivos de realidad inmersiva, modificar los scripts que ya se tenían para su uso mediante los controles y visores, modificar al objeto del “Usuario” o “Jugador” para que funcione con la nueva configuración, así como modificar algunos objetos para la correcta interacción entre todos los elementos del entorno.

Evidentemente resulta más compleja la implementación del entorno para un dispositivo dedicado a la realidad virtual inmersiva como son los Oculus Quest, sin embargo, es el costo que se paga para realizar una inmersión más profunda del usuario en el entorno virtual.

4. Pruebas

Una vez construido el software, para su ejecución en diferentes plataformas debe llevarse a cabo la carga e instalación de los programas y archivos necesarios para poder hacerlos accesible a los usuarios dependiendo de la plataforma que se vaya a utilizar para la realización de pruebas. Teniendo esto, lo que sigue es guiar a los usuarios para que puedan utilizar la aplicación a través de las diferentes tecnologías, de manera que puedan irse familiarizando con los dispositivos a utilizar y con lo que verán en la simulación próximamente.

4.1. Pruebas con aplicación de escritorio

Para poder realizar las pruebas de usuarios con la aplicación de escritorio se tomó la decisión de comprimir el archivo ejecutable, de manera que su peso disminuya y su posterior descarga sea más eficiente debido a la variedad de ancho de banda que puedan tener los potenciales usuarios, y cargarlo a un sitio de almacenamiento de archivos en la nube, en este caso en una carpeta en Google Drive. Lo anterior, se realizó con el fin de que el archivo ejecutable de la aplicación pudiera ser accesible para los usuarios permitiendo así la realización de las pruebas de manera remota, promoviendo la seguridad, en temas de salud, de los usuarios, por posibles contagios de COVID 19 ante la realización de pruebas presenciales.

Cabe mencionar que las pruebas de la aplicación de escritorio fueron realizadas únicamente con personal docente como sujetos de pruebas con el fin de proteger el archivo y evitar que se difunda inoportunamente por terceras personas.

Una vez cargado el archivo de la aplicación en la nube, se procedió a guiar al usuario para que pudiera descargarlo y ejecutarlo, y así realizar las pruebas pertinentes. Los pasos que siguieron cada uno de los usuarios fueron los siguientes:

1. Acceder a los archivos correspondientes a la aplicación de escritorio a través de la URL que se le proporciona.

2. Descargar el archivo VirtualLab_win.zip

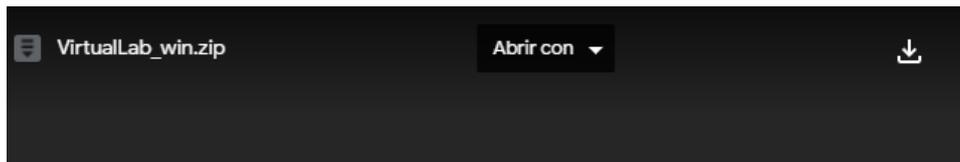


Figura 47. Archivo comprimido disponible en Google Drive.

3. Extraer los componentes dando clic derecho con el mouse y seleccionando “extraer aquí” (para realizar este paso, se puede utilizar cualquier programa para descomprimir formatos de archivos).
4. Dirigirse a la carpeta resultado de la extracción del paso anterior.

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MonoBleedingEdge	🔄	18/10/2021 10:18 p. m.	Carpeta de archivos	
VirtualLab_Data	🔄	18/10/2021 10:18 p. m.	Carpeta de archivos	
UnityCrashHandler32.exe	🔄	13/10/2020 11:42 p. m.	Aplicación	902 KB
UnityPlayer.dll	🔄	13/10/2020 11:48 p. m.	Extensión de la ap...	19,608 KB
VirtualLab.exe	🔄	13/10/2020 11:47 p. m.	Aplicación	625 KB

Figura 48. Archivos contenidos en la carpeta \VirtualLab_win.

5. Apuntar con el cursor al ejecutable ‘VirtualLab.exe’ y dar doble clic izquierdo sobre el mismo. Si se realizan los pasos correctos se verá una pantalla como la que se muestra a continuación.



Figura 49. Pantalla de correcta ejecución del programa

Una vez que el usuario ha descargado e iniciado correctamente la simulación, procede a llevar a cabo una serie de pasos guiados para experimentar las funciones que hay dentro del programa.

6. Se le pide al usuario que no mueva el mouse y ponga atención a lo que observa en pantalla. Resaltan 3 textos que corresponden a “Lectura del sensor”, “Distancia del sensor” y “Temp. Resistencia”.



Figura 50. Vista inicial al ejecutar el simulador.

7. Una vez que el usuario comprende la información desplegada se le menciona que la marca al centro de la pantalla le indica la dirección de movimiento y permite la selección de botones del experimento que se comentarán en pasos siguientes.
8. Se le pide al usuario identificar las teclas 'A', 'W', 'S' y 'D' en el teclado de la computadora, posteriormente se le solicita presionar dichos botones para que pueda relacionar el movimiento que produce, que corresponde a un desplazamiento hacia la izquierda, enfrente, atrás y derecha respectivamente. Como primer ejercicio, el usuario debe dirigirse al banco de pruebas, que se encuentra al centro del ambiente virtual, y posteriormente se le pide realizar un recorrido libre a lo largo del aula.



Figura 51. Instrucciones de los movimientos asociados al desplazamiento.

9. Se le explica al usuario que en el pizarrón cuenta con la información necesaria para manipular el tablero de control dentro de la simulación, por lo que se le solicita al usuario dirigirse a la sección del pizarrón y leer su contenido.



Figura 52. Instrucciones relacionadas con las funciones de los botones en el tablero de control

- Se le pide al usuario que se dirija nuevamente al banco de pruebas, al posicionar la marca al centro de la pantalla sobre un botón y al dar clic izquierdo del mouse se ejecuta la tarea asignada al botón. En caso de que el usuario olvide las instrucciones, puede volver a dirigirse al pizarrón.
- Se le pide al usuario seleccionar el material de aluminio y notar que el botón se resalta en verde indicando que es el material con el que se realizará el experimento.

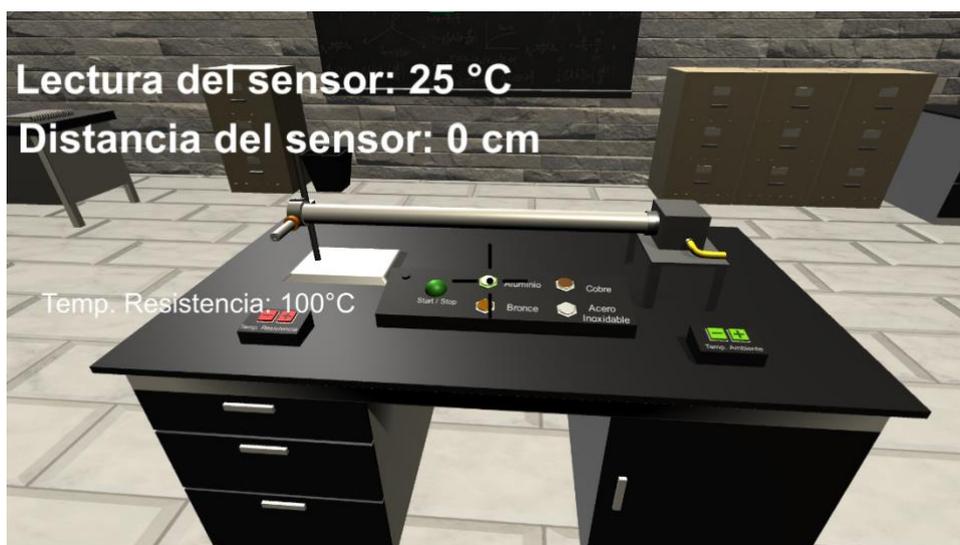


Figura 53. Banco de pruebas del experimento

12. A continuación, se le indica al usuario que siga la siguiente serie de instrucciones:
- a) Se le pide seleccionar el material cobre.
 - b) Se le solicita disminuir la temperatura ambiente a 19 grados con los botones que se encuentran al extremo derecho del banco de pruebas.
 - c) Ahora se le pide aumentar la temperatura de la resistencia a 170 °C con los botones que se encuentran al extremo derecho del banco de pruebas.
 - d) Se le da la indicación de dar clic en el botón Start.
 - e) Con las teclas de dirección, se le solicita mover el sensor a lo largo de la barra.
 - f) Se le pide observar la lectura del sensor colocándolo a diferentes distancias a lo largo de la barra.
 - g) Para finalizar el experimento se le pide al usuario dar clic en el botón Stop.

Los pasos anteriores permiten conocer la capacidad del usuario para asimilar las instrucciones, posterior a esos pasos, se le pide utilizar el software libremente por un tiempo de 2 minutos, y en caso de alguna duda se le pide que se lo comunique al equipo inmediatamente.

Tras finalizar todas las actividades, se asume que el usuario domina todas las funciones operativas, por lo que es capaz de seguir un guion experimental con cualesquiera que sean las instrucciones para el desarrollo de una práctica realizada a través de esta aplicación de escritorio.

Se procede a realizarle una serie de preguntas al usuario con el fin de conocer cómo fue su experiencia al realizar la prueba obteniendo así retroalimentación de su parte para una futura actualización del software para su implementación en una aplicación de escritorio. Las posibles respuestas a las preguntas de dicha encuesta se realizaron mayormente en escala de Likert, exceptuando las preguntas con respuestas técnicas, personales o abiertas. A continuación, se muestran las preguntas a realizar a los usuarios:

- 1) Escribe tu nombre, por favor.
- 2) ¿Cómo consideras que fue el tiempo de descarga del archivo?
 - a) Muy lento
 - b) Lento
 - c) Regular
 - d) Rápido
 - e) Muy rápido
- 3) ¿Tuviste problemas para localizarlo una vez descargado?
 - a) Sí, tuve que pedir ayuda para encontrarlo.
 - b) Solo tardé un poco para poder encontrarlo.
 - c) No, lo encontré rápidamente.
- 4) ¿Cómo consideras que fue la calidad de la imagen durante la simulación?
 - a) Se veía de mala calidad, muy borroso.
 - b) Considero que se veía regular, ni muy mala ni muy buena.
 - c) La imagen se veía muy clara.
- 5) ¿Cuál es tu opinión acerca de las instrucciones relacionadas con el movimiento dentro del aula?
 - a) La redacción era confusa y/o las imágenes no se entendían.
 - b) Las instrucciones se veían borrosas.
 - c) No presenté inconveniente alguno.
 - d) Me parecieron muy claras, rápidamente aprendí a moverme.

- 6) ¿Cómo consideras que fue la lectura de las instrucciones estando posicionado desde el banco de pruebas?
- Las instrucciones se veían borrosas o no se veían.
 - Las alcanzaba a ver con dificultad y tenía que acercarme a ellas para leerlas.
 - No presenté inconveniente alguno, se veían muy claras.
- 7) ¿Cómo te resultó llevar a cabo el desplazamiento del sensor?
- No logré desplazarlo.
 - Fue muy complicado moverlo.
 - Lo pude desplazar, pero fue muy diferente a las instrucciones.
 - Podía moverlo, pero me costaba trabajo acomodarlo en una posición.
 - Lo desplazé sin ninguna dificultad y de manera precisa.
- 8) ¿Cómo calificarías la forma en la que cambias el material de la barra?
- Nunca entendí cómo cambiar el material de la barra.
 - Tardó mucho en identificar los materiales.
 - A veces cambiaba y a veces no.
 - Me pareció muy rápido e intuitivo.
- 9) ¿Cómo consideras que fue la interacción para poder modificar la temperatura ambiente?
- No pude modificar esta variable.
 - Fue muy complicado variar la temperatura.
 - A veces cambiaba y a veces no.
 - Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
- 10) ¿Cómo te resultó la interacción para poder modificar la temperatura de operación de la resistencia?
- No pude modificar esta variable.
 - Fue muy complicado variarla.
 - A veces cambiaba y a veces no.
 - Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
- 11) ¿Cómo consideras que fue la lectura y la distribución de las variables y resultados del experimento?
- Me parecieron muy invasivas, me quitaban visibilidad del experimento.
 - Considero que en ocasiones se perdían o no se veían claramente.
 - Me parecieron adecuadas y útiles en todo momento.
- 12) ¿Cómo consideras que fue el laboratorio virtual respecto a cómo es un laboratorio real?
- Completamente diferente a la realidad. No creía que estaba en un laboratorio y eso entorpeció mi experiencia al desarrollar las actividades.
 - Es diferente, los elementos apenas y se parecían a lo que es un laboratorio real, la experiencia fue muy rara.
 - Ni muy similar ni muy diferente. Los elementos son parecidos a los de un entorno real, sin embargo, no me sentí completamente en un verdadero laboratorio.
 - Similar, la mayoría de los elementos y funciones se parecen a un laboratorio real.
 - Muy apegado a la realidad. Me familiaricé rápidamente con el ambiente y no me costó ningún trabajo desarrollar las actividades.
- 13) ¿Cómo consideras que los colores y la distribución de los botones dentro del aula te ayudaron en el desarrollo de actividades relacionando al objeto con su función?
- Me confundieron mucho y me tardaba en identificar qué botón presionar.

- b) Me confundieron poco pero poco a poco fui asociándolos.
 - c) No me ayudaron ni me perjudicaron.
 - d) Me ayudo poco para memorizar las funciones con los botones.
 - e) Me facilitó para asociar rápidamente la función de cada uno.
- 14) ¿Qué tan satisfecho te encuentras con los resultados al realizar el experimento?
- a) Muy Insatisfecho
 - b) Insatisfecho
 - c) Neutral
 - d) Satisfecho
 - e) Muy satisfecho
- 15) Ayúdanos a mejorar. ¿Qué otras funciones añadirías tú al experimento para que sea lo más cercano a la realidad?

Para realizar un mejor análisis e interpretar mejor los resultados de la encuesta ayúdanos con algunos datos técnicos de la computadora que empleaste para realizar las pruebas

- 16) ¿Tu computadora cuenta con tarjeta gráfica?
- a) Sí
 - b) No
- 17) ¿Cuéntanos qué procesador tiene tu computadora y de qué generación? (Ej. Intel Core i5 8th Gen, AMD Ryzen 5, etc.)
- 18) ¿Qué Sistema Operativo ocupa tu equipo?
- a) Windows
 - b) MacOS
 - c) Linux
 - d) Otro...
- 19) ¿Cuánta memoria RAM cuenta tu PC o Laptop?
- a) 2 GB
 - b) 3 GB
 - c) 4 GB
 - d) 6 GB
 - e) 8 GB
 - f) 12 GB
 - g) 16 GB
 - h) 32 GB

4.2. Pruebas con aplicación web

Para esta prueba los usuarios son alumnos que potencialmente podrán hacer uso de la herramienta, al proporcionarles el acceso a un sitio web, no tendrán que instalar y/o descargar ningún tipo de archivo, por lo que el proyecto no se alojará en sus equipos. El protocolo a seguir durante las pruebas es el siguiente:

1. Se le indica al usuario ingresar a la aplicación web mediante la URL que se le es proporcionada.

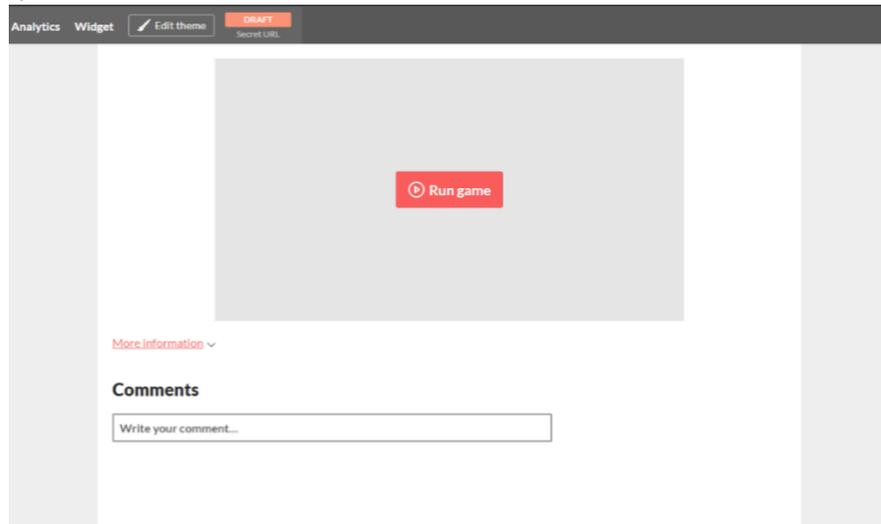


Figura 54. Pantalla de la aplicación Web antes de inicializarla

2. Se le solicita dar clic en el botón "Run Game", posteriormente maximizar la pantalla por medio del botón que se encuentra en la esquina inferior derecha.

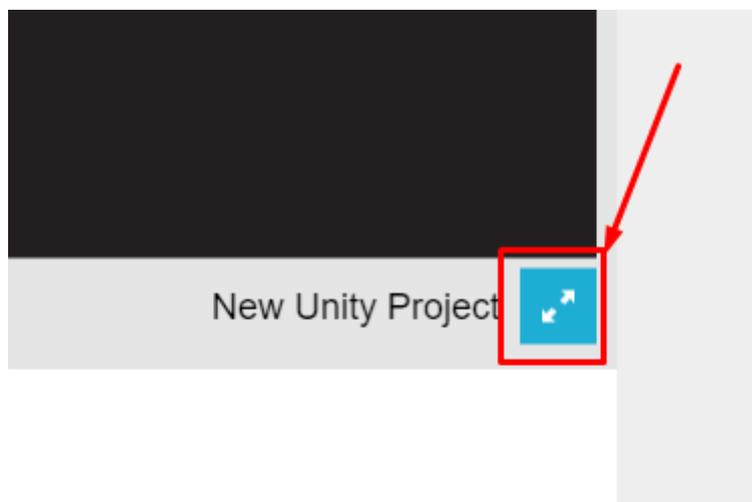


Figura 55. Botón de maximizar pantalla

3. Al iniciar la simulación, se le pide colocar el cursor al centro de la marca del centro de la pantalla y dar clic izquierdo, esto con la finalidad de que el cursor se mantenga en el centro durante la simulación.

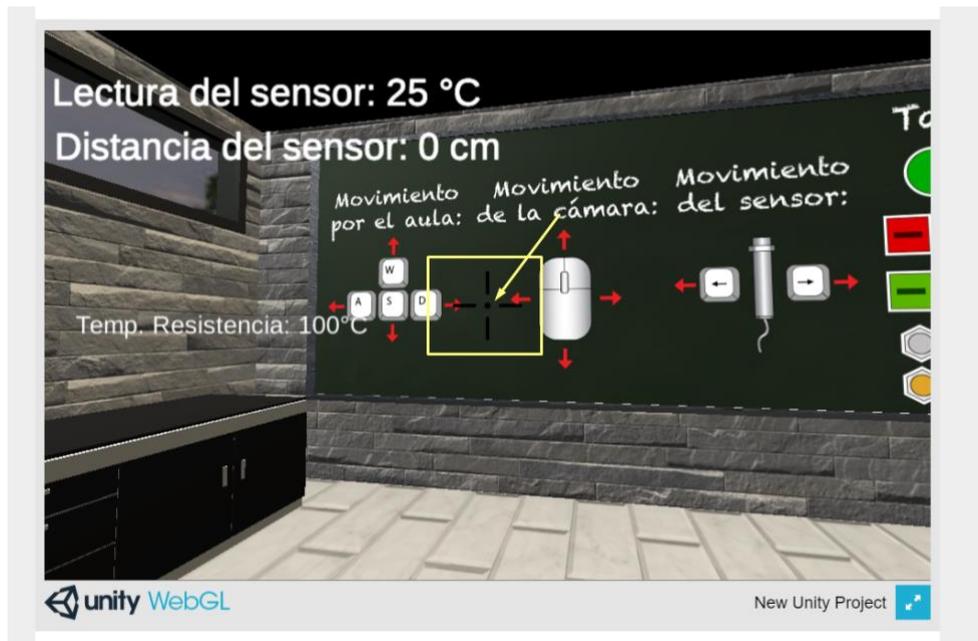


Figura 56. Señalización de la marca central de la pantalla.

Una vez que el usuario ha descargado e iniciado correctamente la simulación, procede a llevar a cabo una serie de pasos guiados para experimentar las funciones que hay dentro del programa.

4. Se le pide al usuario que no mueva el mouse y ponga atención a lo que observa en pantalla. Resaltan 3 textos que corresponden a "Lectura del sensor", "Distancia del sensor" y "Temp. Resistencia".



Figura 57. Vista inicial tras ejecutar la simulación en su versión web.

