

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE INSTRUMENTACIÓN  
VIRTUAL MEDIANTE EL USO DE TICs PARA LA ENSEÑANZA -  
APRENDIZAJE DE COMPETENCIAS TEÓRICAS Y PRÁCTICAS EN  
EL LABORATORIO DE SENSORES Y TRANSDUCTORES DE LA  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

### **TOMO I**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**SANDRA CAMILA SAMANIEGO MOYANO**

**sandra.samaniego@epn.edu.ec**

**DIRECTORA: ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR, MBA**

**ana.rodas@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, SANDRA CAMILA SAMANIEGO MOYANO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



**SANDRA CAMILA SAMANIEGO MOYANO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por SANDRA CAMILA SAMANIEGO MOYANO, bajo mi supervisión.

**ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR, MBA  
DIRECTORA**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

SANDRA CAMILA SAMANIEGO MOYANO

ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR, MBA

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo con todo mi amor:

A mis padres Raúl Samaniego y Sandra Moyano, por su apoyo, su confianza, su amor y por ser un pilar fundamental en este camino. Todo lo que soy y todo lo bueno que he hecho es gracias a ustedes.

Este trabajo es dedicado a todas las mujeres que tienen afinidad al área de la ingeniería, nunca dejen de creer en ustedes. Todos los sueños son alcanzables con esfuerzo y dedicación.

Sandra Camila Samaniego Moyano

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco:

A Dios, por guiarme durante este largo camino. Gracias por darme fuerza y salud para cumplir con las metas que me he propuesto.

A mis padres Raúl y Sandra, el motor de mi vida, gracias por su cariño, comprensión y paciencia. Me han enseñado a ser una buena mujer, responsable y organizada. Me esforzaré por siempre hacerlos sentir orgullosos de mí.

A mi hermano Francisco, por su compañía. Me has motivado a ser mejor persona y hermana, admiro mucho tu dedicación y tus ganas de aprender.

A mis abuelitas, abuelitos, tías y tíos por estar siempre al pendiente, por sus consejos y palabras de aliento.

A mis amigas Dani, Danny y Belén, que desde el colegio me apoyan en los buenos y los malos momentos, han hecho que este camino sea más divertido. ¡Gracias!

A Luis, por ser un gran compañero en este proyecto y por acompañarme desde el primer día. Un gusto haber podido caminar juntos durante este proceso.

A los amigos y compañeros de mi querida EPN, gracias por hacer de esta experiencia un poco más amena.

A los docentes que tienen vocación por la enseñanza, en especial a dos grandes docentes, Ing. Ana Rodas e Ing. María Fernanda Trujillo. Gracias por su ayuda, dedicación y consejos durante la elaboración de este proyecto, gracias por la confianza que han puesto en mí.

Sandra Camila Samaniego Moyano

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE .....	3
1.4 MARCO TEÓRICO .....	4
1.4.1 INTERFAZ GRÁFICA.....	4
1.4.2 UNITY 3D.....	7
1.4.3 MICROSOFT VISUAL STUDIO.....	7
1.4.4 AUTODESK INVENTOR 3D.....	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 DISEÑO DE COMPONENTES 3D.....	9
2.1.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC .....	9
2.1.2 RESISTENCIA .....	10
2.1.3 CABLES DE PROTOBOARD .....	11
2.1.4 CIRCUITO INTEGRADO.....	13
2.1.5 BORNERA.....	14
2.1.6 MULTÍMETRO.....	14
2.1.7 POTENCIÓMETRO.....	15
2.1.8 PROTOBOARD.....	15
2.1.9 CABLES DE ALIMENTACIÓN .....	17
2.2 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN .....	17
2.2.1 ESCENAS IMPLEMENTADAS.....	18
2.2.2 PRACTICAS DESARROLLADA.....	22
2.2.2.1 Práctica 1 “Amplificador Inversor” .....	23
2.2.2.2 Práctica 2 “Amplificador Diferencial” .....	27
2.2.2.3 Práctica 3 “Amplificador No Inversor”.....	31

2.2.2.4	Práctica 4 “Amplificador De Instrumentación Ad620” .....	32
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	33
3.1	RESULTADOS.....	37
3.2	CONCLUSIONES .....	42
3.3	RECOMENDACIONES .....	44
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
5	ANEXOS .....	46
I.	Mockup Práctica 1 “Amplificador Inversor” .....	47
II.	Mockup Práctica 2 “Amplificador Diferencial” .....	51
III	Mockup Práctica 3 “Amplificador No Inversor” .....	54
IV.	Mockup Práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”.....	58

## RESUMEN

Actualmente la pandemia mundial ha transformado la enseñanza actual a tal punto que una herramienta virtual se ha convertido en un instrumento útil tanto para los estudiantes como para docentes. El presente trabajo de titulación presenta el diseño, modelado y programación de una herramienta de instrumentación virtual para ser usada en la asignatura de Sensores y Transductores.