5. Una vez que el usuario comprende la información desplegada se le menciona que la marca al centro de la pantalla le indica la dirección de movimiento y permite la selección de botones del experimento que se comentarán en pasos siguientes.
6. Se le pide al usuario identificar las teclas 'A', 'W', 'S' y 'D' en el teclado de la computadora, posteriormente se le solicita presionar dichos botones para que pueda relacionar el movimiento que produce, que corresponde a un desplazamiento hacia la

izquierda, enfrente, atrás y derecha respectivamente. Como primer ejercicio, el usuario debe dirigirse al banco de pruebas, que se encuentra al centro del ambiente virtual, y posteriormente se le pide realizar un recorrido libre a lo largo del aula.



Figura 58. Instrucciones asociadas al desplazamiento del usuario en la versión web.

- Se le explica al usuario que en el pizarrón cuenta con la información necesaria para manipular el tablero de control dentro de la simulación, por lo que se le solicita al usuario dirigirse a la sección del pizarrón y leer su contenido.



Figura 59. Instrucciones asociadas a las funciones de los botones en el tablero de control.

- Se le pide al usuario que se dirija nuevamente al banco de pruebas, al posicionar la marca al centro de la pantalla sobre un botón y al dar clic izquierdo del mouse se ejecuta la tarea asignada al botón. En caso de que el usuario olvide las instrucciones, puede volver a dirigirse al pizarrón.

9. Se le pide al usuario seleccionar el material de aluminio y notar que el botón se resalta en verde indicando que es el material con el que se realizará el experimento. A continuación, se le indica una serie de pasos a seguir:

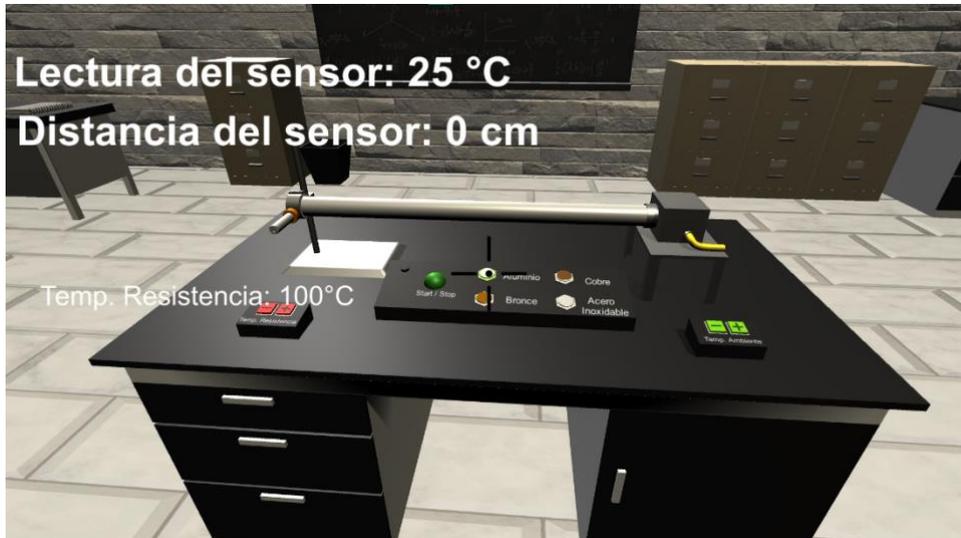


Figura 60. Banco de pruebas del experimento

- Se le pide seleccionar el material cobre.
- Se le solicita disminuir la temperatura ambiente a 19 grados con los botones que se encuentran al extremo derecho del banco de pruebas.
- Ahora se le pide aumentar la temperatura de la resistencia a 170 °C con los botones que se encuentran al extremo derecho del banco de pruebas.
- Se le da la indicación de dar clic en el botón Start.
- Con las teclas de dirección, se le solicita mover el sensor a lo largo de la barra.
- Se le pide observar la lectura del sensor colocándolo a diferentes distancias a lo largo de la barra.
- Para finalizar el experimento se le pide al usuario dar clic en el botón Stop.

Los pasos anteriores permiten conocer la capacidad del usuario para asimilar las instrucciones, posterior a esos pasos, se le pide utilizar el software libremente por un tiempo de 2 minutos, y en caso de alguna duda se le pide que se lo comunique al equipo inmediatamente.

Llevando a cabo esta serie de instrucciones se determina que la prueba concluye y que el usuario domina todas las funciones operativas de la aplicación y se le considera capaz de seguir cualquier guion experimental con cualesquiera que sean las instrucciones para el desarrollo de una práctica, en este caso, a través de esta aplicación en la web.

Se procede a realizarle una serie de preguntas al usuario con el fin de conocer cómo fue su experiencia al realizar la prueba obteniendo así retroalimentación de su parte para una futura actualización del software implementada por medio de servicios web. Las posibles respuestas a las preguntas de dicha encuesta se realizaron mayormente en escala de Likert, exceptuando las preguntas con respuestas técnicas, personales o abiertas. A continuación, se detalla la serie de preguntas a realizar a los usuarios:

- 1) Escribe tu nombre, por favor.
- 2) ¿Cómo consideras que fue el tiempo de descarga del archivo?
 - a. Muy lento
 - b. Lento
 - c. Regular
 - d. Rápido
 - e. Muy rápido
- 3) ¿Tuviste problemas para localizarlo una vez descargado?
 - a. Sí, tuve que pedir ayuda para encontrarlo.
 - b. Solo tardé un poco para poder encontrarlo.
 - c. No, lo encontré rápidamente.
- 4) ¿Cómo consideras que fue la calidad de la imagen durante la simulación?
 - a. Se veía de mala calidad, muy borroso.
 - b. Considero que se veía regular, ni muy mala ni muy buena.
 - c. La imagen se veía muy clara.
- 5) ¿Cuál es tu opinión acerca de las instrucciones relacionadas con el movimiento dentro del aula?
 - a. La redacción era confusa y/o las imágenes no se entendían.
 - b. Las instrucciones se veían borrosas.
 - c. No presenté inconveniente alguno.
 - d. Me parecieron muy claras, rápidamente aprendí a moverme.
- 6) ¿Cómo consideras que fue la lectura de las instrucciones estando posicionado desde el banco de pruebas?
 - a. Las instrucciones se veían borrosas o no se veían.
 - b. Las alcanzaba a ver con dificultad y tenía que acercarme a ellas para leerlas.
 - c. No presenté inconveniente alguno, se veían muy claras.
- 7) ¿Cómo te resultó llevar a cabo el desplazamiento del sensor?
 - a. No logré desplazarlo.
 - b. Fue muy complicado moverlo.
 - c. Lo pude desplazar, pero fue muy diferente a las instrucciones.
 - d. Podía moverlo, pero me costaba trabajo acomodarlo en una posición.
 - e. Lo desplazé sin ninguna dificultad y de manera precisa.
- 8) ¿Cómo calificarías la forma en la que cambias el material de la barra?
 - a. Nunca entendí cómo cambiar el material de la barra.
 - b. Tardó mucho en identificar los materiales.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.
 - d. Me pareció muy rápido e intuitivo.
- 9) ¿Cómo consideras que fue la interacción para poder modificar la temperatura ambiente?
 - a. No pude modificar esta variable.
 - b. Fue muy complicado variar la temperatura.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.
 - d. Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
- 10) ¿Cómo te resultó la interacción para poder modificar la temperatura de operación de la resistencia?
 - a. No pude modificar esta variable.
 - b. Fue muy complicado variarla.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.

- d. Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
- 11) ¿Cómo consideras que fue coordinar tus manos entre el teclado y el mouse para realizar las acciones?
- Me fue muy complicado coordinar mis manos para realizar las actividades.
 - Al principio me costó trabajo, pero poco a poco me fui adaptando.
 - Me adapté rápidamente a presionar los botones y mover el mouse con habilidad.
- 12) ¿Cómo consideras que fue la lectura y la distribución de las variables y resultados del experimento?
- Me parecieron muy invasivas, me quitaban visibilidad del experimento.
 - Considero que en ocasiones se perdían o no se veían claramente.
 - Me parecieron adecuadas y útiles en todo momento.
- 13) ¿Cómo consideras que fue el laboratorio virtual respecto a cómo es un laboratorio real?
- Completamente diferente a la realidad. No creía que estaba en un laboratorio y eso entorpeció mi experiencia al desarrollar las actividades.
 - Es diferente, los elementos apenas y se parecían a lo que es un laboratorio real, la experiencia fue muy rara.
 - Ni muy similar ni muy diferente. Los elementos son parecidos a los de un entorno real, sin embargo, no me sentí completamente en un verdadero laboratorio.
 - Similar, la mayoría de los elementos y funciones se parecen a un laboratorio real.
 - Muy apegado a la realidad. Me familiaricé rápidamente con el ambiente y no me costó ningún trabajo desarrollar las actividades.
- 14) ¿Cómo consideras que los colores y la distribución de los botones dentro del aula te ayudaron en el desarrollo de actividades relacionando al objeto con su función?
- Me confundieron mucho y me tardaba en identificar qué botón presionar.
 - Me confundieron poco pero poco a poco fui asociándolos.
 - No me ayudaron ni me perjudicaron.
 - Me ayudó poco para memorizar las funciones con los botones.
 - Me facilitó para asociar rápidamente la función de cada uno.
- 15) ¿Qué tan satisfecho te encuentras con los resultados al realizar el experimento?
- Muy Insatisfecho
 - Insatisfecho
 - Neutral
 - Satisfecho
 - Muy satisfecho
- 16) Ayúdanos a mejorar. ¿Qué otras funciones añadirías tú al experimento para que sea lo más cercano a la realidad?
- 17) ¿Qué navegador utilizaste para entrar?
- Google Chrome
 - Microsoft Edge
 - Mozilla Firefox
 - Safari
 - Opera
 - Internet Explorer
 - Otro...
- 18) ¿Te dio un problema el navegador? Cuéntanos.

- 19) Ayúdanos a saber la velocidad de tu internet. (Ejemplo: 40 Megas) Si no la conoces puedes entrar al siguiente link para conocerla: <https://fast.com>

4.3. Pruebas con aplicación inmersiva

Para poder realizar las pruebas del ambiente de realidad inmersiva en los dispositivos Oculus Quest primero es necesario construir el proyecto de Unity como una aplicación con extensión “.apk”, la cual debe transferirse e instalarse en los visores.

Para generar la aplicación “apk”, es necesario seguir la siguiente secuencia de pasos:

- I. Abrir Unity Hub e ir a la pestaña “Installs”.
- II. Localizar la versión de Unity con la que se desarrolló el proyecto y dar click en los “3 puntos” que se ubican en la esquina superior derecha del recuadro de la versión.

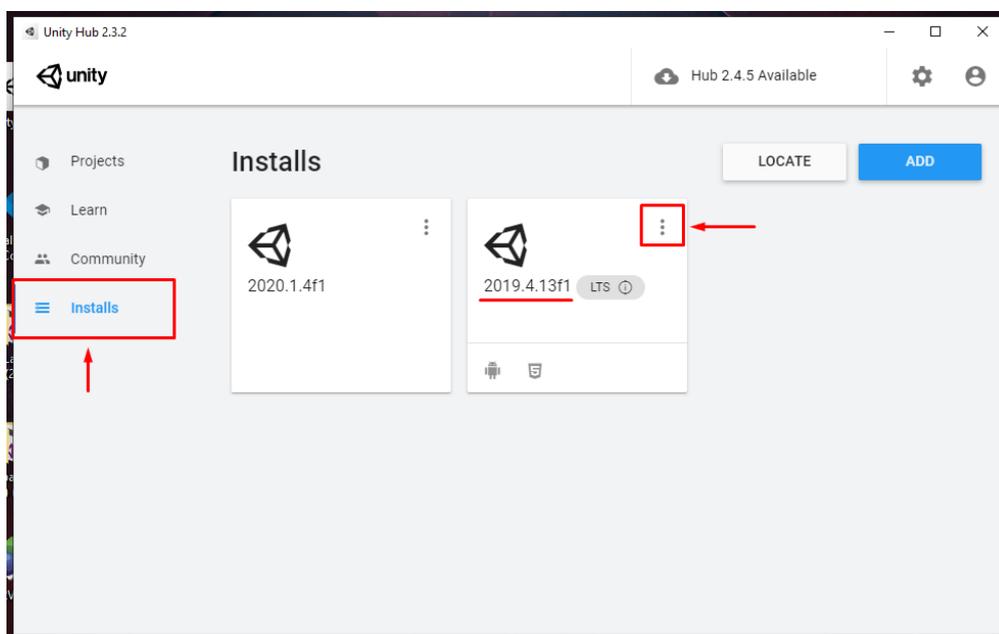


Figura 61. Ventana Unity Hub señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 2 del actual instructivo.

- III. Seleccionar la opción “Add Modules” en el menú desplegado.

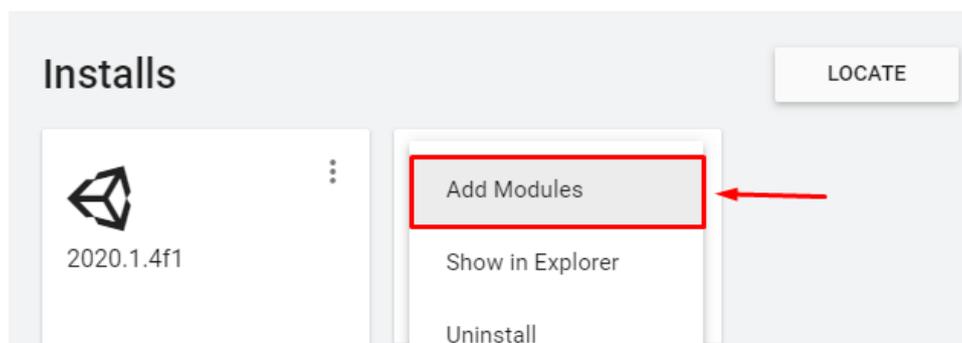


Figura 62. Ventana Unity Hub señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 3 del actual instructivo.

- IV. Validar que en el apartado “Platforms” tenemos instalado el módulo “Android Build Support”. En caso contrario, instalarlo. Esto permitirá poder construir el proyecto como una aplicación del tipo “apk”, compatible con los visores de RV.

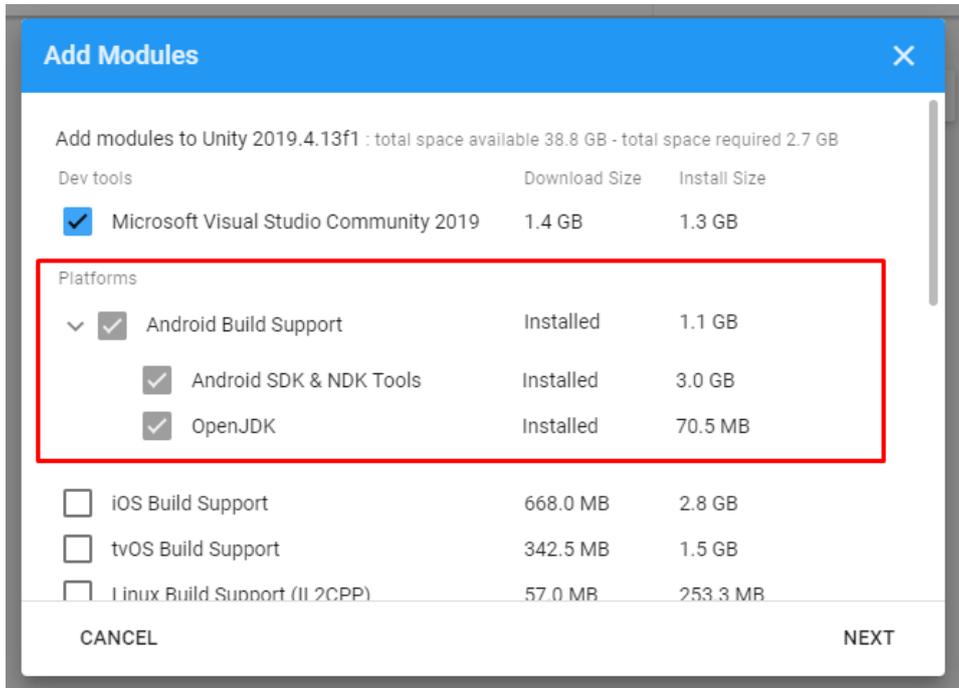


Figura 63. Ventana Add Modules de Unity Hub señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 4 del actual instructivo.

- V. Cerrar Unity Hub y abrir en Unity el proyecto que se desarrolló y se desea instalar en los visores.
- VI. Antes de continuar con los siguientes pasos, verificar primero que se tienen instaladas las paqueterías que se describen en el punto 3.5.3 del presente trabajo, en caso de que no, instalarlas.

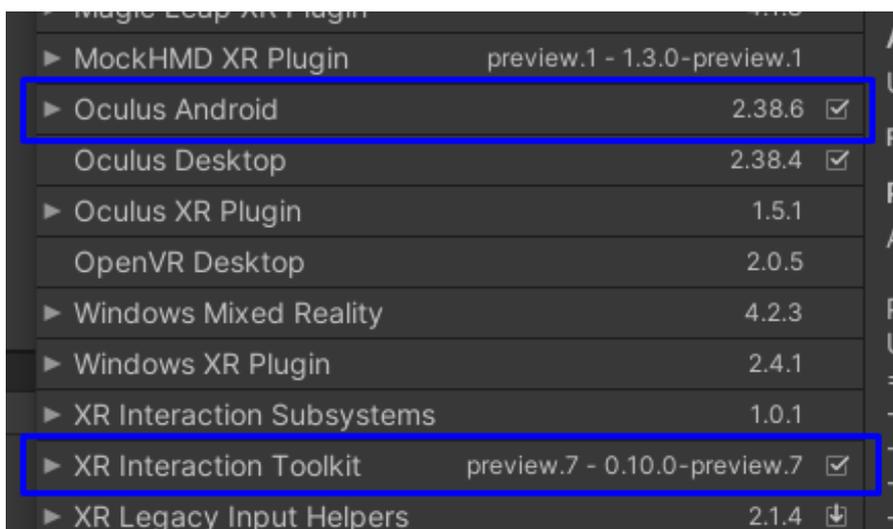


Figura 64. Ventana de Unity las paqueterías mencionadas en la instrucción 6 del actual instructivo.

- VII. A continuación, ir a la pestaña “File” y seleccionar la opción “Build Settings”.

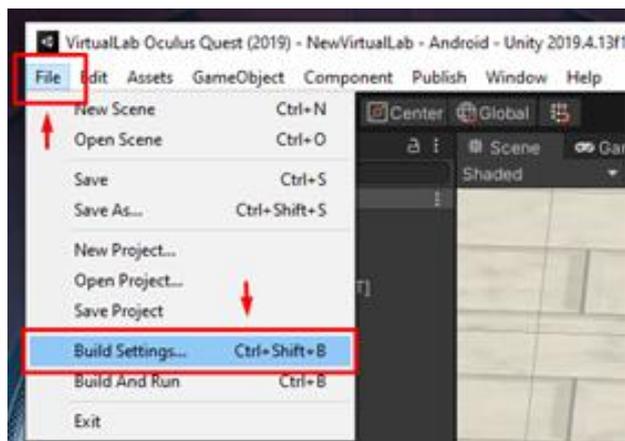


Figura 65. Menú desplegable de la pestaña File en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 7 del actual instructivo.

- VIII. Verificar que la plataforma en la que se va a realizar la construcción es “Android”. Así mismo configurar las siguientes opciones, tal como se muestra en la figura 66: para “Texture Compression” seleccionar “Don’t override”, la cual es la opción por defecto para construir en android y misma que funciona correctamente, debe modificarse solo en caso de requerir diferentes opciones de resolución; para “ETC2 fallback” seleccionar 32-bit, lo cual permite que los colores e imagen en la simulación presenten una mayor calidad que con las demás opciones; finalmente en “Compression Method” se selecciona “LZ4”, opción que permite mejorar significativamente el tiempo de carga de la simulación en el dispositivo al momento de correrla.

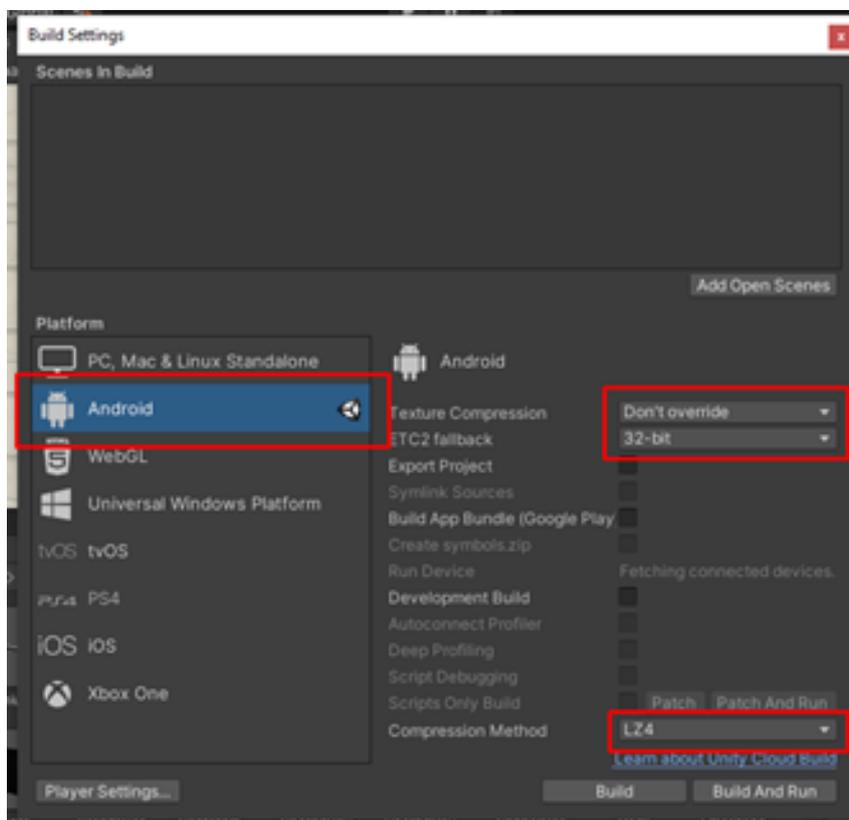


Figura 66. Apartado Android en la ventana Build Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 8 del actual instructivo.

- IX. Hacer clic en la opción “Player Settings” para acceder a otras opciones de configuración.

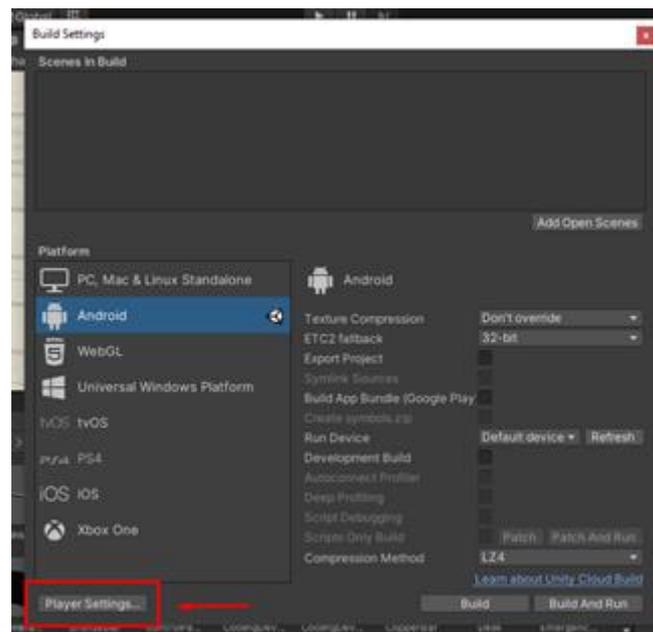


Figura 67. Ventana Build Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 9 del actual instructivo.

- X. Validar que se encuentra en la opción “Player”. Se recomienda agregar un nombre de la compañía, un nombre del producto y la versión para poder verificar qué versión se está probando, sin embargo, si se omite no impide que el proyecto pueda construirse, es decir, no son datos obligatorios.
- XI. Validar que se encuentra seleccionada la subpestaña que presenta el ícono de Android, es decir, la subpestaña “Settings for Android”.

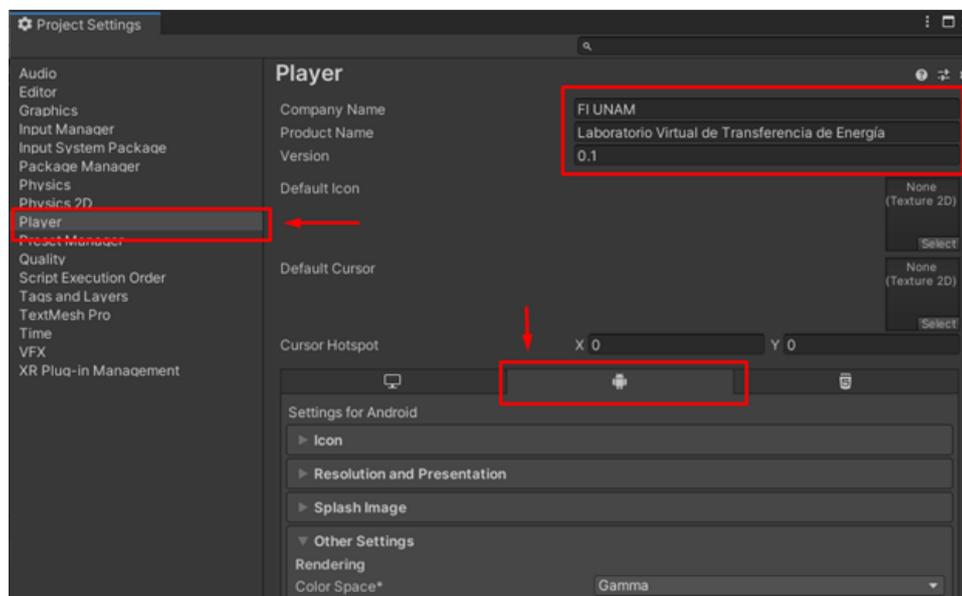


Figura 68. Apartado Player Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para las instrucciones 10 y 11 del actual instructivo.

- XII. Dirigirse a “Other Settings” y buscar “Minimum API Level” y colocar la opción “Android 4.4 Kit Kat (API level 19)”, así como seleccionar “.NET Standard 2.0” para el valor de “Api Compatibility Level”.

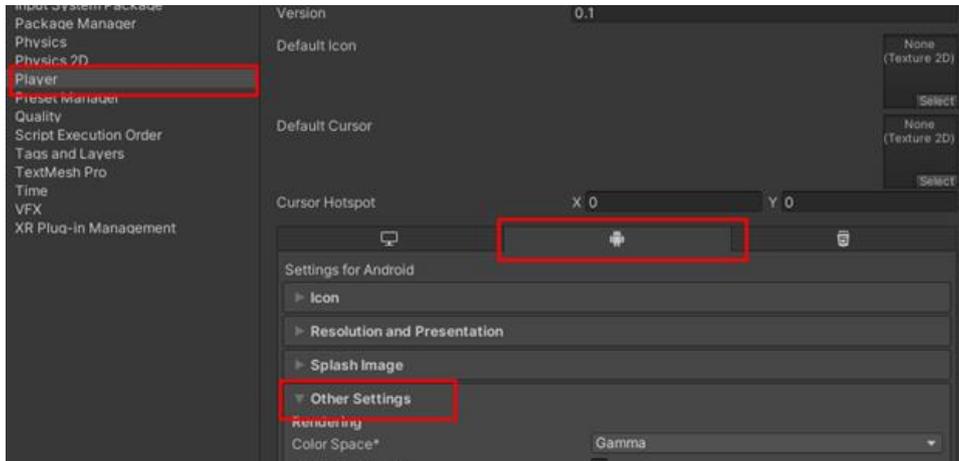


Figura 69. Apartado Player Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 12 del actual instructivo.

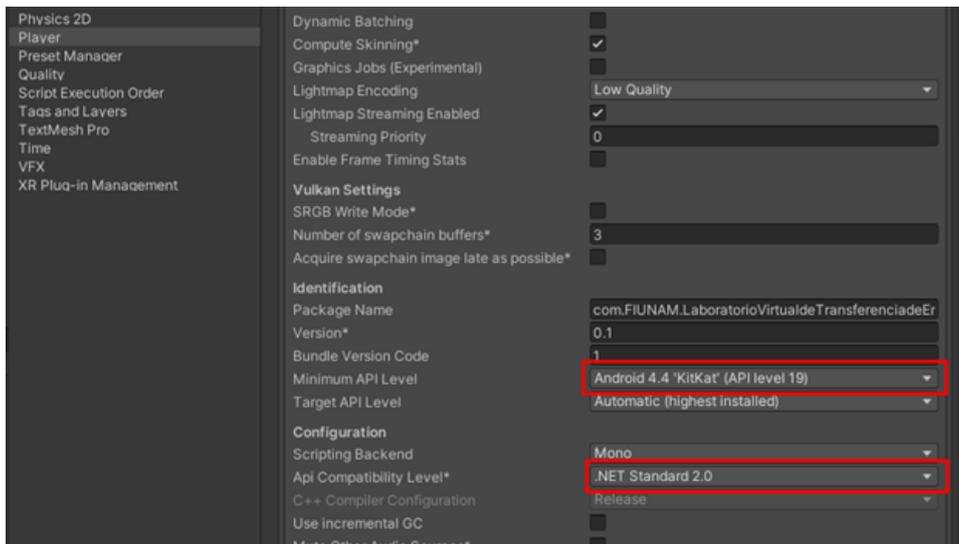


Figura 70. Apartado Player Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 12 del actual instructivo.

- XIII. Dirigirse a “XR Settings” y validar que se tienen marcadas las características de “Virtual Reality Supported” y “V2 Signing (Quest)”, opciones que permitirán darle compatibilidad a la aplicación con los dispositivos de realidad virtual Oculus Quest.

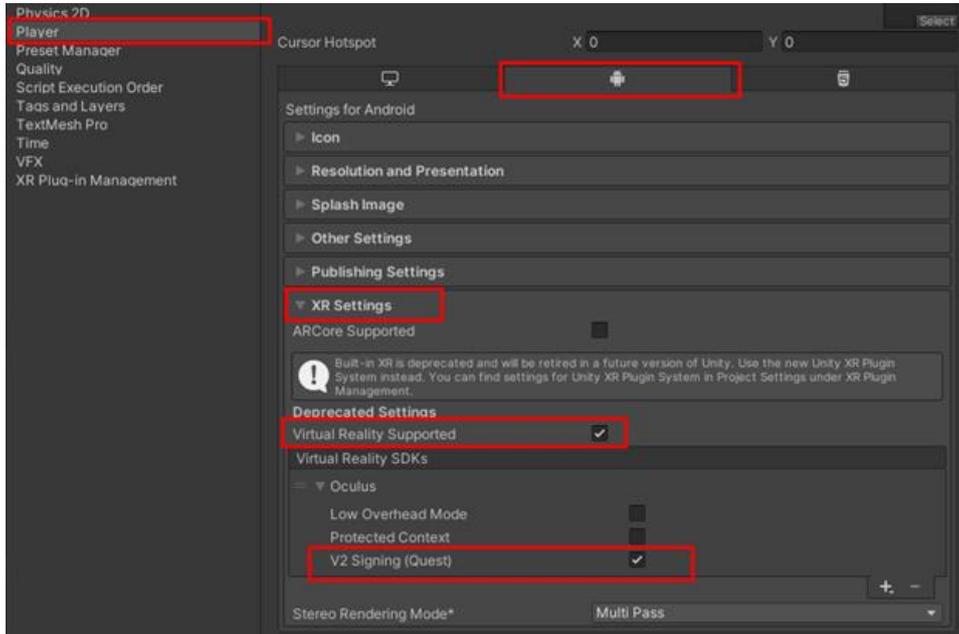


Figura 71. Apartado Player Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 13 del actual instructivo.

- XIV. Cerrar la ventana de “Player Settings” y volver a la ventana de “Build Settings”
XV. Construir la aplicación presionando el botón “Build”.

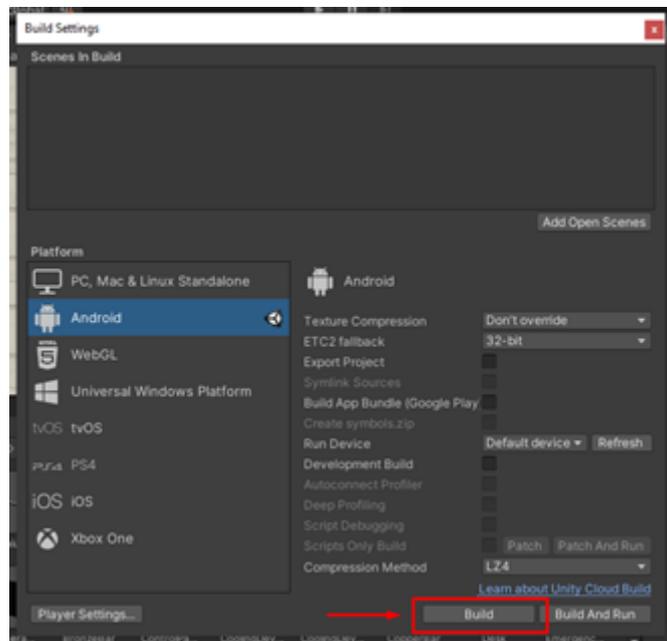


Figura 72. Apartado Android en la ventana Build Settings en Unity señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 15 del actual instructivo.

- XVI. Colocar la ruta en que se desee guardar la aplicación apk y colocarle un nombre para identificarla. Presionar el botón “Save”.

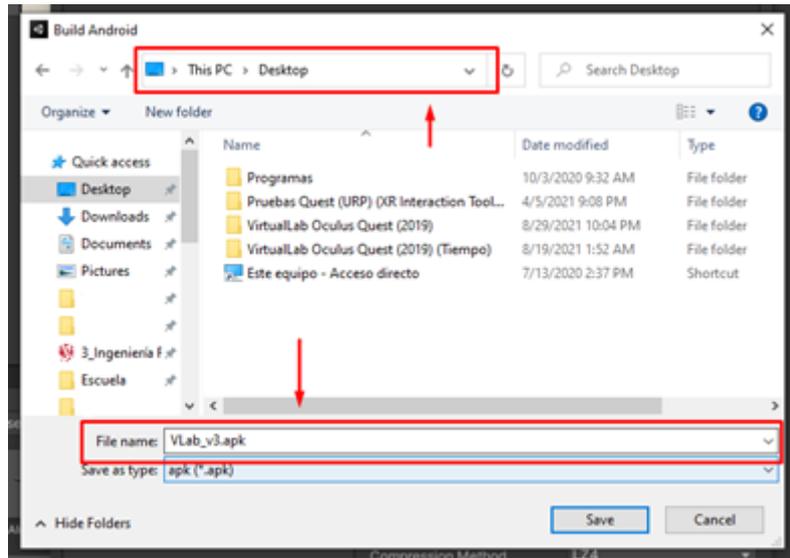


Figura 73. Ventana emergente Build Android señalando botones y/o textos importantes para la instrucción 16 del actual instructivo.

- XVII. Esperar a que se termine de construir la aplicación.

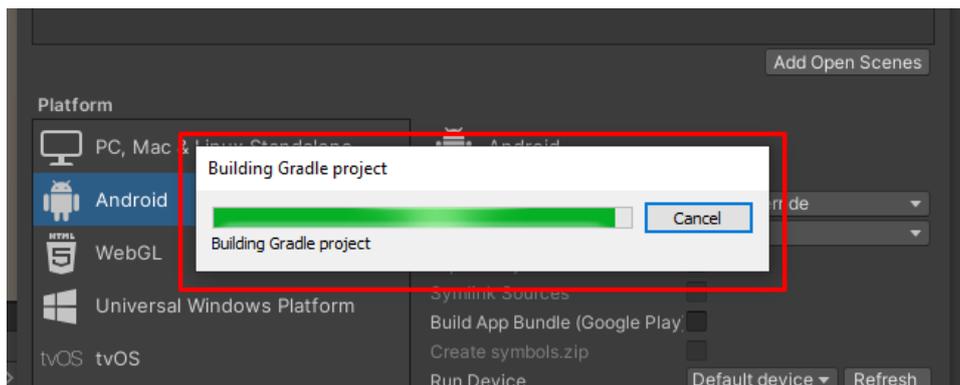


Figura 74. Ventana emergente de progreso “Building Gradle project” referente a la instrucción 17 del actual instructivo.

- XVIII. Se abrirá una ventana del Administrador de Archivos ubicada en la ruta donde se guardó la aplicación construida. Validar que se encuentra ahí con el nombre que se especificó.

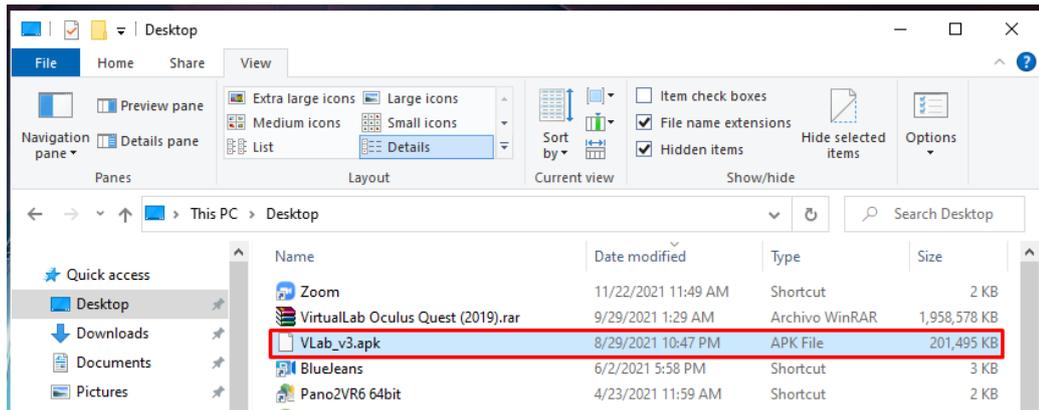


Figura 75. Ventana del explorador de archivos donde se muestra el archivo apk construido por Unity.

Hasta este punto ya se tiene construido el archivo que será cargado al dispositivo Oculus Quest para ejecutar el programa. A continuación, se muestran los pasos necesarios para poder emparejar los visores con una cuenta de Oculus y poder activar el modo desarrollador, lo cual permitirá que puedan instalarse aplicaciones de fuentes externas en el dispositivo:

- XIX. Buscar la aplicación de Oculus en la tienda de aplicaciones del dispositivo móvil que se prefiera usar y descargarla:



Figura 76. Aplicación Oculus mostrada en la tienda del dispositivo móvil.

- XX. Abrir la aplicación Oculus en el dispositivo móvil.



Figura 77. Aplicación Oculus instalada y mostrada en la pantalla de inicio del dispositivo móvil.

- XXI. Registrar una nueva cuenta o iniciar sesión haciendo uso de una cuenta existente de Facebook:

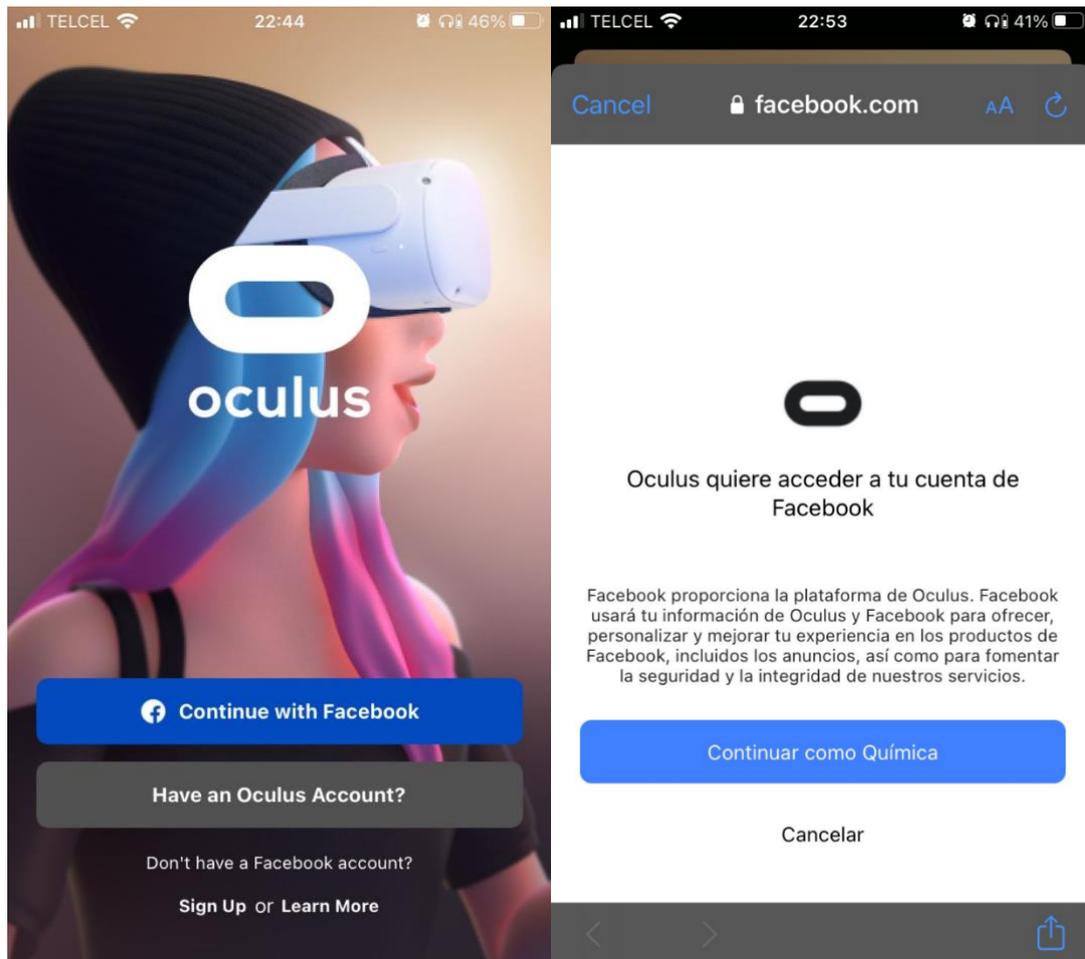


Figura 78. Pantalla de inicio de la aplicación de Oculus donde se solicita acceso (izquierda) y pantalla emergente donde se solicita permisos para acceder con la cuenta de facebook con la que actualmente se tiene iniciada sesión (derecha).