El software educativo se implementó en el motor de desarrollo Unity 3D donde se crearon las prácticas de laboratorio, mientras que para el modelamiento de componentes 3D se realizó en Autodesk Inventor y Blender. Para la programación de los diferentes scripts se utilizó la plataforma de programación Microsoft Visual Basic.

La interfaz gráfica se compone de cuatro prácticas de laboratorio, en donde, mediante la implementación de 28 escenas (7 en cada práctica) se puede comprender el funcionamiento de un circuito amplificador inversor, amplificador diferencial, amplificador no inversor y el amplificador de instrumentación AD620.

La validación del funcionamiento de la interfaz gráfica se realizó mediante una encuesta, a dieciocho estudiantes que cursan el componente práctico de la asignatura de “Sensores y Transductores”.

**PALABRAS CLAVE:** Autodesk Inventor, Herramienta virtual, Interfaz, Microsoft Visual Basic, Unity 3D.

## **ABSTRACT**

Currently, the global pandemic has transformed the current teaching to such an extent that a virtual tool has become a useful instrument for both students and teachers. The present project presents the design, modeling, and programming of a virtual instrumentation tool to be used in the subject of "Sensors and Transducers".

The educational software is implemented in Unity 3D development engine where the two laboratory practices were created, while for 3D component modeling Autodesk Inventor and Blender were used. For programming the different scripts, Microsoft Visual Basic programming platform was used.

The graphical interface is composed by two laboratory practices, un which were implemented 28 scenes (7 in each practice). The first practice explains the operation of an inverter amplifier circuit and the second practice explains the operation of a differential amplifier circuit, the third practice explains the operation of a non-inverter amplifier and the fourth practice explains the operation of a AD620 instrumentation amplifier.

The adequate operating validation of the graphical interface was performed on students who attend the practical component of the subject of "Sensors and Transducers".

**KEYWORDS:** Autodesk Inventor, Interface, Microsoft Visual Basic, Unity 3D, Virtual tool.

# 1 INTRODUCCIÓN

Debido a los acontecimientos actuales relacionados con la pandemia mundial, la enseñanza virtual se ha convertido en un aliado tanto para estudiantes como para docentes. Es así que, para el desarrollo de este proyecto de integración curricular se ha optado por utilizar la instrumentación virtual aplicada dentro de un entorno 3D para la enseñanza de componentes impartidos en el laboratorio de Sensores y Transductores en la Escuela Politécnica Nacional.

Como plataforma para el desarrollo de la herramienta virtual se consideró a Unity 3D, la cual funcionará como un motor gráfico permitiendo renderizar elementos gráficos en 2D y 3D formando una interfaz gráfica funcional. Ya que, Unity 3D no dispone de plataformas para el modelado y programación, se escogió 2 programas compatibles con Unity 3D; se utilizó “Autodesk Inventor 3D”, un paquete de modelamiento paramétrico, para el modelado de los elementos 3D que se encuentran dentro del laboratorio y como editor de código para la compilación de los distintos scripts se utilizó “Microsoft Visual Studio”, un entorno de desarrollo integrado (IDE) el cual permitió la programación de las distintas escenas de la herramienta virtual en lenguaje C#.

La herramienta de instrumentación virtual abarca temas importantes dentro del Laboratorio de Sensores y Transductores y sirve para desarrollar algunas de las prácticas de laboratorio que se dictan regularmente, como la práctica de “Amplificador Inversor” y la práctica de “Amplificador No Inversor” donde se identifica el comportamiento de estas configuraciones y de igual manera se conoce el efecto produce la variación de la resistencia interna del generador. De igual manera se diseñó la práctica de “Amplificador Diferencial” y “Amplificador de Instrumentación AD620” donde se identifica el comportamiento de estas configuraciones, al igual que de las ventajas y desventajas que conlleva la aplicación de las mismas.

Para la primera práctica “Amplificador Inversor” se establece un circuito de un amplificador inversor utilizando un circuito integrado monolítico conocido como LM741 y dos resistencias ( $R_1$  y  $R_2$ ), las cuales se rigen bajo valores comerciales establecidos en la serie E24, cuya tolerancia es igual al 5%. La configuración de este amplificador posee una ganancia en lazo cerrado la cual se da por la resistencia  $R_2$  y la señal de entrada del circuito se aplica al pin inversor (2) por medio de la resistencia  $R_1$ . Esta señal de entrada puede ser una señal de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC) y la señal de salida es invertida respecto a la señal de entrada.

En la segunda práctica “Amplificador Diferencial” se establece un circuito de un amplificador diferencial utilizando el circuito integrado monolítico LM741 y cuatro resistencias (2 R1 y 2 R2) las cuales se rigen bajo valores comerciales establecidos en la serie E24, cuya tolerancia es igual al 5%. Como parte del circuito se establece la conexión de un puente de Wheatstone mediante dos resistencias (2 R3) y dos potenciómetros, el primero de los cuales P1 permitirá simular el comportamiento de un PT100, PT1000 y de un Termistor NTC; y el segundo servirá para encerrar el circuito. Este amplificador diferencial permite amplificar dos señales, mediante una entrada inversora (Pin 2) y la entrada no inversora (Pin 3). A diferencia de la primera práctica, este circuito posee una salida única, la cual es proporcional a la diferencia de los voltajes de entrada multiplicada por su ganancia.