- XXII. Una vez iniciada sesión, dirigirse a la pestaña “Devices” y presionar el botón “Add device” representado con un signo “+”, el cual se encuentra ubicado en la esquina superior derecha de la pantalla. Lo anterior con el fin de vincular un nuevo dispositivo de realidad virtual con la aplicación en el dispositivo móvil.
- XXIII. Seleccionar el modelo de dispositivo oculus que deseas emparejar con tu cuenta. En este caso seleccionar la opción “Quest”.

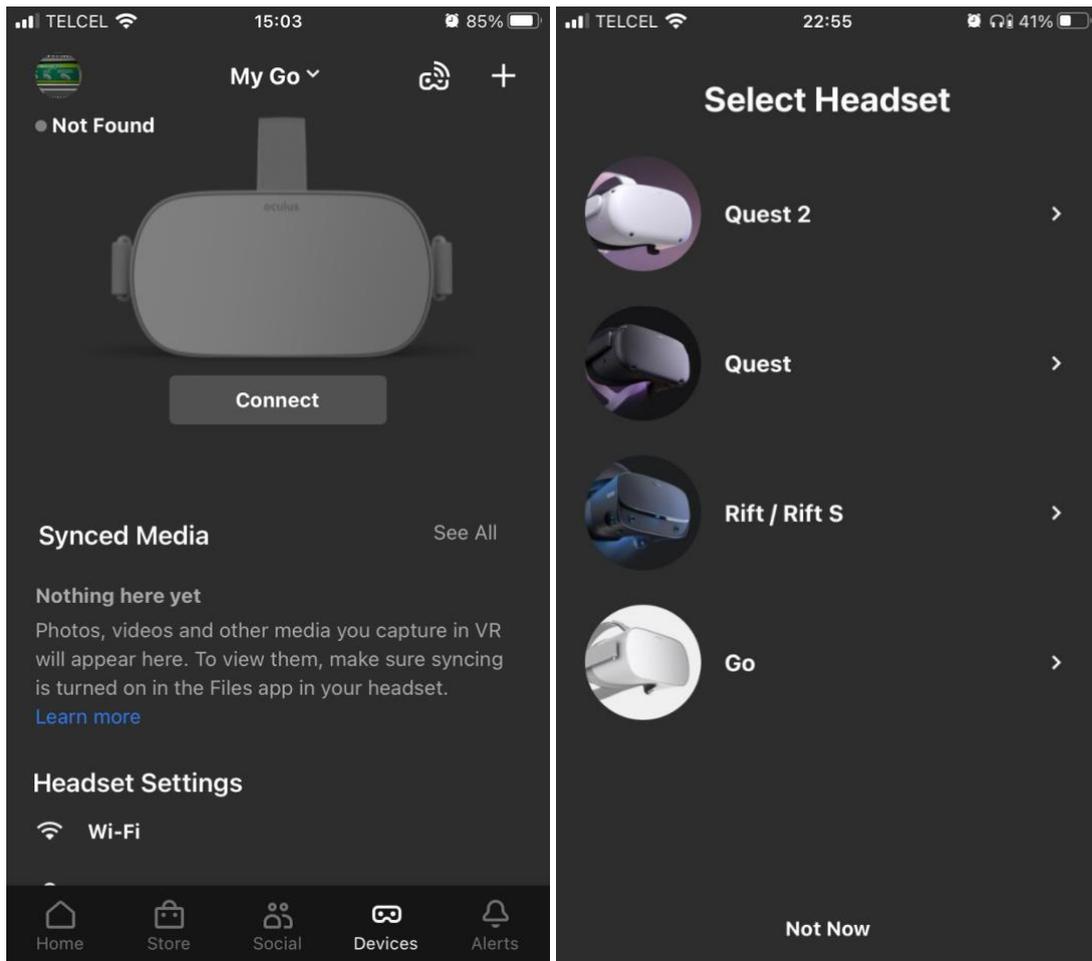
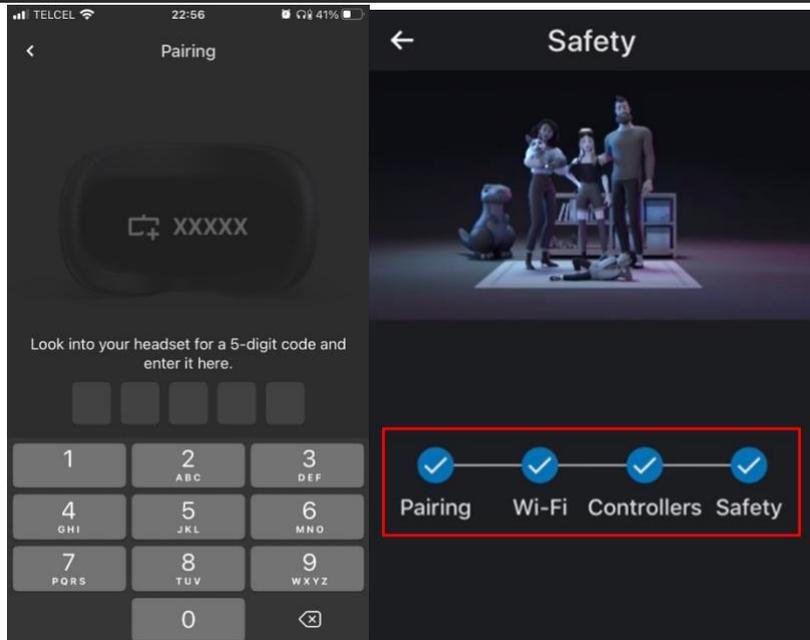
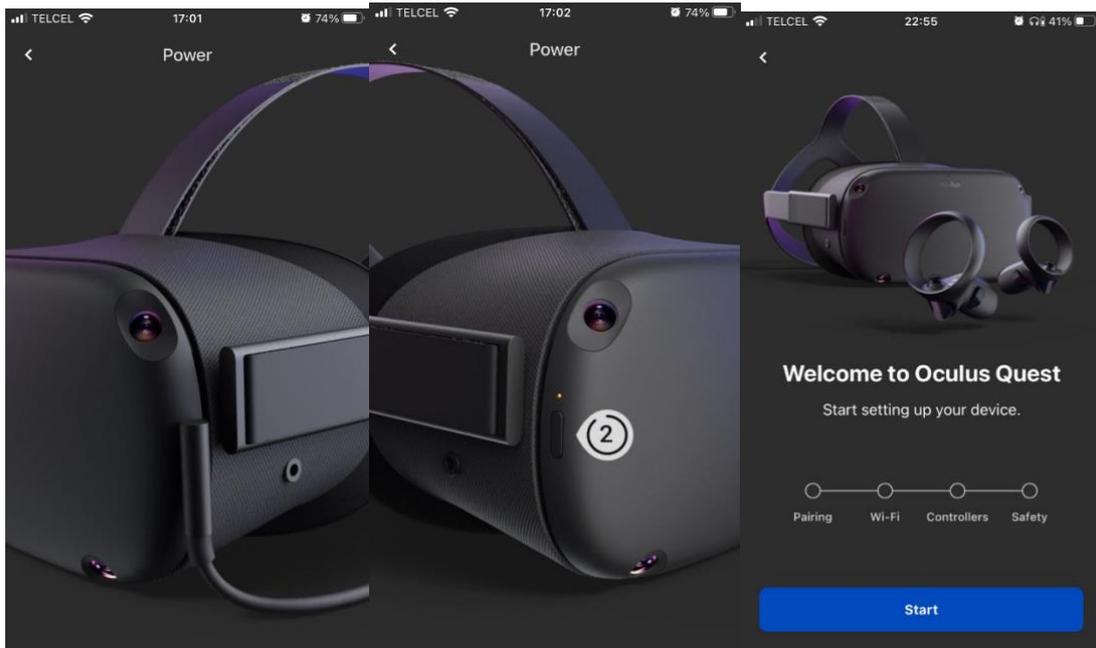


Figura 79. Pestaña "Devices" (izquierda) y ventana mostrada al presionar el signo "+" del que se habla en la instrucción XXII del presente instructivo (derecha).

- XXIV. Conectar el Headset a una fuente de energía mediante su cable USB-C a USB-C y su adaptador, presionar su botón de encendido por alrededor de 2 segundos para prenderlos y seguir los pasos que solicita la aplicación:
- a. Emparejar el dispositivo mediante un código de emparejamiento.
 - b. Ingresar los datos de la red de wi-fi la cual servirá para conectar el dispositivo inalámbricamente a internet.
 - c. Colocar la batería a los controles y finalmente seleccionar el idioma de preferencia para ver un video sobre la importancia de la seguridad al usar el dispositivo.



Figuras 80, 81, 82, 83 y 84. Pantallas mostradas durante la ejecución del paso XXIV del presente instructivo.

XXV. Verificar que se tienen emparejados los visores al dispositivo móvil.

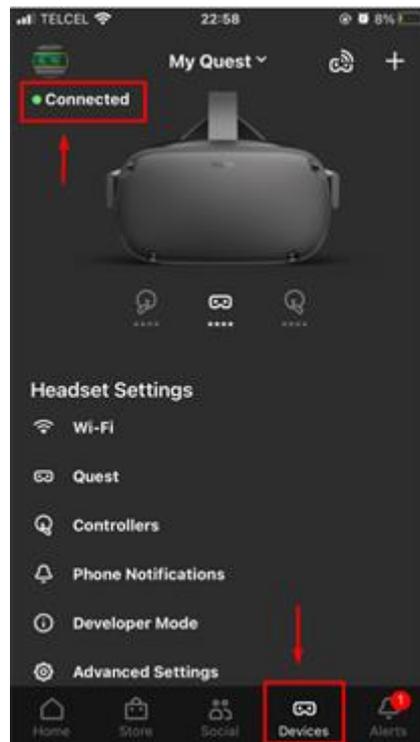


Figura 85. Pestaña "Devices" con secciones importantes señaladas de acuerdo a la instrucción XXV del presente instructivo.

XXVI. Una vez más en la pestaña Devices, seleccionar la opción "Developer Mode", para posteriormente activarlo mediante el slide.

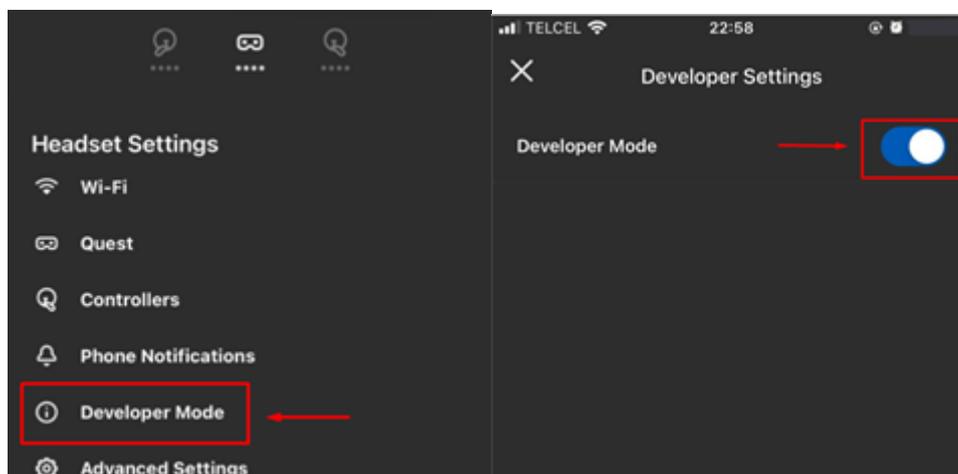


Figura 86. Pestaña Devices señalando la opción "Developer Mode" (izquierda) y pestaña emergente tras seleccionar la opción "Developer Mode" con el slide señalado.

Finalmente, solo falta instalar la aplicación en los visores. Para instalar un apk en los Quest existen varias formas. En los pasos siguientes veremos cómo realizarlo mediante los comandos de ADB (Android Debug Bridge):

XXVII. Descargar e instalar Android SDK Platform Tools desde la página para developers de android.

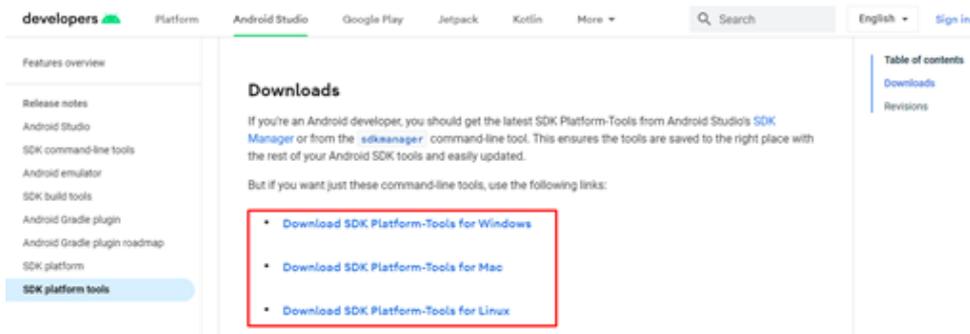


Figura 87. Pestaña “SDK platform tools” indicando los hipervínculos de descarga.

XXVIII. Descarga de la página web de Oculus los drivers ADB.

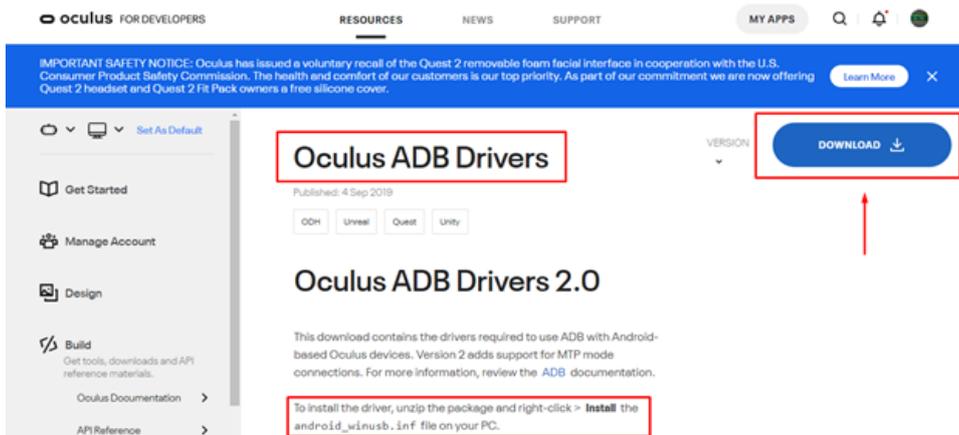


Figura 88. Página web de oculus para desarrolladores señalando elementos y textos importantes para la ejecución del paso XXVIII del instructivo actual.

XXIX. Descomprimir el archivo descargado, buscar el archivo con extensión *.inf*, darle clic derecho y seleccionar la opción “Install”.

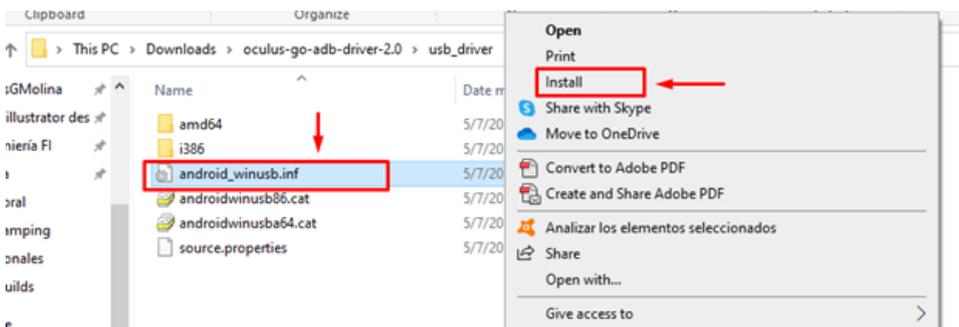


Figura 89. Ventana del explorador de archivos señalando elementos importantes para la ejecución del paso XXIX del instructivo actual.

XXX. En la computadora, ir a “Start Menu” seleccionando la tecla “Windows” o la tecla correspondiente en una computadora Mac, y teclear “CMD”, y seleccionar 'Run as administrator'*

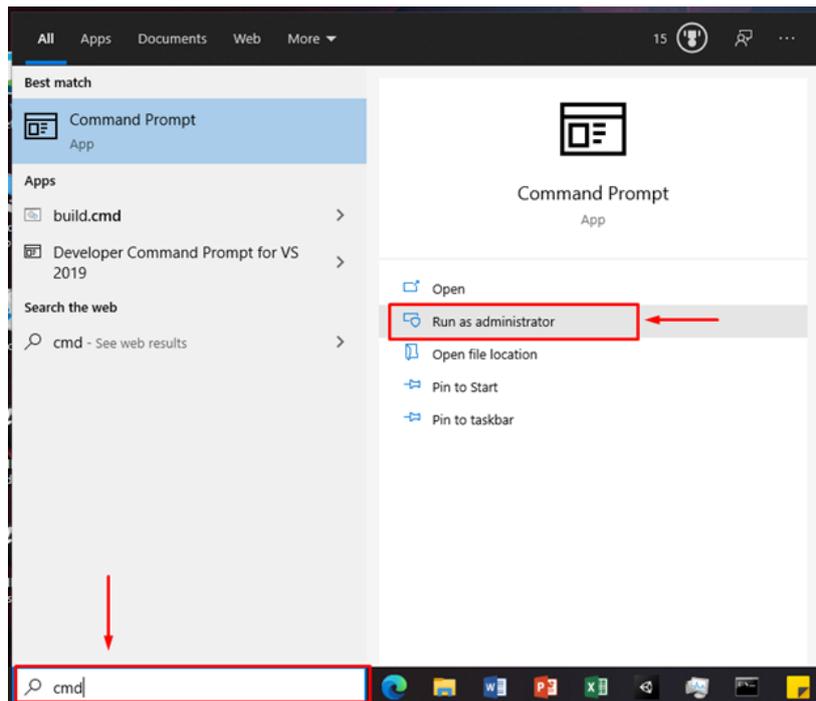


Figura 90. Ventana de windows señalando elementos importantes para la ejecución del paso XXX del instructivo actual.

*En caso de que se requiera dar acceso a los comandos de ADB a un usuario que no sea administrador en el equipo de cómputo es necesario agregar la dirección de archivo donde se encuentra el SDK de platforms-tools al Path de Variables de Usuario del usuario en cuestión con los siguientes pasos:

- a) Buscar en el buscador del sistema "System Properties", seleccionarlo e ir a la pestaña "Advanced".
- b) Dirigirse a las Variables de Entorno seleccionando el botón "Environment Variables".
- c) En la ventana emergente "Environment Variables" ubicar y seleccionar la variable de usuario "Path".
- d) Dar clic en "Edit..." para poder editar dicha variable.
- e) En la nueva ventana emergente "Edit environment variable" presionar el botón "New" para agregar un nuevo path en el que se busque cierto comando, en este caso los comandos ADB.
- f) Escribir la dirección de archivo donde se encuentra el SDK de platforms-tools de Android. Usualmente se encuentra en C:\Users\\AppData\Local\Android\Sdk\platform-tools donde <NombreUsuario> debe remplazarse por el nombre del usuario en cuestión.
- g) Presionar "OK" en cada una de las pestañas en orden inverso a como fueron abiertas, es decir, empezando por la última que se abrió.

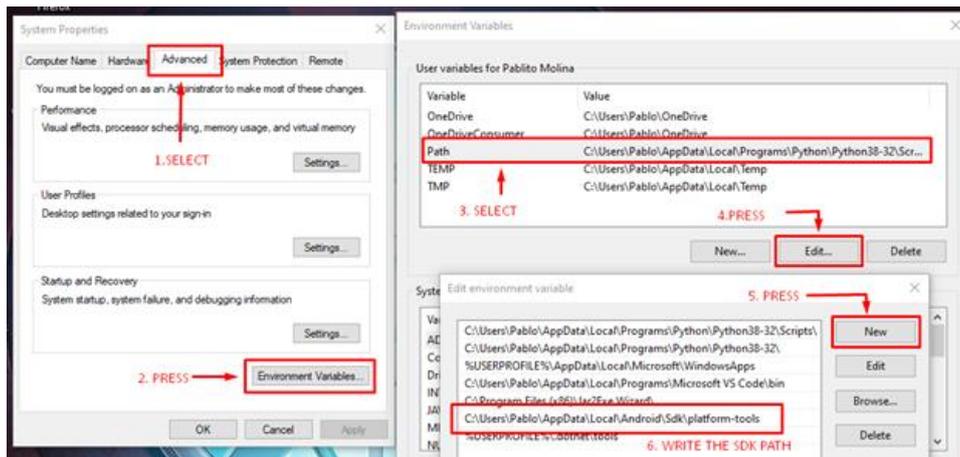


Figura 91 Pestañas e instrucciones gráficas referentes a los pasos redactados en los incisos del a) al g) mostrados anteriormente.

XXXI. Para comprobar que la instalación de los controladores ADB es correcta se debe escribir el comando “adb help” en la consola del sistema y se debe ejecutar.

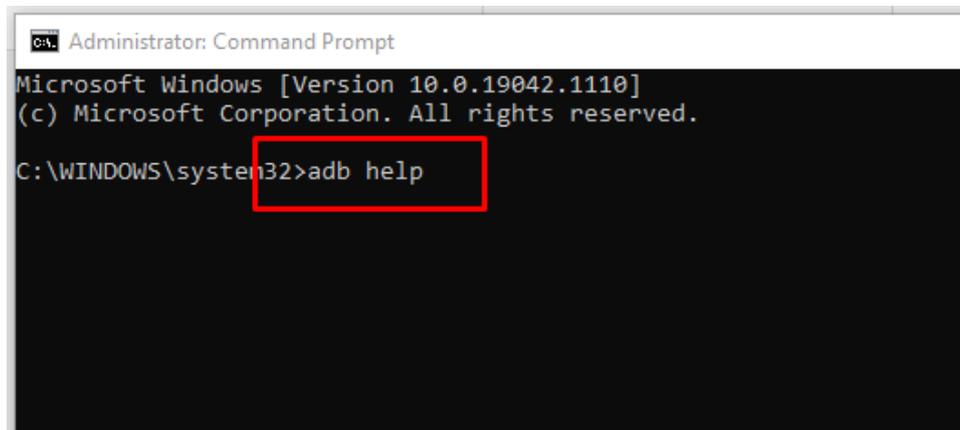


Figura 92. Ventana de comandos mostrando la instrucción “adb help”.

XXXII. Con el Headset quest encendido conectar el dispositivo a la computadora a través del cable usb-c a usb-c.

XXXIII. Darle acceso a la computadora, desde los visores, para poder ver y poder cargar archivos a los visores.

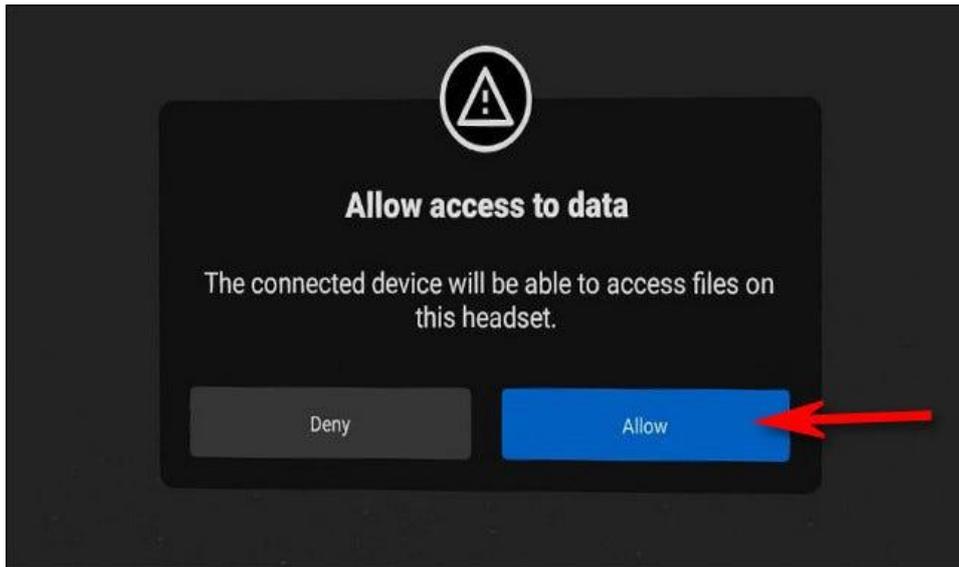


Figura 93. Ventana dentro de los oculus para dar acceso a los archivos y datos del headset a la computadora conectada.

- XXXIV. En el símbolo del sistema ejecutar el comando “adb devices” con el fin de validar que existen dispositivos conectados, en este caso buscando que los oculus quest ya se encuentren enlazados correctamente.

```
C:\Users\Pablo>adb devices
List of devices attached
1PASH9A8F30184 device
```

Figura 94. Ventana de comandos mostrando el resultado deseado luego de ejecutar la instrucción “adb devices”.

En caso de error verificar la conexión correcta entre los visores y la computadora, así como de haber dado correctamente los permisos de acceso de lectura y escritura a la PC.

```
C:\Users\Pablo>adb devices
adb server version (40) doesn't match this client (41); killing...
* daemon started successfully
List of devices attached
```

Figura 95. Ventana de comandos mostrando el resultado de error luego de ejecutar la instrucción “adb devices”.

- XXXV. Ejecutar el comando “adb install -r <Path>\<NombreApp>.apk”, donde <Path> debe ser sustituido por la dirección en la que se encuentra almacenado el archivo y <NombreApp> debe ser sustituido por el nombre con que se guardó el archivo con extensión apk.
- XXXVI. Esperar a que sea cargada la aplicación en el dispositivo, validando que en la ventana de comandos aparece la palabra “Success”.

```
C:\Users\Pablo>adb install -r C:\Users\Pablo\Escuela\UnityBuilds\VLab_v2.apk
Performing Streamed Install
Success
```

Figura 96. Ventana de comandos mostrando el resultado deseado luego de ejecutar la instrucción “adb install”.

En este momento ya puede desconectarse el Headset de la computadora sin ningún problema para poder ser utilizado.

Una vez instalado el programa en los visores se puede dar paso a la realización de pruebas con usuarios dentro de la simulación. Cabe destacar que las pruebas fueron realizadas de manera presencial en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería con estudiantes universitarios, llevando a cabo los protocolos de sanidad necesarios para salvaguardar la salud de los usuarios mediante el uso de gel antibacterial para las manos de los usuarios, toallitas sanitizantes para los equipos y estaciones de trabajo y mediante el uso de mascarillas desechables de ojos para evitar el contacto directo entre la piel de los usuarios y los visores de realidad virtual.

A continuación, se describen los pasos necesarios para poder realizar las pruebas del entorno virtual haciendo uso del Oculus Quest:

1. Se pide al usuario que, si es la primera vez que ocupa visores de realidad virtual o no se siente muy familiarizado con ellos todavía, realice toda la prueba estando sentado en una silla para evitar que caiga al suelo si se presentan efectos secundarios como el mareo.
2. Se le explica que debe tener un área despejada y que si se encuentra acompañado debe indicar a quienes se encuentren o puedan estar presentes que tras colocarse los visores les es imposible ver el mundo exterior, esto con el fin de evitar que pasen enfrente, avienten cosas, o lleguen a poner obstáculos que puedan provocar accidentes durante la utilización de los visores.
3. Se le solicita que introduzca sus manos a las correas de los controles y ajuste cada correa firmemente a sus muñecas y sujete firmemente el control. Esto para evitar que el control pueda caer y estrellarse si se llega a soltar.
4. Se le pide que ubique y se familiarice con todos los botones que tiene el control para facilitar su uso una vez tenga los visores puestos.

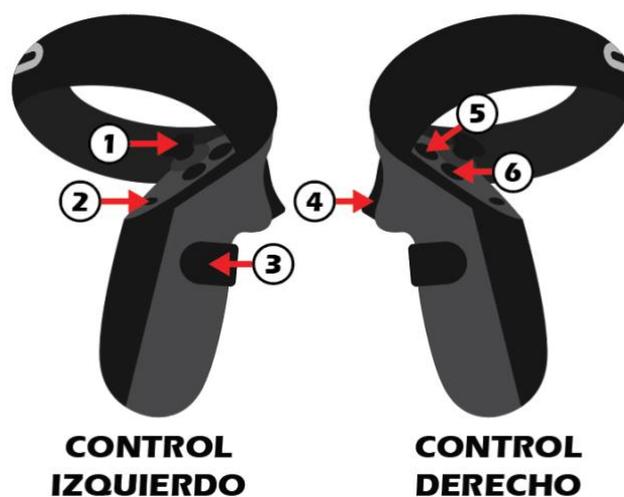


Figura 97. Esquema de los controles del oculus quest numerando los botones principales a ubicar.

5. Se le solicita que encienda los visores presionando el botón lateral por alrededor de 2 o 3 segundos, así como asegurarse que los controles tienen las baterías debidamente colocadas.
6. Se le pide ahora al usuario que se coloque los visores en la cabeza frente a sus ojos sujetándolos firmemente con su mano dominante, para que posteriormente con la otra mano pueda colocarse y ajustar las correas laterales y superior de tal manera que queden los visores bien sujetos en su cabeza y a la vez se sientan cómodos para su uso. Así mismo se le indica que en la parte inferior del dispositivo se encuentra un botón deslizante con el que puede ajustarse ligeramente la distancia de separación de los lentes del dispositivo con los que podrá ajustar la focalización de la imagen.

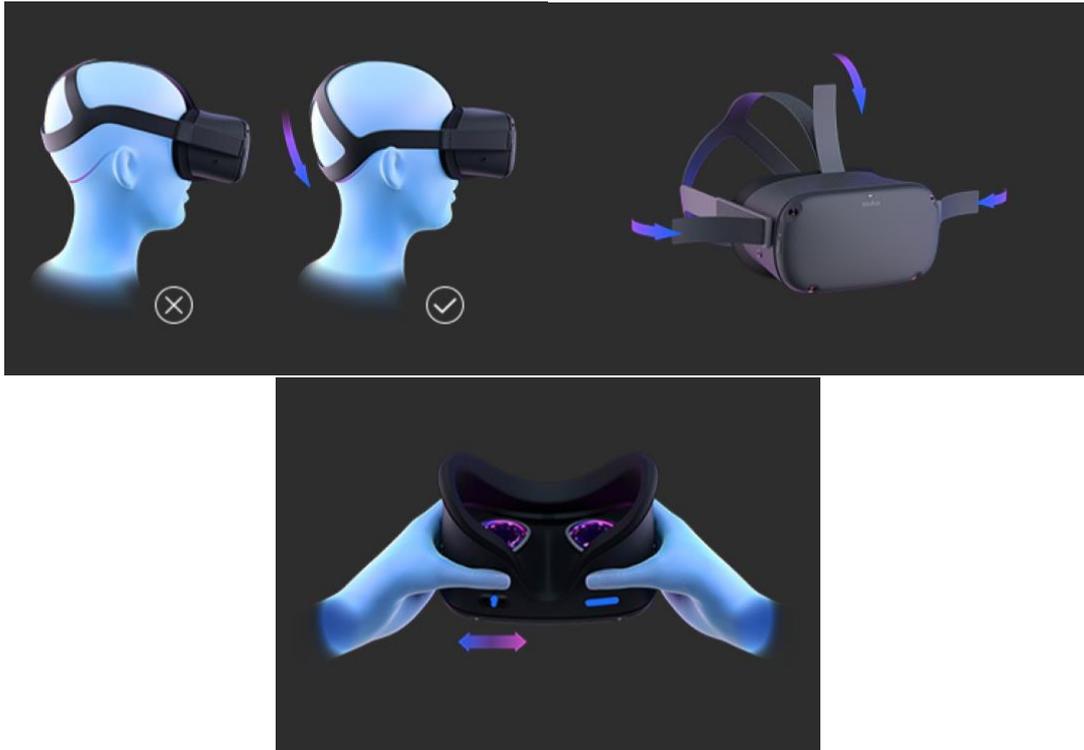


Figura 98. Ayudas visuales, auxiliares al paso 6 del presente protocolo, para el correcto ajuste del headset.

7. Se le indica que verá 2 objetos con la misma forma de los controles de los cuales salen 2 líneas rectas y largas (como si fueran “miras láser”), los cuales se moverán de acuerdo al movimiento que el usuario realice físicamente con los controles. Se le especifica que puede seleccionar las opciones que se ven en pantalla apuntando al botón con la “mira láser” de cualquier mano y presionando el “gatillo” del control con su dedo índice.
8. Se le solicita que siga las instrucciones que se muestran en el visor, es decir, que siga las instrucciones para definir el sistema guardián que delimitará el espacio seguro de trabajo en el que podrá moverse o desplazarse de ser necesario.
9. En este punto, en una computadora el guía debe ingresar a la página <https://oculus.com/casting>, la cual permite que el usuario pueda compartir lo que visualiza en la pantalla del headset en tiempo real en la pantalla de la computadora, de manera que se facilite el guiar al usuario a través de la prueba.

Start casting to this private link from your headset

-  Press the Oculus button to open the universal menu
-  Go to Sharing
-  Select Cast
-  Select Computer

Figura 99. Pantalla de la página de oculus cast previo a castear algún dispositivo, con la lista de instrucciones a seguir dentro del dispositivo.

10. Se le indica al usuario que, con el fin de que se pueda monitorear todo el proceso de prueba, oprima el botón “oculus” del control derecho para abrir el menú principal, luego se le pide que ubique y seleccione la opción “Compartir”, seguido de la opción “Cast”, luego seleccione la opción “Computadora”, “siguiente” y “Hecho”. Con esto se iniciará el proceso de “Casteo” de la imagen de cada usuario.
11. Posteriormente, se le pide que ubique y seleccione la pestaña de “Aplicaciones” dentro de la interfaz principal de oculus, posteriormente, se solicita seleccionar la categoría de aplicaciones de “orígenes desconocidos” y se le indica seleccionar la aplicación del Laboratorio Virtual.
12. Una vez que el usuario se encuentre dentro de la simulación se le pide que no se mueva y ponga completa atención a lo que observa en pantalla. Se le solicita leer las instrucciones que se encuentran frente a él plasmadas en un pizarrón. Se le invita a que, en caso de cualquier duda o desentendimiento de las instrucciones, pregunte en cualquier momento.



Figura 100. Pizarrón principal de instrucciones dentro de la simulación.

13. Se le menciona un repaso de las mismas instrucciones que acaba de leer y se le pide que intente ir realizando las funciones de desplazamiento que se describen. Se le explica que esas instrucciones permanecerán ahí y que podrá voltear a verlas en cualquier momento en caso de ser necesario.
14. Como primer ejercicio, el usuario debe realizar un recorrido a lo largo del aula para finalmente dirigirse y detenerse frente al banco de pruebas.



Figura 101. Realización de pruebas de realidad virtual inmersiva.

15. Se le explica al usuario el funcionamiento general del banco de pruebas, indicando la función de cada elemento dentro del experimento y el objetivo que se tiene con el mismo.
16. Se le solicita que observe el pizarrón frontal, en el cual se encuentran señaladas las variables importantes del experimento, así como el termómetro ambiental donde se encuentra señalada la temperatura ambiente.
17. Se le pide que ubique el sensor de temperatura infrarrojo, el cual cuenta con un distintivo color naranja, posteriormente se le pide que acerque su mano y presione el gatillo de mano lateral o “Hand Trigger” y sin soltarlo desplace el sensor de izquierda a derecha.
18. Una vez logrado el paso anterior, se le pide que presione los diferentes botones del panel de control del experimento, recordando que para ello se necesita apuntar al botón que se desee presionar y presionar el gatillo frontal o “Index Trigger”. Así mismo se le pide que observe el efecto de cada uno de los botones en el banco de pruebas o en el pizarrón de variables.

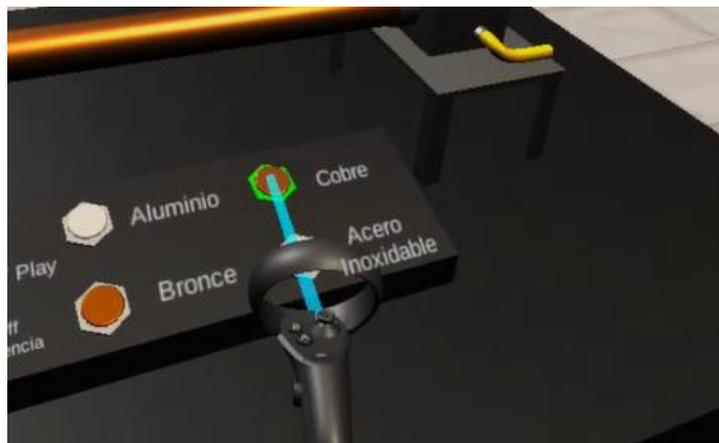


Figura 102. Apuntamiento y “presión” de botón de cambio de material mediante la acción de presionar el gatillo frontal del control.

19. Para finalizar, se le solicitó al usuario que realizara la siguiente lista de instrucciones con el fin de evaluar su desempeño al realizarlas:
 - a) Seleccionar el material Aluminio.

- b) Disminuir la temperatura ambiente a 19 grados posicionando el cursor en el botón '-' del control de temperatura.
- c) Aumentar la temperatura de la resistencia a 170 °C.
- d) Dar clic en el botón Start.
- e) Con las teclas de dirección, mover el sensor a lo largo de la barra.
- f) Observar las diferentes lecturas del sensor a diferentes distancias.
- g) Dar clic en el botón Stop.

Los pasos anteriores permiten conocer la capacidad del usuario de realizar tareas específicas dentro del ambiente y de que haya entendido las instrucciones de uso de la simulación. Se le pide utilizar el software libremente por un tiempo de 3 minutos. En caso de alguna duda, se le pide que se lo comunique al equipo en el momento en que se presente.

Llevando a cabo esta serie de instrucciones se determina que la prueba concluye y que el usuario domina todas las funciones operativas de la aplicación y se le considera capaz de seguir cualquier guion experimental con cualesquiera que sean las instrucciones para el desarrollo de una práctica realizada a través de esta aplicación haciendo uso de los oculus quest.



Figura 103. Realización de pruebas de la versión de realidad virtual inmersiva.

Se procede a realizarle una serie de preguntas al usuario con el fin de conocer cómo fue su experiencia al realizar la prueba a través de dispositivos de realidad virtual especializados como lo son los oculus quest obteniendo así retroalimentación de su parte para una futura actualización del software y su implementación en realidad virtual inmersiva. Las posibles respuestas a las preguntas de dicha encuesta se realizaron mayormente en escala de Likert, exceptuando las preguntas con respuestas técnicas, personales o abiertas. A continuación, se detalla la serie de preguntas a realizar a los usuarios:

- 1) Escribe tu nombre, por favor.
- 2) ¿Es la primera vez que ocupas un dispositivo inmersivo de Realidad Virtual?
 - a. Sí, es la primera vez.
 - b. No, pero lo he ocupado muy pocas veces.
 - c. No, ya me encuentro familiarizado.
- 3) ¿Cómo te sentiste durante el uso de los visores? ¿Tuviste algún malestar?
 - a. No pude siquiera empezar la simulación del experimento.
 - b. Empecé la simulación, pero no pude terminarla.
 - c. Al finalizar las pruebas tuve que tomar un tiempo para descansar.

- d. Finalicé las pruebas y continué con normalidad.
- 4) ¿Cómo te resultó el uso de los controles de realidad virtual?
 - a. Nunca me acostumbré a usarlos.
 - b. Al principio tuve dificultad, pero poco a poco me acostumbré a su uso.
 - c. Rápidamente me familiaricé con la forma de utilizarlos.
 - 5) ¿Tuviste problemas para navegar a través de la interfaz de los visores y encontrar la aplicación?
 - a. Sí, tuve que pedir ayuda para encontrarla.
 - b. Tarde un poco en familiarizarme, pero lo conseguí.
 - c. No, rápidamente me familiaricé en el uso del dispositivo.
 - 6) ¿Cómo consideras que fue la calidad de la imagen durante la simulación?
 - a. Se veía de mala calidad, muy borroso.
 - b. Considero que se veía regular, ni muy mala ni muy buena.
 - c. La imagen se veía muy clara.
 - 7) Dentro de la simulación, ¿Cómo consideras que fueron las instrucciones relacionadas con el movimiento dentro del aula y aquellas sobre la interacción con los elementos del panel?
 - a. La redacción era confusa y/o las imágenes no se entendían.
 - b. Las instrucciones se veían borrosas.
 - c. No presenté inconveniente alguno.
 - d. Me parecieron muy claras, rápidamente aprendí a moverme.
 - 8) Visualmente, ¿Cómo consideras que fue la lectura de las instrucciones estando posicionado desde el banco de pruebas?
 - a. Las instrucciones se veían borrosas o no se veían.
 - b. Las alcanzaba a ver con dificultad y tenía que acercarme a ellas para leerlas.
 - c. No presenté inconveniente alguno, se veían muy claras.
 - 9) ¿Cómo te resultó llevar a cabo el desplazamiento del sensor?
 - a. No logré desplazarlo.
 - b. Fue muy complicado moverlo.
 - c. Lo pude desplazar, pero fue muy diferente a las instrucciones.
 - d. Podía moverlo, pero me costaba trabajo acomodarlo en una posición.
 - e. Lo desplazé sin ninguna dificultad y de manera precisa.
 - 10) ¿Cómo calificarías la forma en la que cambias el material de la barra?
 - a. Nunca entendí cómo cambiar el material de la barra.
 - b. Tardó mucho en identificar los materiales.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.
 - d. Me pareció muy rápido e intuitivo.
 - 11) ¿Cómo consideras que fue la interacción para poder modificar la temperatura ambiente?
 - a. No pude modificar esta variable.
 - b. Fue muy complicado variar la temperatura.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.
 - d. Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
 - 12) ¿Cómo te resultó la interacción para poder modificar la temperatura de operación de la resistencia?
 - a. No pude modificar esta variable.
 - b. Fue muy complicado variarla.
 - c. A veces cambiaba y a veces no.