En la tercera práctica “Amplificador No Inversor” se establece un circuito de un amplificador no inversor utilizando el circuito integrado LM741 el cual consta de 3 resistencias: R1 ingresa en la entrada no inversora, R3 en la entrada inversora y R2, las cuales permiten una ganancia en lazo cerrado y se rigen bajo valores comerciales establecidos en la serie E24, cuya tolerancia es igual al 5%. La salida de esta configuración se encuentra en la misma fase del voltaje de entrada.

La cuarta práctica “Amplificador de Instrumentación AD620” se compone de amplificador AD620 con una resistencia (RG), cuya tolerancia es igual al 5%. De igual manera se tiene un puente de Wheatstone con dos resistencias (2 R1) y dos potenciómetros: el primer potenciómetro P1 permite simular el comportamiento de un PT100, PT1000 y de un Termistor NTC; y el segundo potenciómetro sirve para encerrar el circuito. Es necesario también alimentar al circuito con un voltaje de offset con el fin de obtener una referencia variable. De igual manera esta práctica posee la opción de considerar o no el ruido que se genera debido a perturbaciones dentro del circuito.

En el presente proyecto se realiza el diseño de una interfaz gráfica que asemeje a un laboratorio real. De esta manera se aprovecha las características de un entorno 3D aplicado a componentes prácticos dictados en el Laboratorio de Sensores y Transductores.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una herramienta de instrumentación virtual mediante el uso de TICs para la enseñanza-aprendizaje de competencias teóricas y prácticas en el laboratorio de sensores y transductores de la Escuela Politécnica Nacional.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar bibliografía acerca de la teoría de instrumentación enfocada al PEA de la materia de Sensores y Transductores, modelado de elementos 3D, diseño de interfaces 3D y programación en interfaces interactivas.
2. Diseñar y planificar la ejecución de funcionamiento de las prácticas correspondientes al PEA del componente práctico de la materia de “Sensores y Transductores”.
3. Realizar el diseño total de los elementos 3D de instrumentación que sean requeridos para la elaboración del software interactivo.
4. Programar las interfaces que corresponden a la herramienta de instrumentación virtual en base a las prácticas del componente práctico de la asignatura “Sensores y Transductores”.
5. Contrastar los resultados obtenidos por el software con la implementación física de los circuitos de forma que se validen los datos entregados con el entorno virtual. Además, realizar las pruebas de validación del funcionamiento, estructura y pertinencia del software por docentes afines.

## 1.3 ALCANCE

- Se realizará una revisión bibliográfica sobre los circuitos utilizados de instrumentación, acondicionamiento de señales y amplificadores de instrumentación, la instrumentación virtual en la enseñanza, la utilización de recursos didácticos interactivos a través de las TIC's y el funcionamiento de los Softwares de modelamiento 3D y de interfaces gráficas 3D que son Inventor de Autodesk y Unity 3D respectivamente. Con esto se obtendrá una herramienta de instrumentación virtual estructurada y funcional.
- Se diseñará e implementará 3 prácticas referentes a circuitos utilizados en instrumentación, acondicionamiento de señales y amplificadores de instrumentación, las que se ejecutarán dentro de la herramienta de instrumentación virtual con ayuda del software Unity 3D. Se programará en C# con un entorno externo de programación como Microsoft.
- Se diseñará y ensamblará al menos 7 elementos 3D de instrumentación para el laboratorio con Inventor de Autodesk.
- Se implementará el espacio físico de un laboratorio de Sensores y Transductores de tal manera que el usuario participe en primera persona, y pueda llevar a cabo las prácticas correspondientes de forma interactiva.
- El software interactivo estará compuesto de los elementos virtualizados que se utilizan en las prácticas del “Componente Práctico de Sensores y Transductores” para la implementación de los circuitos de instrumentación tratados. Cada práctica tendrá su interfaz específica dentro del laboratorio general desarrollado, en donde existirá por lo menos 1 interfaz adicional donde se encontrará el componente teórico con la explicación general del tema.

- Se contrastarán los resultados obtenidos por el software con la implementación física de los circuitos de forma que se validen los datos entregados con el entorno virtual. Además, se realizará pruebas de validación del funcionamiento, estructura y pertinencia del software por al menos dos docentes afines.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

En esta sección se expondrá un breve resumen sobre conceptos necesarios para el desarrollo del presente proyecto. La información presentada en esta sección corresponde a la investigación de teoría más relevante previo a exponer el diseño de la herramienta virtual.

Esta sección detallará información sobre las plataformas utilizadas para el ensamblaje de un escenario 3D, donde se abordará la temática de modelado 3D en “Autodesk Inventor 3D”, editor de código para realizar la programación “Microsoft Visual Studio”. También se presentará información relacionada sobre los circuitos de instrumentación implementados, acondicionamiento de señales y amplificadores de instrumentación.