- d. Resultó muy sencillo subir y bajar la temperatura.
- 13) ¿Cómo consideras que fue la lectura y la distribución de las variables y resultados del experimento? (pizarrón frontal)
- a. Me parecieron muy invasivas, me quitaban visibilidad del experimento.
 - b. Considero que en ocasiones se perdían o no se veían claramente.
 - c. Me parecieron adecuadas y útiles en todo momento.
- 14) ¿Cómo consideras que fue el laboratorio virtual respecto a cómo es un laboratorio real?
- a. Completamente diferente a la realidad. No creía que estaba en un laboratorio y eso entorpeció mi experiencia al desarrollar las actividades.
 - b. Es diferente, los elementos apenas y se parecían a lo que es un laboratorio real, la experiencia fue muy rara.
 - c. Ni muy similar ni muy diferente. Los elementos son parecidos a los de un entorno real, sin embargo, no me sentí completamente en un verdadero laboratorio.
 - d. Similar, la mayoría de los elementos y funciones se parecen a un laboratorio real.
 - e. Muy apegado a la realidad. Me familiaricé rápidamente con el ambiente y no me costó ningún trabajo desarrollar las actividades.
- 15) ¿Cómo consideras que los colores y la distribución de los botones dentro del aula te ayudaron en el desarrollo de actividades relacionando al objeto con su función?
- a. Me confundieron mucho y me tardaba en identificar qué botón presionar.
 - b. Me confundieron poco pero poco a poco fui asociándolos.
 - c. No me ayudaron ni me perjudicaron.
 - d. Me ayudo poco para memorizar las funciones con los botones.
 - e. Me facilitó para asociar rápidamente la función de cada uno.
- 16) ¿Qué tan satisfecho te encuentras con los resultados al realizar el experimento?
- a. Muy Insatisfecho.
 - b. Insatisfecho.
 - c. Neutral.
 - d. Satisfecho.
 - e. Muy satisfecho.
- 17) Ayúdanos a mejorar. ¿Qué otras funciones añadirías tú al experimento para que sea lo más cercano a la realidad?

5. Resultados

Los resultados que se muestran a continuación se derivan de tres sesiones organizadas con potenciales usuarios del entorno virtual, entre docentes y alumnos de la universidad, con el fin de llevar a cabo las pruebas de usuario del proyecto en cada una de sus diferentes presentaciones, es decir, en las versiones de escritorio, web e inmersiva.

El primer grupo de pruebas fue conformado por 4 docentes a los cuales se les presentó la aplicación de escritorio, realizando la reunión por videoconferencia a través del servicio de Google Meet.

El segundo grupo fue formado con la participación de 8 alumnos universitarios quienes realizaron las pruebas en la aplicación web, nuevamente citados a distancia por Google Meet.

Finalmente, el tercer grupo se compuso por 17 alumnos universitarios para realizar las pruebas respectivas a la aplicación inmersiva con el uso de visores de realidad virtual oculus quest.

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos para cada uno de los grupos:

5.1. Resultados de la aplicación de escritorio

Luego de haber llevado a cabo las pruebas siguiendo el protocolo detallado en el apartado 4.1 del presente trabajo, se obtuvieron las siguientes observaciones y resultados:

1. Durante la ejecución de los pasos del 1 al 5 del protocolo, los docentes no presentaron inconveniente alguno al descargar el archivo por medio de la URL compartida; sin embargo, al momento de ejecutar la aplicación se mostró un error con la leyenda “no se encuentra el archivo .dll”. Al analizar el caso se determinó que posiblemente el antivirus cataloga a la aplicación como malware, eliminando parcialmente los archivos extraídos, por lo que se les comentó a quienes presentaron el error que, en caso de que cuenten con antivirus, lo desactiven temporalmente y realicen la extracción del archivo Zip nuevamente. Con esto el error fue solucionado.

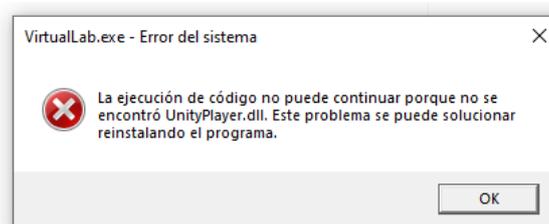


Figura 104. Mensaje de error al abrir la aplicación de escritorio

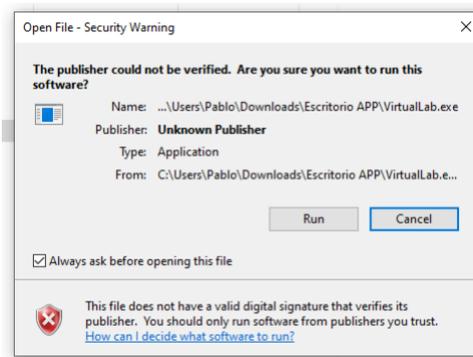


Figura 105. Mensaje de advertencia de Windows, identifica que el programa no cuenta con firma

2. Asimismo, durante la ejecución del paso 5, al dar la instrucción de “apuntar con el cursor al archivo VirtualLab.exe” una docente presentó un inconveniente ya que no visualizaba la extensión del archivo ‘.exe’. Se le comentó que es el mismo archivo que lleva por nombre ‘VirtualLab’. Esto se presentó debido a que el sistema operativo que utiliza la docente se encuentra configurado para no mostrar la extensión de los archivos en el explorador de archivos.

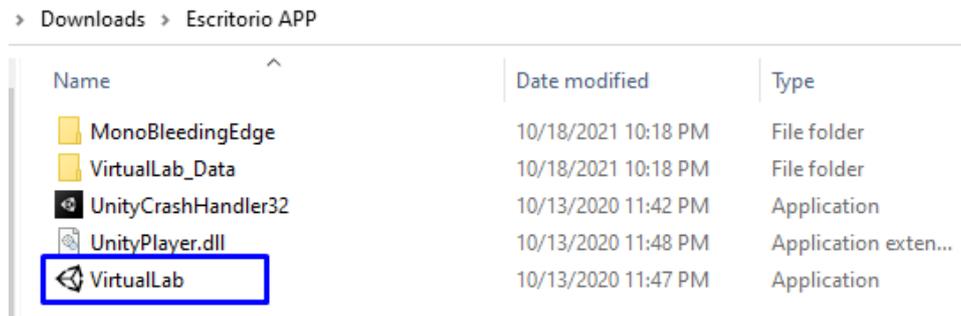


Figura 106. Indicación de la aplicación, no muestra la extensión .exe

3. Luego de dar las instrucciones generales, al momento de ejecutarse el paso 8 del protocolo, los docentes demuestran que las instrucciones en el pizarrón y los indicadores en la pantalla son entendidos perfectamente, por lo que el movimiento con el teclado y el ratón es dominado sin impedimento alguno. Únicamente un docente comentó que el movimiento con el ratón es demasiado rápido, al cual se le indicó que se debe a la configuración que presenta su dispositivo con respecto a los DPI. Sin embargo, a pesar de que existen diferencias respecto al hardware y su configuración, se espera que cada propietario esté acostumbrado a la calidad y velocidad que maneja en su equipo.
4. Al momento de dar libertad a los docentes de utilizar y explorar el software por un par de minutos, encontraron un error en la programación, EL cual consiste en lo siguiente: el material no puede cambiarse después de modificar los parámetros de temperatura ambiente y/o de temperatura de la resistencia. Para dar solución temporal al error se les pidió que reinicien el programa, con lo cual ya les sería posible disponer de todas las funciones, y se realizó la observación de que, si desean hacer pruebas con determinado material, lo seleccionen desde el inicio del experimento. Posteriormente se revisará la

programación para la corrección de este incidente. Al finalizar las pruebas se les compartió la liga del cuestionario de experiencia y satisfacción. A continuación, se muestran los resultados del cuestionario, los cuales se presentan en varios conjuntos de gráficas, cuyas observaciones se detallan posterior a cada grupo:



Figura 107. Resultados gráficos relacionados con la obtención y localización del archivo.

De acuerdo a las gráficas de la figura 107 se observa que a los usuarios no les fue complicado descargar y localizar el archivo ejecutable de manera óptima, por lo que se cree que la elección de distribuir el archivo a través de un servicio de almacenamiento en la nube es adecuada.

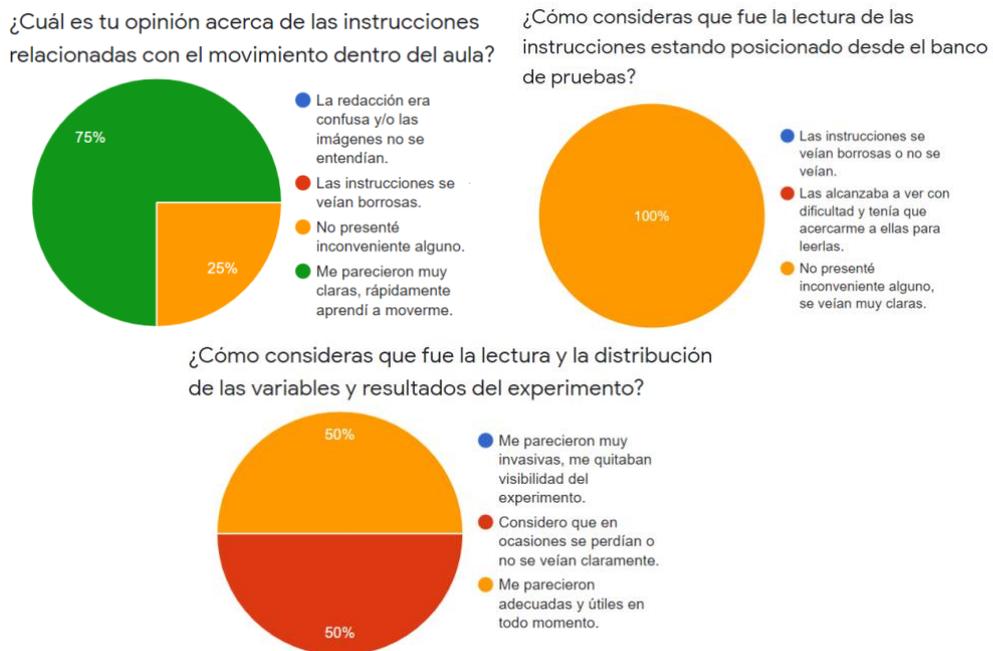


Figura 108. Resultados gráficos relacionados con las instrucciones e interfaz gráfica.

De acuerdo a los resultados arrojados en la encuesta respecto a las instrucciones colocadas dentro de la simulación, puede observarse que todas las respuestas resultan favorables en cuanto a su claridad y visualización, cumpliéndose el objetivo de que en todo momento puedan servir de apoyo al usuario en caso de requerirlo. Sin embargo, en cuanto a la interfaz gráfica de usuario que muestra el resultado de las variables del experimento, se puede notar que la mitad de los participantes considera que en ocasiones las letras y números se

perdían o no se veían claramente, lo cual sugiere realizar correcciones de manera que valores tan importantes para la práctica puedan visualizarse de la mejor manera en todo momento.

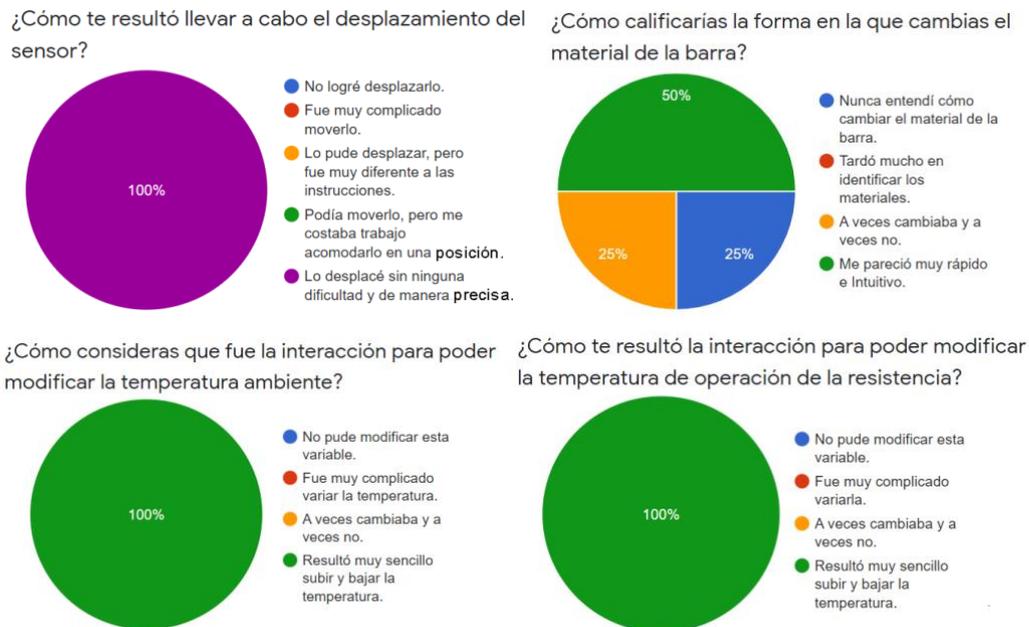


Figura 109. Resultados gráficos relacionados con el funcionamiento y operación de la simulación.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 109 se observa que la parte operativa con la que interactúa el usuario dentro del sistema funciona como se esperaba, es decir, como se diseñó, salvo el caso particular que se detalló al inicio de esta sección en el cual se presenta que, bajo situaciones específicas y bien delimitadas, no se puede realizar el cambio de material de la barra.



Figura 110. Resultados gráficos relacionados con los aspectos visuales del entorno.

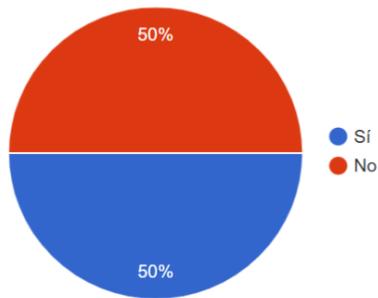
Evaluando la calidad de la imagen, el acomodo visual y estético del laboratorio se obtuvieron los resultados tal y como se muestra en la Figura 110, de lo cual podemos advertir que el tipo de texturas utilizadas, las cuales fueron pensadas para que tuvieran una tendencia hacia lo realista, resultó atinado para el proyecto, así como la elección de colores para los diferentes elementos, principalmente para los botones. De esta manera observamos que el 75% de los encuestados considera que la experiencia visual que tuvo al realizar el experimento virtual es muy acercada a la experiencia que se tiene al realizarlo de manera real, por lo que las técnicas gráficas utilizadas son correctas.



Figura 111. Resultados relacionados con la experiencia y mejora del laboratorio virtual.

De los resultados que se muestran en la Figura 111 podemos deducir que los docentes participantes se encuentran satisfechos con los resultados de realizar el experimento de manera virtual a través de la aplicación de escritorio. Además, realizaron sugerencias que pueden ayudar a mejorar la experiencia que se tiene al realizar el experimento, y las cuales pueden generar algunos puntos que serán abordados en el apartado de trabajo futuro.

¿Tu computadora cuenta con tarjeta gráfica?



¿Cuéntanos qué procesador tiene tu computadora y de qué generación? (Ej. Intel Core i5 8th Gen, AMD Ryzen 5, etc.)

4 respuestas

Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz 3.41 GHz

Core i7 10th gen

Intel Core i7

Core i7 Generación 5

¿Qué Sistema Operativo ocupa tu equipo?



¿Cuánta memoria RAM cuenta tu PC o Laptop?

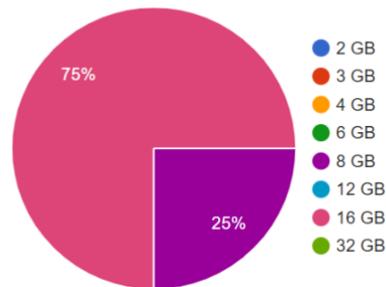


Figura 112. Resultados relacionados con los datos técnicos del equipo de cómputo.

Se observa de los resultados de la Figura 112 que los participantes contaban con diferentes características en sus equipos de cómputo, sin embargo, todos lograron tener una buena experiencia y ejecutar el programa sin ningún inconveniente, lograron cumplir las tareas y actividades que se les indicaron durante la simulación y no hubo retrasos por problemas técnicos que tuvieran que ver con el hardware del usuario, incluso a pesar del hecho de que la mitad de ellos no contaba con alguna tarjeta gráfica especializada.

5.2. Resultados de la aplicación web

Una vez realizadas las pruebas con los usuarios potenciales del entorno virtual para la versión web, siguiendo el protocolo de pruebas presentado en la Sección 4.2 de este trabajo, se obtuvieron los siguientes resultados y observaciones.

1. Durante la ejecución de los pasos del 1 al 3 del protocolo, los cuales tienen que ver con el acceso y ejecución de la simulación, los usuarios no presentaron ningún inconveniente para realizar lo que se les pidió.
2. De igual manera, durante la ejecución de los pasos del 4 al 8 se notó que no hubo problema alguno para los usuarios en familiarizarse con las instrucciones puestas en el pizarrón.
3. Posteriormente, luego de dar las instrucciones generales y al dar paso a los alumnos de manejar libremente el simulador por un par de minutos, rápidamente se encontró un fallo en la programación de la lógica de la simulación, error que, con ayuda de varios usuarios, se delimitó bajo qué circunstancias se presentaba, de manera que podía ser replicado fácilmente. Dicho problema consiste en el hecho de que no puede seleccionarse un material distinto luego de modificar los parámetros de temperatura

ambiente y/o de temperatura de la resistencia. Cabe destacar que esta misma situación surgió durante la realización de pruebas para la versión de escritorio, lo cual se debe a que ambas versiones cuentan con la misma base de programación y configuración básica del entorno. Nuevamente, para dar solución temporal al error se solicitó a los usuarios que recargaran la página para que la simulación iniciara de nueva cuenta con la configuración inicial, antes de presentarse el bug. Se sugirió también a los usuarios que si deseaban realizar pruebas con diferentes materiales reiniciarán la aplicación y seleccionaran desde un inicio el material de su preferencia.

Al terminar con la ejecución de pasos del protocolo preparado se procedió a compartir a los usuarios la liga que los direccionaría al cuestionario de experiencia y satisfacción. De esta encuesta se obtuvieron los resultados siguientes, los cuales se muestran en varios conjuntos de gráficas de las cuales se detallarán las observaciones obtenidas de cada conjunto:

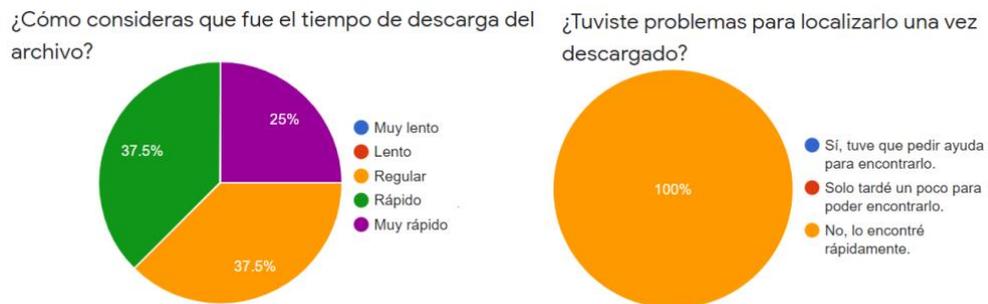


Figura 113. Resultados gráficos relacionados con el acceso al simulador.

Considerando las gráficas resultantes de este grupo de preguntas observamos que el acceso al sitio web donde se encontraba disponible la aplicación y la localización de la pantalla donde se presentaría la misma, se realizaron rápidamente, de acuerdo a lo expresado por la mayoría de los encuestados. Esto permite suponer que el medio y el sitio por el que se decidió dar acceso a los usuarios a la simulación fue bastante adecuado.

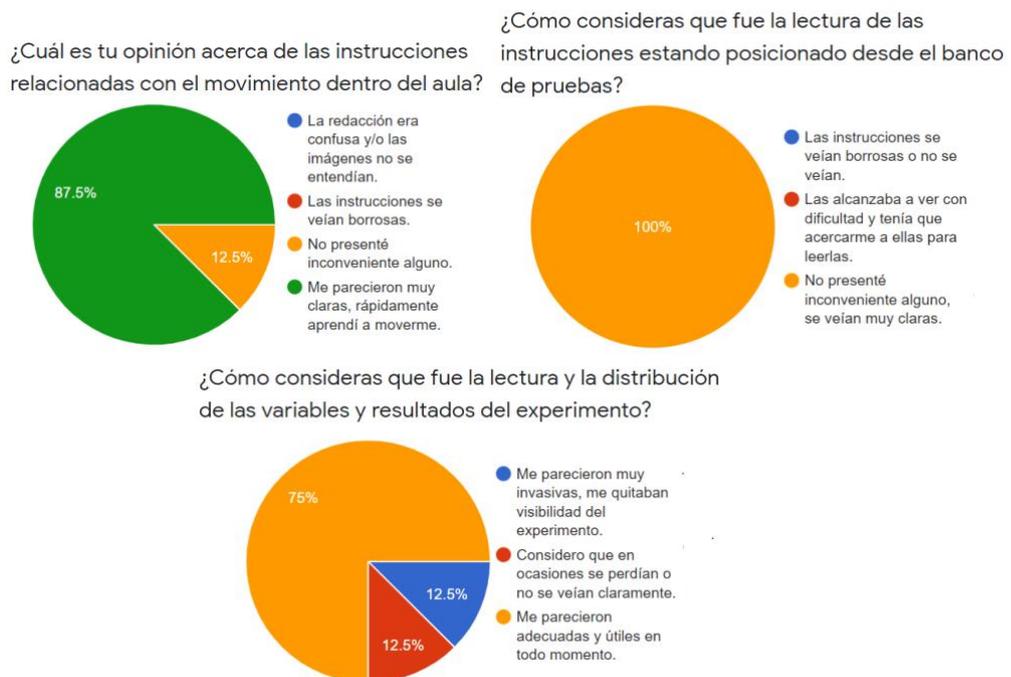


Figura 114. Resultados gráficos relacionados con las instrucciones e interfaz gráfica.

En este grupo de gráficas observamos que los usuarios consideraron claras y con buena visibilidad las instrucciones que se encontraban plasmadas en el pizarrón de la pared lateral del salón virtual. Asimismo, el 75% consideró adecuados y útiles los textos que presentaban las variables y los resultados del experimento en tiempo real, aunque sigue habiendo algunas personas que consideraron que se perdían o les resultaban intrusivas. Este último es un punto que llama la atención debido a que uno de los objetivos principales de realizar un experimento, es la obtención de los resultados, en este caso del valor registrado por el sensor de temperatura y bajo qué condiciones se realiza, por lo que una buena visualización de resultados y variables resulta esencial.

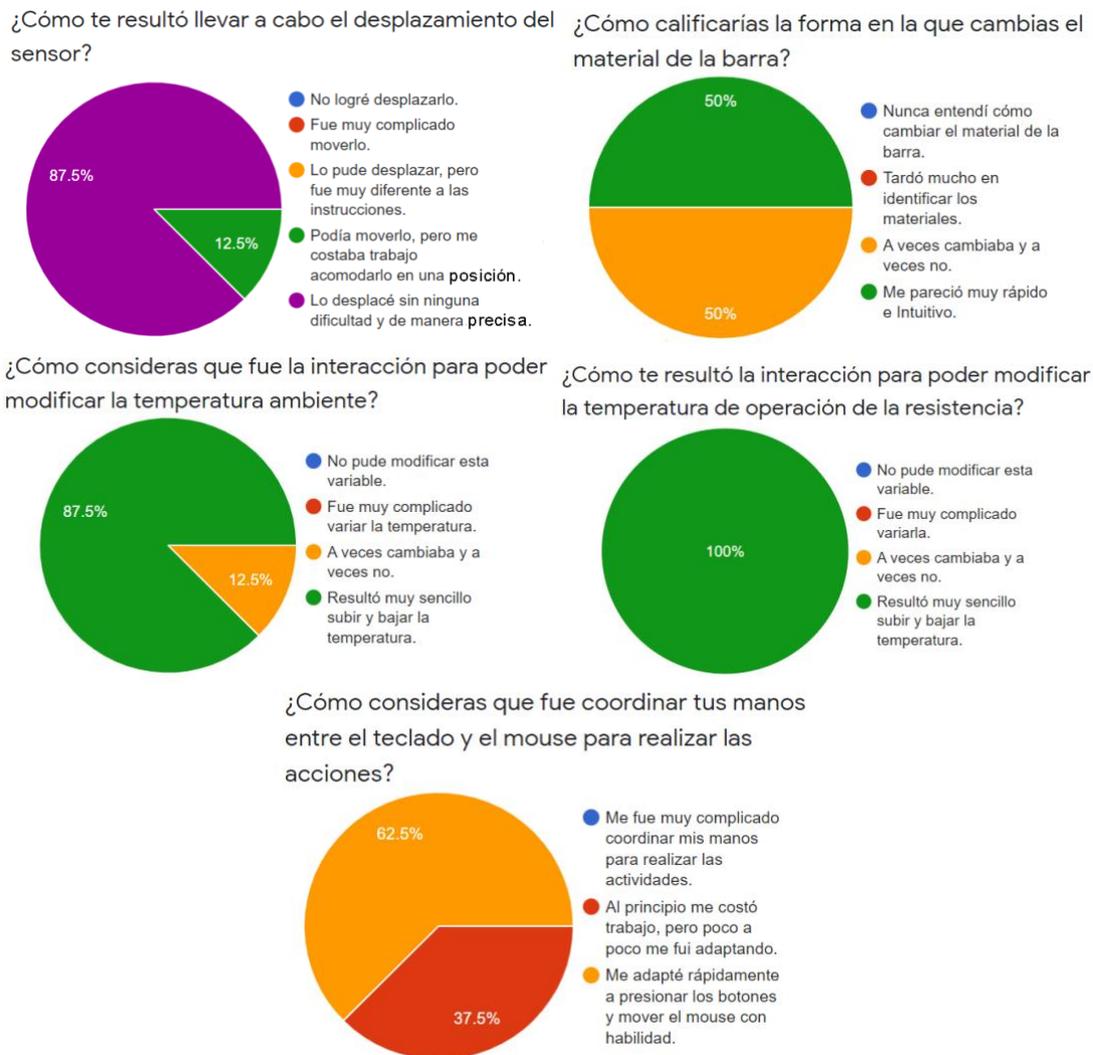
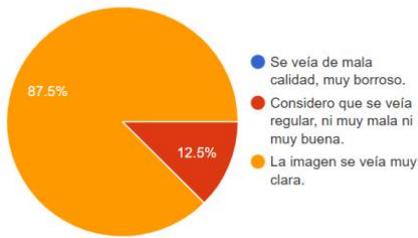


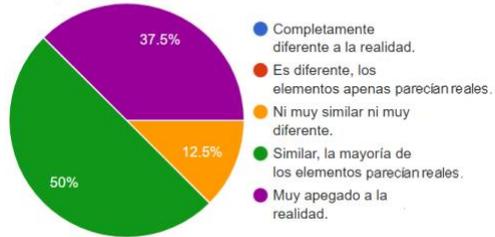
Figura 115. Resultados gráficos relacionados con el funcionamiento y operación de la simulación.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 115 se puede observar que el funcionamiento del sistema con el que interactúa el usuario es correcto en cuanto a que es justo como se pensó al momento de su diseño, omitiendo el pequeño error encontrado por los usuarios al momento del cambio de material, el cual se determinó que tiene más que ver con un tema de logística dentro de la programación que de funcionamiento.

¿Cómo consideras que fue la calidad de la imagen durante la simulación?



¿Cómo consideras que fue el laboratorio virtual respecto a cómo es un laboratorio real?



¿Cómo consideras que los colores y la distribución de los botones dentro del aula te ayudaron en el desarrollo de actividades relacionando al objeto con su función?

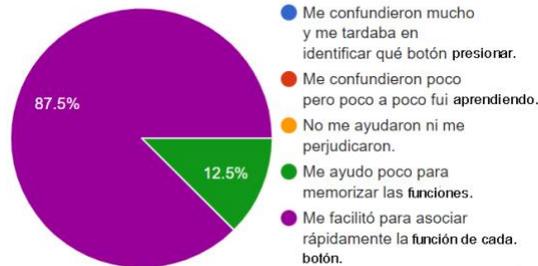
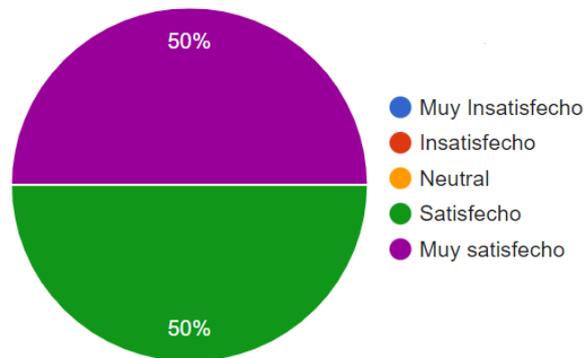


Figura 116. Resultados gráficos relacionados con los aspectos visuales del entorno.

Similar a lo que se observó en los resultados obtenidos luego de las pruebas de la aplicación de escritorio, en esta ocasión se observa que también hubo un resultado favorable consecuencia de una adecuada elección de texturización y diseño de los elementos visuales dentro del entorno. De igual manera se puede ver que una correcta elección en los colores a utilizar en los elementos con los que puede interactuar resulta favorable para una asimilación más rápida de la función que desempeña cada elemento.

¿Qué tan satisfecho te encuentras con los resultados al realizar el experimento?



Ayúdanos a mejorar. ¿Qué otras funciones añadirías tú al experimento para que sea lo más cercano a la realidad?

8 respuestas

Me hubiera gustado ver que se guardaron los datos en una pizarra o en una grafica para poder analizarlos después

El problema de la temperatura ambiente comentado en la prueba

Tal vez alguna animación, sonido o sistema de partículas para saber que el experimento esta funcionando y que se sienta un poco más real.

Tal vez añadiría una dispersión de la temperatura más natural al terminar el experimento, pues en la versión actual pasaba de 100 a 25° de manera repentina.

Quizas que el movimineto del sensor se pueda hacer con el mouse también, que no se pueda cambiar material iniciado el experimento y que los datos medidos no aparezcan todo el tiempo en pantalla, quizas mejor en el pizarron de enfrente o alguna pantalla.

Algún cartel o texto para lo del puntero del mouse que hay que hacerle click y si da problema presionar esc.

Sonidos al presionar botones o mover el sensor, también al 'encender' la resistencia.

conexiones de cables visibles entre los controles, sensores e instrumentos

Figura 117. Resultados relacionados con la experiencia y mejora del laboratorio virtual.

En la gráfica que se observa en la Figura 117 se observa que los usuarios presentes en las pruebas del experimento virtual para la versión web se encuentran satisfechos luego de concluirlos. Una vez más se muestra el interés por los usuarios potenciales de realizar recomendaciones que puedan ayudar a mejorar aún más la experiencia al realizar el experimento, mismas que serán tomadas en cuenta en la elaboración del apartado de “Trabajo futuro” del presente trabajo.

Ayúdanos a saber la velocidad de tu internet. (Ejemplo: 40 Megas) Si no la conoces puedes entrar al siguiente link para conocerla: <https://fast.com>

8 respuestas

110
14Mbps
60.5 Mbbs de bajada y 5.6 Mbbs de subida.
23 Mbps
50 Megas
35
46 Mbps
100 megas

¿Te dio un problema el navegador? Cuéntanos.

6 respuestas

No, todo excelente
El navegador ninguno.
No, todo estuvo bien
No, sin problemas, el problema fue la selección del cursor, ya que la primera vez no me dejó colocarlo al centro, la pantalla no se movía, pero reinicié la página y ya pude colocarlo correctamente.
No me dio ningún problema, salvo por el puntero del mouse que al principio no fije en la flecha y por ello no podía interactuar con el entorno, posteriormente se solucionó rápido
la primera vez que cargó la página tardó un poco después cuando la actualizaba para reiniciar el experimento fue muy rápido

¿Qué navegador utilizaste para entrar?

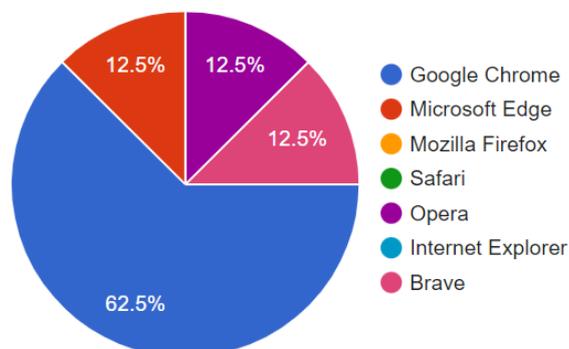


Figura 118. Resultados relacionados con los datos técnicos del servicio de internet de los usuarios y del navegador utilizado.

Se puede observar que la diversidad en cuanto a navegadores y sobre todo en cuanto a la velocidad del servicio de internet de los usuarios no se convirtió en un inconveniente para que los usuarios pudieran desempeñar en tiempo y forma todas las actividades y tareas indicadas durante la realización de las pruebas.

Finalmente, para concluir este apartado, se realiza la observación de que existe una notable similitud en cuanto a resultados entre las versiones de PC y WEB de la aplicación del laboratorio virtual, esto debido a que ambas versiones se trabajaron bajo una misma base de diseño y programación, lo cual permitió que incluso se repitieran los mismos errores, pero sobre todo el éxito y la satisfacción que expresaron tanto docentes como alumnos tras realizar el experimento, con lo que se puede inferir que se logró el cometido de desarrollar una herramienta que simula las condiciones necesarias para ejecutar un experimento a distancia, a consecuencia de no poderse realizar de manera presencial en el laboratorio físico, nuevamente mostrando las ventajas que se tienen al utilizar adecuadamente la tecnología.

5.3. Resultados de la aplicación inmersiva

Sin duda alguna, los resultados en la versión inmersiva fueron los más enriquecedores en cuanto a la variedad de respuestas obtenidas de los usuarios, además de que el número de participantes prácticamente se duplicó respecto a aquellos que realizaron las pruebas de la versión web.

Durante la ejecución del protocolo de pruebas para la versión de realidad virtual inmersiva mostrado en la Sección 4.3 del presente trabajo, se obtuvieron los resultados y observaciones siguientes:

1. Se observa que durante la ejecución de los pasos 3, 4, 5 y 6 los usuarios no presentaron dificultad en colocarse los controles y el headset correctamente, así como en familiarizarse con los botones de cada control, a pesar de que varios mencionaron que era la primera ocasión que utilizaban un dispositivo de realidad inmersiva.
2. Al momento de indicar a algunos usuarios que seleccionaran la opción de compartir su vista o de “castear” su imagen se observó que en algunos casos la función tardaba demasiado en cargar y finalmente no conseguían compartir lo que veían. Este tipo de incidente, en la mayoría de los casos, no provocó mayor aficción para que el usuario pudiera ser guiado por los facilitadores durante la ejecución de las pruebas, sin embargo, en algunos casos hubo que pedirle a algún usuario que presentaba alguna dificultad muy particular que se retirara los visores para que algún facilitador pudiera auxiliarlo.
3. Durante la ejecución de los pasos 17 y 18 observamos que los usuarios entendieron rápidamente las instrucciones ya que no realizaban muchas preguntas y ejecutaban lo que se les pedía. Únicamente algunos participantes expresaron que no podían mover el sensor, hecho curioso ya que es el único elemento interactuable que se maneja diferente a los demás, por lo que les fue más difícil entender la instrucción de cómo debía realizarse, sin embargo, con una explicación un poco más detallada fueron capaces de mover el elemento.
4. Al momento de dar las instrucciones del paso 19 del protocolo los usuarios lograron seguirlas correctamente, de tal manera que cuando se les preguntaba el valor resultante de la temperatura registrada por el sensor todos coincidían en el mismo valor.
5. Por otra parte, en los ciclos de pruebas finales, después de varias horas de pruebas, a algunos visores se les terminó la batería, por lo que fue necesario conectarlos directamente a la corriente eléctrica mientras los últimos usuarios realizaban sus pruebas modificando el sistema guardián a modo “fijo”, indicándoles que ya no podrían desplazarse físicamente por el “área de pruebas” sino que debían permanecer sentados en el lugar asignado. Dicho evento no imposibilitó la realización completa y correcta de las pruebas.
6. Podemos considerar un único error que ocurrió durante las pruebas en el que el usuario logró salir de los límites establecidos al momento de programar la aplicación; sin embargo, es un error que es fácilmente corregible y que se presenta solamente en un caso muy particular.
7. El error presentado en la versión web y escritorio que no permite el cambio de material al ajustar las temperaturas, no surgió durante las pruebas correspondientes a la realidad inmersiva.

Al finalizar las pruebas se les compartió una liga de acceso al cuestionario de experiencia y satisfacción. A continuación, se muestran los resultados del cuestionario, los cuales se presentan en varios conjuntos de gráficas, cuyas observaciones se detallan posterior a cada grupo:



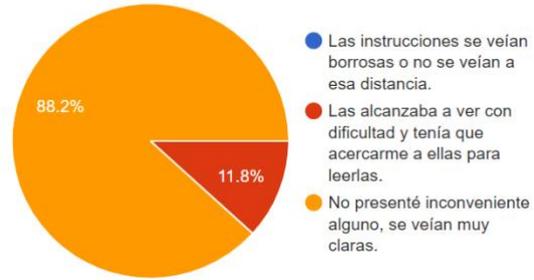
Figura 119. Resultados gráficos relacionados con el uso de dispositivos inmersivos de realidad virtual.

Del conjunto de gráficas anterior vemos que casi dos terceras partes del total de participantes era la primera vez que ocupaba un dispositivo dedicado de realidad virtual inmersivo, mientras que el resto lo habían ocupado muy pocas veces, llegando a tener un solo uso previamente, según lo comentado por algunos usuarios durante las pruebas. A pesar de lo anterior se observa que la mayoría poco a poco se fue acostumbrando a su uso, logrando completar su ciclo de prueba y siguiendo finalmente las instrucciones con rapidez, logrando también familiarizarse la gran mayoría con la propia interfaz de los visores y la navegación en los mismos rápidamente. Cabe mencionar que solamente un usuario mostró ligera molestia al finalizar la prueba y tuvo que tomarse un tiempo para descansar. Los demás usuarios no presentaron malestar alguno y se retiraron con normalidad.

Dentro de la simulación, ¿Cómo consideras que fueron las instrucciones relacionadas con el movimiento dentro del aula y aquellas sobre la interacción con los elementos del panel?



Visualmente, ¿Cómo consideras que fue la lectura de las instrucciones estando posicionado desde el banco de pruebas?



¿Cómo consideras que fue la lectura y la distribución de las variables y resultados del experimento? (pizarrón frontal)



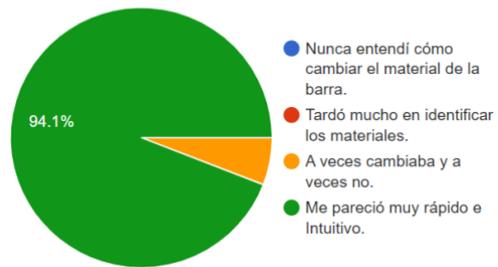
Figura 120. Resultados gráficos relacionados con las instrucciones e interfaz gráfica.

En cuanto al entendimiento de las instrucciones, el 94% de los resultados arrojados por los participantes se mostraron favorables, así como el 88.2% de ellos mostraron que se alcanzaban a ver y entender estando ubicados desde el banco de pruebas. De igual manera cerca de tres cuartas partes consideraron que la lectura de las variables del experimento era adecuada y les fueron útiles en todo momento.

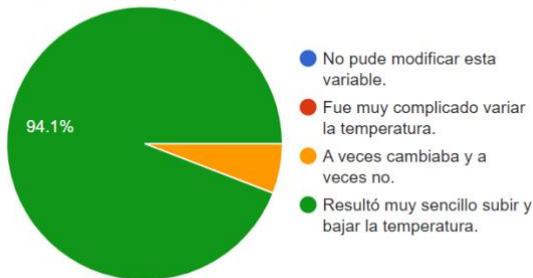
¿Cómo te resultó llevar a cabo el desplazamiento del sensor?



¿Cómo calificarías la forma en la que cambias el material de la barra?



¿Cómo consideras que fue la interacción para poder modificar la temperatura ambiente?



¿Cómo te resultó la interacción para poder modificar la temperatura de operación de la resistencia?