### **1.4.1 INTERFAZ GRÁFICA**

La interfaz gráfica es un espacio de interacción entre el usuario y el ordenador, con el objetivo de intercambiar información de manera auditiva y visual. Este escenario se encuentra compuesto de elementos visuales 3D y de programación que permitirá su interacción entre ellos y con su entorno [1].

Como parámetro fundamental para la elaboración y diseño de la interfaz se debe considerar la instrumentación virtual, la cual se define como un instrumento que se puede ejecutar en un ordenador y sus funciones son definidas dentro de un software. Es por tal motivo que se ha considerado la vinculación de éste con los métodos actuales de educación, mejorando así los procesos de enseñanza en la ingeniería accediendo a recursos didácticos que serán útiles para el proceso de aprendizaje/enseñanza de los usuarios de la interfaz gráfica [2].

Es primordial escoger una plataforma que permita unir estos dos componentes de manera práctica con el fin de obtener una herramienta que emule la realidad de un laboratorio. La interfaz gráfica debe cumplir con ciertos requisitos como ser amigable con el usuario, permitir un software que posea un modelado 3D que se adecúe a las necesidades del

escenario y de igual manera un entorno de programación adecuados para cumplir con el alcance del presente proyecto.

Por lo tanto, un requisito básico es el poder vincular estos dos entornos de manera óptima, lo que dará como resultado una interfaz gráfica completa. Es así que, después de una exhaustiva investigación se determina que el software que cumple con los requisitos para este proyecto es la plataforma Unity 3D.

Al igual que para la elección de la plataforma, es necesario encontrar un programa para el modelamiento paramétrico de los objetos en tercera dimensión, entre los cuales se destacaron Autodesk Inventor 3D, Blender y Autodesk Fusion 360. De cuales, se escogió a Autodesk Inventor 3D como herramienta principal para el modelado de los elementos, ya que permite un modelado global de los componentes requeridos en la herramienta virtual. Mientras que, para la ejecución de códigos de programación Unity 3D permite utilizar Microsoft Visual Studio y MonoDevelop.

A continuación, se presenta una comparación entre diferentes softwares existentes en el mercado para los diferentes componentes de la interfaz a fin de conocer sus características y generar criterios de selección.

### Motores de Desarrollo

**Tabla 1.** Comparación de distintos Motores de Desarrollo

<b>Características</b>	<b>Unity 3D</b>	<b>GameMaker</b>	<b>Construct 3</b>
Entorno 2D	Sí	Sí	Sí
Entorno 3D	Sí	No	No
Desktop Target	Windows; OSX; Linux;	Windows, Linux, macOS, Windows UWP, HTML5	Windows XP+, UWP, Mac OS X 10.6+, Linux
Lenguaje de Programación	C#, Bolt (Visual Scripting)	GML (Parecido a JavaScript)	Visual programming, JavaScript
Compras dentro del motor	Sí	No	Sí
Juegos Multijugador	Sí	Sí	Sí
Fundado	2005	2007	2011
Costo Anual	Gratuito	\$49.99	\$64.99

## Entorno de Modelado 3D

**Tabla 2.** Comparación de Entornos de Modelado 3D

<b>Características</b>	<b>Autodesk Inventor</b>	<b>Blender</b>	<b>Fusion 360</b>	<b>Solid Works</b>
Plataformas Permitidas	Windows, Mac, Linux, SaaS, iPhone, iPad, Android	Windows, Mac, Linux	Windows, SaaS	SaaS
Modelado 3D	Sí	Sí	Sí	Sí
Formato	.ipt, .iam, .idw, .dwg, ipn y .dwg	.3ds, ac, dxf, fbx, xsi, obj, stl, .x3d, svg, lwo, mot, .m3g, .md2, mdd, bvh, slp	.3dm, asm, cam360, dwg, dxf, f3d, fbx, ipt, obj, sldprt, stl, .stp	.iges, .step, .stl, .amf, .dxf, .dwg, hcg, .vrml, .hsf, .3dxml, .xml
Fundado	1982	1994	1982	1993
Costo Anual	\$2190	Gratuito	\$495	\$2150

## Entorno de programación

**Tabla 3.** Comparación de Entornos de programación

<b>Características</b>	<b>Microsoft Visual Studio</b>	<b>MonoDevelop</b>
Plataformas Permitidas	Windows, Mac	Windows, Mac, Linux
Estabilidad	Sí, permite trabajar con cualquier tipo de proyecto	Menos estable que Microsoft Visual Studio. Adecuado para proyectos pequeños
Lenguajes de programación	C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP	C#, lenguajes .NET como Nemerle, Boo y Java
Fundado	1997	2006
Costo Anual	Gratuito	Gratuito

Después de analizar las características detalladas en las tablas previamente presentadas, se concluyó que el motor de desarrollo que se ajusta a las necesidades es el de Unity 3D, para el entorno de modelado 3D será Autodesk Inventor 3D y Blender ya que permitirá el modelado de los distintos componentes, mientras que el compilador que mejor se adecúa

a los alcances del proyecto es Microsoft Visual Studio que considera factores como: interacción del usuario con el entorno de trabajo, leyes físicas del escenario, tamaño de objetos, entre otras.

### **1.4.2 UNITY 3D**

Unity3D es un motor de videojuegos establecido por Unity Technologies. Este motor, permite diseñar un entorno de desarrollo de juegos multiplataforma para desarrolladores. Este motor puede ser instalado en sistemas operativos como Windows y Mac OS X para el desarrollo de interfaces gráficas, las cuales se pueden diseñar y programar para muchas plataformas como: Android, iOS, Windows, WebGL, Linux Steam, Psvita, PS4, Wii, Xbox One, 3DS, VR, Steam, Facebook, PS Network, TvOS, FireOS y Nintendo Switch. Las mismas que pueden programarse en lenguaje C, C++, C# [3].

Unity establece una creación de escenas, mediante la organización de objetos [4]. Estos poseen propiedades, las cuales pueden ser comandadas desde el compilador de scripts, el mismo que, por medio de los comandos adecuados permitirá establecer escenas interactivas dentro del laboratorio virtual. Unity posee un editor intuitivo permitiendo agrupar escenas de trabajo de manera sencilla. También es posible adaptarse a distintas resoluciones, ya que es compatible con distintas plataformas [5].

Para los objetos 3D, Unity permite importar con facilidad los objetos de distintos softwares como Blender, Fusion 360, AutoCAD, Inventor, etc.

El presente proyecto se basa en un diseño de tres escenas principales, subdivididas en diversas escenas que representarán: información del laboratorio denominado "Sensor Zone", un instructivo o manual que establece los pasos a seguir dentro de cada una de las prácticas explicando que dispositivos son modificables. Como escena principal se establece el laboratorio virtual en donde mediante la fusión de escenas, objetos 3D y scripts se visualiza un entorno completo y dinámico.

### **1.4.3 MICROSOFT VISUAL STUDIO**

Microsoft Visual Studio se define como un entorno de desarrollo integrado (IDE), que proporciona servicios como la edición, creación y depuración de código para luego ser empleado en distintas aplicaciones [5]. Esta aplicación es compatible con diversos lenguajes de programación como C#, C++, F#, Java, entre otros, facilitando de esta manera el desarrollo del presente proyecto [6].

Es conocido de igual manera como una herramienta que permite crear aplicaciones robustas y de un rendimiento alto, esta herramienta funciona como un editor de código. Estos códigos como se mencionó anteriormente son diversos por lo cual la programación para el desarrollador es intuitiva y clara [7].

La interfaz se ha implementado mediante la herramienta Microsoft Visual Studio como gestor principal de los códigos que forman parte de la interfaz gráfica, siendo el lenguaje C# óptimo para esta aplicación, permitiendo un funcionamiento óptimo de la herramienta virtual.

#### **1.4.4 AUTODESK INVENTOR 3D**

Autodesk Inventor es un software que permite el diseño de modelado en 3D, este fue desarrollado por Autodesk con el fin de crear prototipos digitales 3D [8]. Su principal función es el diseño mecánico 3D, la simulación de productos y creación de herramientas. La aplicación de Autodesk Inventor posibilita a los creadores diseñar producir modelos 3D detallados los cuales permitirán simular, diseñar y plasmar los objetos previos a su aplicación o construcción [9].

Se decidió el uso de Autodesk Inventor 3D debido a que posee un set completo de comandos y herramientas que permiten optimizar el tiempo de ensamblaje, creación y medición de las distintas piezas utilizadas para el diseño de la interfaz gráfica. Este software es compatible con Unity 3D y permite que los elementos diseñados sean programados bajo la herramienta Microsoft Visual Studio.

Este software se utilizó para el diseño de fuentes de poder, resistencias, cables de protoboard, potenciómetros, entre otros elementos. Cada parte de estos elementos se diseñó tomando en cuenta las medidas exactas de los componentes reales y de igual manera se los modeló de forma individual con el fin de crear componentes autónomos dentro del entorno de Unity 3D. Autodesk Inventor permite la creación de elementos con detalles reales como en el caso de las perillas, bornes, etc. De igual manera el modelado de los cables de alimentación se lo diseño de manera individual en Blender, ya que esta plataforma se adecúa a las formas y/u obstáculos que se encuentren sobre la mesa de trabajo [10].

## 2 METODOLOGÍA

La herramienta de instrumentación virtual propuesta se compone de 4 prácticas, la primera de un circuito amplificador inversor, la segunda de un circuito amplificador diferencial, la tercera de un circuito amplificador no inversor y la cuarta de un circuito amplificador de instrumentación AD620.

Es importante mencionar que el plan de titulación se realizó entre el Sr. Luis Alberto Pacheco Rentería y mi persona por lo que, con el objetivo de cumplir con los parámetros establecidos en el alcance de este documento se diseñaron 4 prácticas.