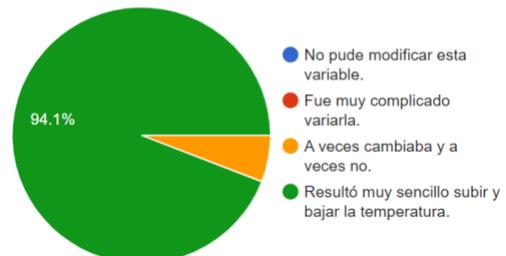


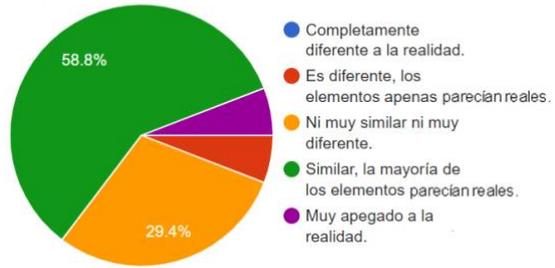
Figura 121. Resultados gráficos relacionados con el funcionamiento y operación de la simulación.

En general se puede decir que la mayoría de los encuestados lograron interactuar con los elementos del panel de control y con los elementos del experimento con sencillez, de manera rápida y hasta intuitiva. De dichos elementos, podemos decir que el que presentó una ligera dificultad para algunos usuarios fue el sensor y su desplazamiento, sin embargo, la mayoría consideró que la acción de desplazarlo no tenía dificultad.

¿Cómo consideras que fue la calidad de la imagen durante la simulación?



¿Cómo consideras que fue el laboratorio virtual respecto a cómo es un laboratorio real?



¿Cómo consideras que los colores y la distribución de los botones dentro del aula te ayudaron en el desarrollo de actividades relacionando al objeto con su función?

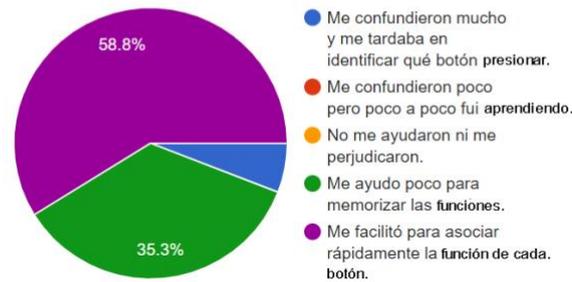
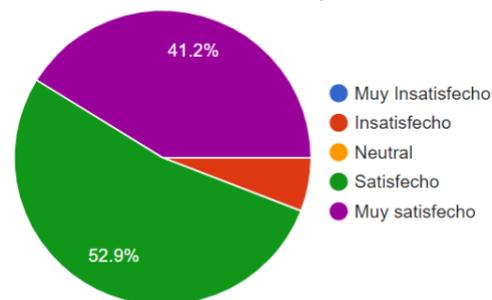


Figura 122. Resultados gráficos relacionados con los aspectos visuales del entorno.

Dados los resultados anteriores se observa que la mayoría considera que la imagen durante la simulación se veía de manera clara, mientras que otra gran parte consideraba que se veía regular. Cabe destacar que la calidad de la imagen en gran medida se ve afectada por el modo de ajuste de los visores en la cabeza, teniendo que ajustarlos en determinadas ocasiones para poder mejorar la calidad y el enfoque de la imagen visualizada. Por otra parte, los participantes mostraron que la mayoría de los elementos del entorno virtual parecían reales, lo que puede indicar un correcto uso de texturas y técnicas de modelado. Así mismo, se mostraron favorables las respuestas de los usuarios en cuanto a la elección de colores para los botones del panel de control, ayudándoles a asociar al botón con la función que desempeñaba.

¿Qué tan satisfecho te encuentras con los resultados al realizar el experimento?



Ayúdanos a mejorar. ¿Qué otras funciones añadirías tú al experimento para que sea lo más cercano a la realidad?

13 respuestas

Los botones del tablero de los experimentos, me agradarían si estuvieran un poco más juntos, es decir que abarquen un area menor.

Tal vez alguna forma de tomar notas, para anotar las mediciones realizadas

Quizás algunas físicas a la hora de agarrar objetos o la distribución de algunos objetos,pero en general se encuentra bien hecho,son pequeños detalles

Que se pudiera abrir el libro o los mismos cajones en donde se podría obtener más información

Posiblemente haría más diversificado el laboratorio con respecto a los materiales y componentes, ya que durante esa práctica eran muy escasos.

-Añadir algún sonido cuando se aumenten las temperaturas, es decir cuando se presionen los botones de aumento de temperatura
-Que se vean las demás personas con las que se esta en el grupo (en un mismo mundo)

Quizá poner cuando la barra ya esta demasiado caliente que saque un poco de humo o algo similar

Ya que realicé la práctica real en un laboratorio, sería interesante añadir lo siguientes elementos que estuvieron presentes durante mi práctica con el objetivo de mejorar la inmersión y por lo tanto la experiencia:
-Cuaderno o lugar donde poder registrar resultados obtenidos.
-pizarron donde el profesor anotó el resultado teórico de una temperatura con x material a y distancia. (ecuaciones y cálculos). Con el objetivo de adornar.

Añadir un sonido asociado a los botones para saber que realmente sí estás modificando el valor. Además de cambiar la posición de los datos de la temperatura ya que ver los botones y el pizarrón es muy complicado.

Tal vez el poder integrar a los 5 participantes en un mismo entorno, resultaría más parecido al trabajo de un laboratorio

Necesita tener alguna posibilidad de equivocarse, el experimento es tan ideal que cae en lo mismo que un video

La simulación es muy realista, tal vez para acercarla más a la realidad, podrían implementar el uso de guantes de protección

Primero que nada pido disculpas por apenas contestar esta encuesta : (((.
Lo único que me justaría agregar es que existiera algún botón el cual guarde en una pizarra que contenga una tabla los datos obtenidos en ese momento con la finalidad de obtener una "memoria de calculo" hecha por nosotros mismos y así realizar un mejor análisis posterior.

Figura 123. Resultados relacionados con la experiencia y mejora del laboratorio virtual.

Tras estos últimos resultados observamos que la mayoría de los usuarios se mostraron finalmente satisfechos con la ejecución de las pruebas en el laboratorio virtual, teniendo varias sugerencias de mejora para una posible segunda versión de la aplicación, algunas de ellas ayudando a que el parecido con la realidad sea cada vez mayor.

6. Conclusiones

Lo expuesto anteriormente permite concluir que los simuladores son una herramienta capaz de ejecutar tareas que se asemejan a un proceso realizado de manera física, por lo que pueden ser considerados una alternativa para cuando las circunstancias físicas no permitan o dificulten la realización del proceso, tal como sucedió con muchas actividades ante la inminente pandemia de COVID 19 en 2020; sin embargo, también pueden considerarse como un complemento para comprender mejor la realización de una actividad previo a ser realizada presencialmente. De tal manera, la práctica de laboratorio que se realiza físicamente en que se encuentra basado el simulador desarrollado, cuenta ahora, gracias al presente trabajo, con una diferente modalidad para acercarse al experimento sin la necesidad de estar físicamente presente en el laboratorio real, lo cual puede apoyar a los alumnos de dos maneras distintas: sirviendo el simulador como un acercamiento previo a los elementos y funcionamiento del experimento, o bien, como un elemento complementario luego de haber terminado la práctica físicamente permitiendo al usuario repetir el experimento con diferentes variables y/o condiciones sin un límite de tiempo establecido o sin limitaciones de espacio y horarios.

Si bien el experimento real alcanza el estado estacionario por medio de una caldera, el uso de una resistencia de banda cumple el funcionamiento y resultado esperado al llevar el experimento al estado estacionario con los mismos valores, por lo que no existe discrepancia entre usar una tecnología u otra.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante las pruebas con los usuarios, se determinó que el software presentado es una herramienta muy útil y práctica bajo cualquiera

de sus diferentes versiones, ya que su uso resultó ser intuitivo y fácil de aprender, siendo las versiones web y de escritorio las que más rápidamente dominaron los usuarios, dado que para su ejecución bastó con el uso de una computadora con pantalla, teclado y mouse, instrumentos con los que los usuarios se encuentran altamente familiarizados, además de que para que el simulador pueda ser ejecutado y utilizado se requiere un conocimiento básico de cómputo que cualquiera de los usuarios demostró tener durante las pruebas de ejecución.

Conforme a los resultados obtenidos que se muestran en las figuras 112 y 118 en el apartado de resultados, es observable que el desempeño en la realización del experimento a través del simulador en su versión de PC o web no se vio afectado por las diferentes características de hardware, navegador o servicio de internet utilizado por los usuarios, por lo que se infiere que el proyecto tiene un alto grado de accesibilidad para los usuarios, ya que no se requieren condiciones especializadas o sofisticadas en cuanto al equipo de cómputo que se utilice. Estos resultados satisfactorios también se debieron a que el programa tiene una optimización producto de la buena elección de las técnicas de modelado y texturizado utilizadas, lo cual hicieron que el programa no fuera excesivamente pesado y pudiera reproducirse sin dificultad en equipos de gama baja.

Debido al hecho de que en algunos casos los archivos para la versión de escritorio no se descargaban correctamente cabe mencionar que actualmente, por temas de ciberseguridad, resulta relevante firmar el software que se desarrolle y se desee compartir con alguna comunidad, ya que brinda seguridad a los usuarios que lo descargan de que se trata de una fuente de confianza. Incluso si un equipo cuenta con antivirus es posible que advierta al usuario mediante una alerta antes de ejecutar el programa o simplemente no lo descargue por seguridad.

Dado que la primera versión que se realizó fue la aplicación de escritorio, resulta sustancial hacer notar cómo se realizó la portabilidad entre esta versión y sus subsecuentes. Para realizar la migración a la versión web solo bastó con indicar en la plataforma de desarrollo que la construcción del programa sería a través de WebGL, sin hacer ninguna modificación en cuanto a código o elementos del proyecto debido a que ambos programas harían uso del teclado y mouse como principales elementos de interacción para el usuario. Sin embargo, para construir el proyecto para su ejecución en realidad virtual inmersiva se necesitó de modificar tanto código, como elementos de interfaz, plataforma de interacción, estructura y metodología de algunos procesos, además de que fue requerida la descarga de paquetería especializada para su correcto funcionamiento en el dispositivo en el que se ejecutaría. Como se observa, la portabilidad no resulta siempre sencilla, en ocasiones las plataformas tienen diferentes características que hacen que el desarrollador deba tener ciertas consideraciones de configuración para poder tener así diferentes versiones de un mismo programa.

Como se menciona anteriormente, la versión de realidad virtual inmersiva fue aquella que tuvo mayor número de adecuaciones debido a que el dispositivo que se usaría para ejecutarlo tiene características muy diferentes a una computadora de escritorio o una laptop, además de que el nivel de inmersión es bastante mayor y requería que se configurara adecuadamente, y es por esto que los resultados obtenidos fueron un tanto diferentes a los que presentaron las versiones de PC y web, sin embargo, la tendencia permaneció favorable.

Al realizar esta tercera fase de pruebas surgieron varias diferencias notables con respecto a las primeras dos de las cuales surgen algunas conclusiones: se requiere de un protocolo mejor elaborado para seguir los pasos porque la familiarización con el nuevo

dispositivo puede ser escasa o hasta nula por parte del usuario y todo ello ya debe estar considerado para la resolución de preguntas y/o posibles casos que puedan presentarse a lo largo de las pruebas; los espacios en que se realicen deben estar bien controlados para evitar accidentes debido a la inmersión visual total, evitando tropiezos o impactos con personas ajenas a las pruebas que puedan ir pasando o que dejen algún objeto sin saber el daño que podrían causar; los sujetos de pruebas presentaron un mayor interés durante las pruebas de realidad inmersiva al ser algo novedoso y al poder ver las cosas de manera inmersiva, lo que desembocó en propuestas de mejora incluso más creativas y algunas de ellas pidiendo que se acercara un poco más a la realidad en cuanto a la posibilidad de cometer pequeños errores.

Adicional a lo comentado otro aspecto a considerar es el hecho de que el dispositivo no está directamente conectado a la toma de corriente por lo que luego de varias horas de uso puede descargarse y limitar la inmersión por el querer mantener el dispositivo conectado, o en otras palabras, debe cuidarse mucho la carga para no frenar las pruebas por este hecho; asimismo, consideramos que la opción de “castear” o transmitir lo que el usuario está viendo en ese preciso momento es prácticamente una necesidad en cuanto a que facilita la guía al usuario y la atención de dudas o errores; y por último, en caso de que se cuente con muy pocos dispositivos y sean varias personas las que desean utilizarlos es recomendable el uso de mascarillas sanitarias desechables para una mayor higiene.

Tras los resultados obtenidos en cada una de las pruebas se considera que la aplicación resulta intuitiva independientemente de la tecnología a la que esté adaptado, lo cual es bastante positivo para mantener homogeneidad en el aprendizaje del usuario sin importar el medio por el cual accedió a la simulación.

En general, del presente trabajo concluimos que los objetivos se cumplieron en tanto que se logró realizar la virtualización de un experimento real, que logra la potencialización del aprendizaje sobre el tema antes, durante o después de la realización de la actividad presencial. Al mismo tiempo se lograron implementar soluciones a las diversas problemáticas presentadas al momento de analizar y evaluar el experimento que habría de virtualizarse, tal como tener la posibilidad de realizar cambios en el material de la barra con facilidad y rapidez, con la posibilidad de poder incluir materiales poco comunes o materiales a los que no se puede tener fácil acceso debido a sus elevados costos como sería el caso del carburo de tungsteno o del oro; asimismo, se brinda una posibilidad más segura de realizar el experimento en tanto que no se está físicamente expuesto a elementos peligrosos como lo son el vapor de agua, tuberías calientes o piso mojado; además, en ayuda al propio experimento, de manera virtual, se puede tener un ambiente controlado, con condiciones de temperatura y de viento que no presenten variaciones importantes, que cuando físicamente se tienen pueden hacer que los resultados obtenidos en el experimento se alejen por mucho de lo que se estudia en la teoría.

Por otra parte, el hecho de que al tener disponible la aplicación en tres plataformas diferentes y sin requerir de conocimiento especializado, posee un alto grado de accesibilidad, con base también en los resultados de las encuestas realizadas a los usuarios, lo cual permite que los usuarios potenciales ya no dispongan de restricciones de tiempo, de espacio o de disponibilidad de equipo al momento de realizar el experimento, ayudando a que el aprendiz enfoque su atención en el experimento y pueda realizar una reflexión más profunda de lo que realizó y observó. Estas soluciones en conjunto presentan ventajas que (podrían verse reflejadas en la mejora de la curva de aprendizaje de quien realiza la actividad, mismo principio que es aplicado en la industria mediante el desarrollo y uso de los denominados “Gemelos Digitales”, los cuales son réplicas digitales de máquinas o equipos industriales que permiten que el

operador pueda conocer y practicar en el uso y manejo del mismo, sin la necesidad de detener la línea de producción o de que la empresa adquiriera una máquina física únicamente para uso didáctico.

7. Trabajo a futuro

Es importante considerar que en todo proceso de diseño siempre existe un momento de pruebas y evaluación en la que se obtienen los puntos más relevantes de mejora, que permiten mediante un reproceso o reestructuración del proyecto realizar una versión que se adecúe mejor a las necesidades que intenta cubrir. De esta manera se deja como a trabajo a futuro la corrección de aquellos errores encontrados durante la etapa de pruebas en cada una de las versiones, así como la aplicación de las recomendaciones hechas tanto por docentes como alumnos, a las cuales se quiere dar gran importancia considerando que vienen directamente de los usuarios finales que harán uso del simulador.

Para cada una de las versiones se consideran los siguientes puntos para implementar en una versión futura:

- Agregar efectos de sonido en el momento de interacción con determinados objetos, como al mover el sensor, al cambiar de material, al modificar los parámetros por medio de los botones o al desplazarte a lo largo del ambiente virtual.
- Crear sistemas de partículas o animaciones en algunos elementos que permitan comunicar al usuario que el experimento se encuentra en ejecución, como por ejemplo en la resistencia de banda, en las barras o en la cámara de enfriamiento representando que se están calentando o enfriando.
- Agregar una libreta o pizarrón donde se puedan ir “anotando” o registrando los valores de temperatura que el usuario considere importantes, probablemente agregando las condiciones iniciales que se configuraron antes de iniciar.
- Permitir que existan algunos errores que puedan considerarse importantes para que el usuario los tenga presentes al realizar la actividad en presencial.
- Mejorar la calidad de las texturas implementadas en los objetos que componen el ambiente. Se puede mejorar la calidad utilizando software especializado en la creación de texturas las cuales permiten la implementación de diferentes capas logrando una textura más realista.
- Modelar elementos adicionales, tales como un botiquín, guantes de protección u objetos que se pueden encontrar comúnmente en un laboratorio.
- Agregar la posibilidad de visualizar a otros usuarios que estén conectados al mismo tiempo.
- Implementar una ecuación que permita modelar el sistema a través del tiempo, acercándose más a la realidad. Esto requiere también agregar un cronómetro que contabilice el tiempo transcurrido del experimento, teniendo posibilidad incluso de pausar el tiempo cuando el usuario lo desee, mostrando las ventajas del uso de un entorno virtual.
- Posiblemente que el texto que muestra la temperatura de operación de la resistencia se visualice a un lado de la propia resistencia de banda.

Para las versiones de PC y web se consideran los siguientes puntos para implementar en una versión futura (se manejan ambas versiones juntas pues tienen la misma base de programación y configuración):

- Restringir el cambio de material de la barra para que no pueda alterarse una vez iniciado el experimento, escenario que se presenta actualmente en la simulación, a pesar de que en las instrucciones se indica que no debería poderse.
- Corregir el incidente que provoca un bloqueo de los botones de cambio de material tras presionar los botones para subir o bajar la temperatura.
- Agregar una instrucción que permita al usuario conocer cómo salir de la pantalla completa cuando lo requiera debido a que los usuarios presentan dificultad al querer salir de la aplicación.
- Buscar firmar el producto para brindar seguridad al descargar el software debido a que algunos antivirus identifican a la aplicación como Malware y eliminan de forma parcial los archivos que lo componen.
- Implementar una mejora en la interfaz de usuario, de tal manera que los textos fijos resulten menos invasivos para el usuario y contrasten correctamente con el fondo y no se pierdan de repente.

Para la versión inmersiva se consideran los siguientes puntos para implementar en una versión futura:

- Mejorar la redacción de la instrucción relacionada con el desplazamiento del sensor para que el usuario tenga una mejor comprensión al manipular el objeto.
- Restringir mejor los límites del espacio de trabajo para evitar que se salgan del espacio por algún motivo. Se debe verificar que las condiciones, como por ejemplo la propiedad "box collider" en Unity, se encuentren correctamente ajustadas para que la restricción no presente un comportamiento no deseado.

Referencias

- [1] Alvarado, Y., Jofré, N., Rosas, M., & Guerrero, R. (2019). Aplicaciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada como soporte a la enseñanza del Dibujo Técnico. Recuperado. [Online]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Yoselie-Alvarado/publication/339799802_Aplicaciones_de_Realidad_Virtual_y_Realidad_Aumentada_como_soporte_a_la_enseñanza_del_Dibujo_Tecnico/links/5e669f8092851c7ce0551dc1/Aplicaciones-de-Realidad-Virtual-y-Realidad-Aumentada-como-soporte-a-la-enseñanza-del-Dibujo-Tecnico.pdf
- [2] Heraldo, Aragón. Heraldo Escolar. (2021). El IES Virgen del Pilar crea el primer software en realidad virtual para formar a técnicos en refrigeración industrial. [Online]. Disponible en: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2021/06/19/el-ies-virgen-del-pilar-crea-el-primer-software-en-realidad-virtual-para-formar-a-tecnicos-en-refrigeracion-industrial-1500510.html?autoref=true>
- [3] Coiffet, P. (1995): Mondes Imaginaires. Les Arcanes de la réalité virtuelle, Hermes, París, 127 págs.
- [4] RRHHDigital, “La realidad virtual ayuda a formar profesionales en materia de seguridad laboral”, España, 2021. [Online]. Disponible en: www.rrhhdigital.com/secciones/formacion/146366/La-realidad-virtual-ayuda-a-formar-profesionales-en-materia-de-seguridad-laboral?target=self
- [5] Unity. UnityPack. (2019). [Online]. Disponible en: <https://unitypack.herokuapp.com/info/com.unity.xr.oculus.android>
- [6] Unity. Unity Documentacion (2019). [Online]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.oculus.android@1.38/manual/index.html>
- [7] Unity. Unity Documentacion (2019). [Online]. Disponible en: [XR Interaction Toolkit | XR Interaction Toolkit | 0.9.4-preview \(unity3d.com\)](https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@0.9.4-preview/manual/index.html)
- [8] Guión 4. Transferencia de calor de una barra cilíndrica. Laboratorio de ingeniería Química II. Facultad de Química - UNAM