En la Figura 1 se expone una representación de la interfaz implementada, el cual consta de la escena de información de los desarrolladores (information), instrucciones de uso (instructive), laboratorio virtual con las prácticas mencionadas (play) y la opción de salida (exit).

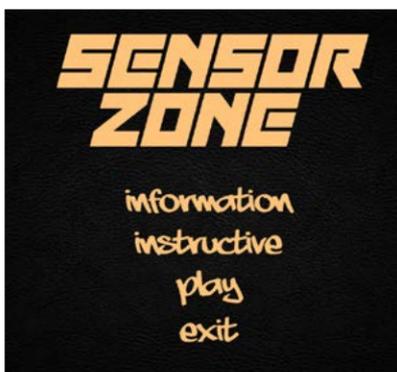


Figura 1. Laboratorio Virtual Implementado

### 2.1 DISEÑO DE COMPONENTES 3D

Con el fin de obtener un entorno adecuado para el Laboratorio Virtual “Sensor Zone”, se realizó el modelado de los elementos 3D en el Software Autodesk Inventor 3D y los cables de alimentación en la plataforma Blender. Entre las piezas principales se encuentran: fuentes de alimentación, resistencias, cables de protoboard, circuito integrado, borneras y multímetros.

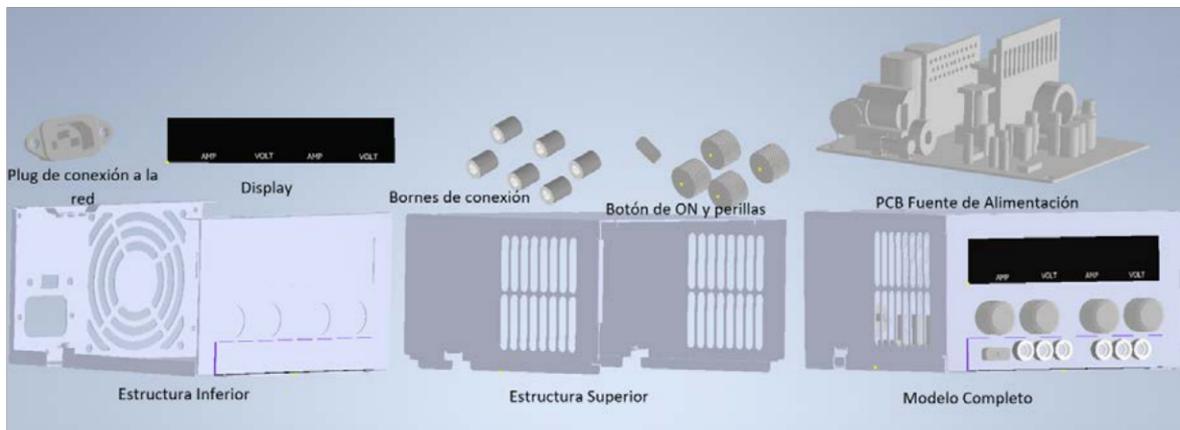
#### 2.1.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC

La fuente de alimentación es uno de los elementos más importantes e indispensables para la ejecución de las prácticas establecidas. Esta fuente genera un voltaje de 12 [V] de forma

permanente ya que este valor se considera adecuado tanto para la práctica de “Amplificador Inversor”, “Amplificador No Inversor” como para la práctica de “Amplificador Diferencial” y la práctica cuatro “Amplificador de Instrumentación AD620” se tiene una fuente de alimentación variable.

El diseño de la fuente de alimentación fue desarrollado en Autodesk Inventor como se pueden apreciar en la Figura 2 y consta de 8 partes principales: estructura metálica inferior y superior, perillas, puertos de conexión de cables, conector de alimentación a la red, display, botón de encendido/apagado (ON/OFF) y la placa con los elementos de la fuente de alimentación.

En la parte posterior de la estructura metálica inferior se encuentran ubicados el conector de alimentación a la red y la rejilla para el ventilador. En la parte delantera se encuentra el display donde se mostrará el voltaje con el que se trabajará, de igual manera se encuentran las perillas de variación de voltaje, puertos de conexión de cables y botón de encendido/apagado (ON/OFF). En los lados de estructura metálica superior se dispone de rendijas que permiten la ventilación para una adecuada disipación de calor. En el interior de la fuente de alimentación se encuentra un instalada una tarjeta electrónica con los elementos necesarios para el funcionamiento de la misma.



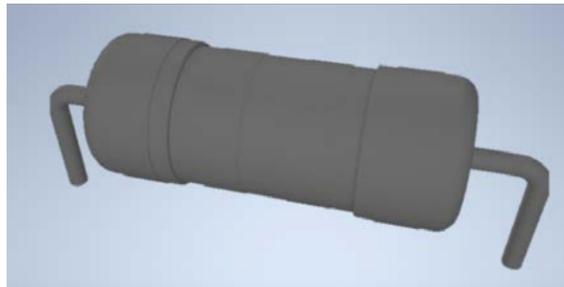
**Figura 2.** Diseño 3D y Componentes de Fuente de Alimentación

### 2.1.2 RESISTENCIA

Las resistencias forman parte de todas las prácticas y mediante la programación en Microsoft Visual Basic, se puede configurar el valor de las mismas con el fin de amplificar el voltaje en los ejercicios propuestos. Dado que el protoboard se ha diseñado con medidas reales, las resistencias se han diseñado con un cuerpo de 6.5 [mm], y distancia entre terminales de 8 [mm], con el fin de que puedan colocarse en cualquier parte de protoboard.

La tolerancia corresponde al 5% (color dorado) ya que se consideraron las resistencias de la serie E24 [11].

Como se observa en la Figura 3, el diseño de la resistencia fue desarrollado en Autodesk Inventor y consta de 3 partes principales: el cuerpo de la resistencia, las franjas de colores y los terminales para su respectiva conexión con el protoboard.



**Figura 3.** Diseño 3D de Resistencia

### **2.1.3 CABLES DE PROTOBOARD**

Los elementos que componen las prácticas requieren de cables para la conexión entre los mismos, por lo cual se necesitó de un diseño base de los cables que comúnmente se utilizan en los laboratorios reales tomando en cuenta una distancia de 2.5 [mm] entre cada receptáculo de conexión del protoboard (cuadros). Los cables pueden ser de cobre o de par trenzado no apantallado UTP (Unshielded Twisted Pair). Debido a que las distancias entre elementos varían significativamente se diseñaron trece tipos de cables.

Como se observa en la Figura 4, el diseño de los cables fue desarrollado en Autodesk Inventor y consta de 3 partes principales: la sección principal es el largo del cable, debido a que ésta varía de acuerdo a la distancia que recorre dentro del protoboard, se han diseñado 13 cables distintos. Estas distancias podrán ser apreciadas en la Tabla 4, de igual manera se tiene la sección de los codos los cuales tienen una distancia de 3 [mm] x 6 [mm] (Sección horizontal y longitudinal respectivamente). Por último, tenemos un segmento que corresponde al cobre del cable, cuya sección tiene una longitud de 1.5 [mm]. Todos los elementos cuentan con un diámetro de 0.6 [mm].



**Figura 4.** Diseño 3D y Componentes de Cable de conexión a Protoboard

A continuación, se presenta la Tabla 4, en la cual se encuentran las dimensiones por sección de los cables utilizados para las prácticas establecidas:

**Cables de conexión a protoboard**

**Tabla 4.** Dimensión de cables de conexión a protoboard

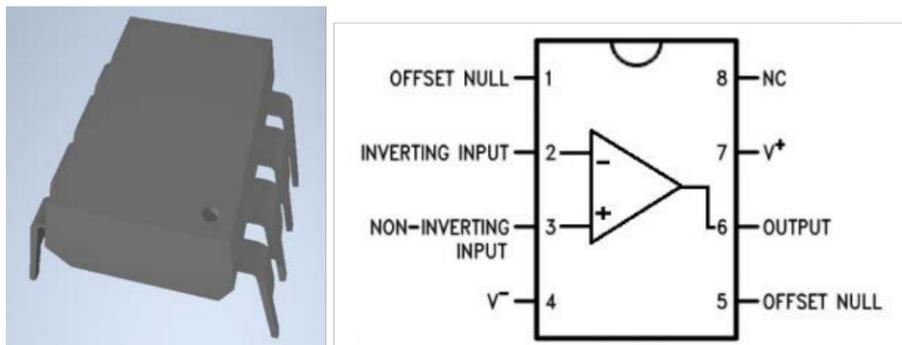
<b>Cable N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Longitud sección codos [mm]</b>	<b>Longitud sección principal [mm]</b>	<b>Total [mm]</b>
1	Cable con longitud de 4 cuadros	6	1.5	7.5
2	Cable con longitud de 5 cuadros	6	4	10
3	Cable con longitud de 7 cuadros	6	9	15
4	Cable con longitud de 8 cuadros	6	11.5	17.5
5	Cable con longitud de 10 cuadros	6	16.5	22.5
6	Cable con longitud de 11 cuadros	6	19	25
7	Cable con longitud de 12 cuadros	6	21.5	27.5
8	Cable con longitud de 14 cuadros	6	26.5	32.5
9	Cable con longitud de 15 cuadros	6	29	35
10	Cable con longitud de 19 cuadros	6	39	45
11	Cable con longitud de 28 cuadros	6	61.5	67.5
12	Cable de extremo a mitad de protoboard	6	22.636	28.636
13	Cable de extremo a extremo de protoboard	6	45.172	51.172

## 2.1.4 CIRCUITO INTEGRADO

La base de las prácticas realizadas se establece en el uso del circuito amplificador operacional, por lo que se ha decidido ocupar el circuito integrado de la serie LM741 para los ejercicios planteados ya que cumple con los objetivos de la práctica. El elemento se diseñó con una altura de 3.3 [mm], longitud 9.6 [mm] y ancho de 6.4 [mm] [12].

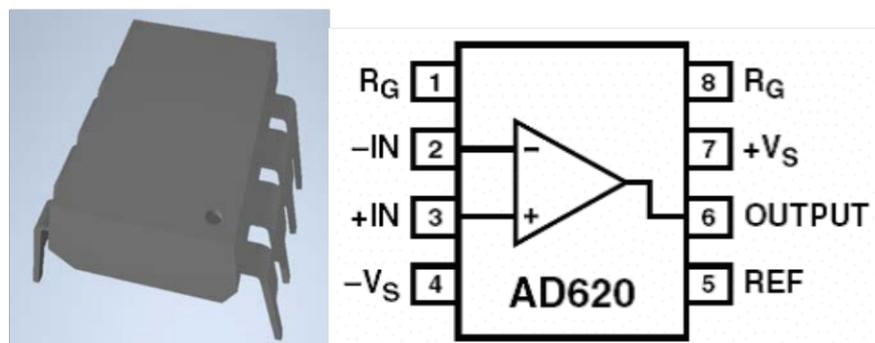
El circuito integrado se compone de 8 pines, entre las partes principales de este dispositivo se encuentran dos entradas una inversora (Pin 2) y otra no inversora (Pin 3), la señal de salida (Pin 6) y la alimentación se la realiza por los pines 4 ( $V^+$ ) y 7 ( $V^-$ ).

El diseño del amplificador operacional se desarrolló en Autodesk Inventor y consta de 2 partes principales: el cuerpo del encapsulado y los terminales para la conexión al protoboard, como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Diseño 3D de Circuito amplificador operacional LM741, distribución de pines

Para la práctica 4 “Circuito Amplificador de Instrumentación AD620” se utiliza el encapsulado AD620, como se muestra en la Figura 6, el cual es un amplificador que posee dos entradas una inversora (Pin 2) y otra no inversora (Pin 3), una salida y una tierra común (Pin 6). Este dispositivo se lo diseño con el objetivo de conseguir una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común.

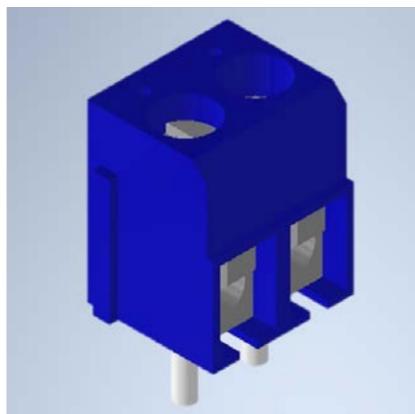


**Figura 6.** Diseño 3D de Circuito amplificador operacional AD620, distribución de pines

### 2.1.5 BORNERA

Las borneras se utilizan para realizar conexiones eléctricas, mediante estas, es posible derivar la energía producida por la fuente de alimentación hacia el circuito permitiendo la energización del mismo.

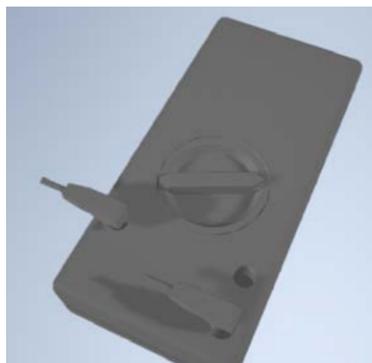
Como se observa en la Figura 7, el diseño de las borneras fue desarrollado en Autodesk Inventor y consta de 2 partes principales: el cuerpo de la bornera con una dimensión de 10 [mm] x 10 [mm]. Los terminales tienen una separación de 2.5 mm entre sí y una altura de 4.5 [mm] [13].



**Figura 7.** Diseño 3D de Borneras

### 2.1.6 MULTÍMETRO

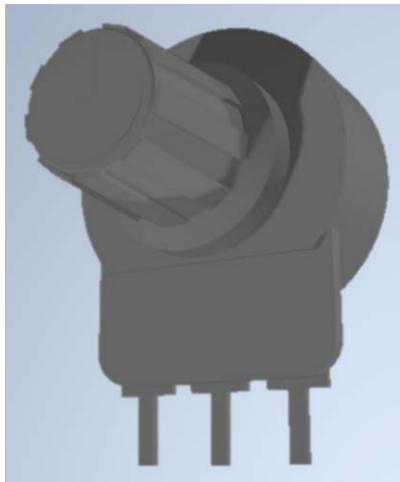
La visualización de los parámetros eléctricos es una parte fundamental para el desarrollo de las prácticas, por lo cual fue necesario diseñar en Autodesk Inventor un multímetro como se muestra en la Figura 8, el mismo que consta de 2 partes principales: el cuerpo del multímetro y las puntas de medición. Mientras que los cables se realizaron utilizando el software Blender.



**Figura 8.** Diseño 3D del Multímetro

### 2.1.7 POTENCIÓMETRO

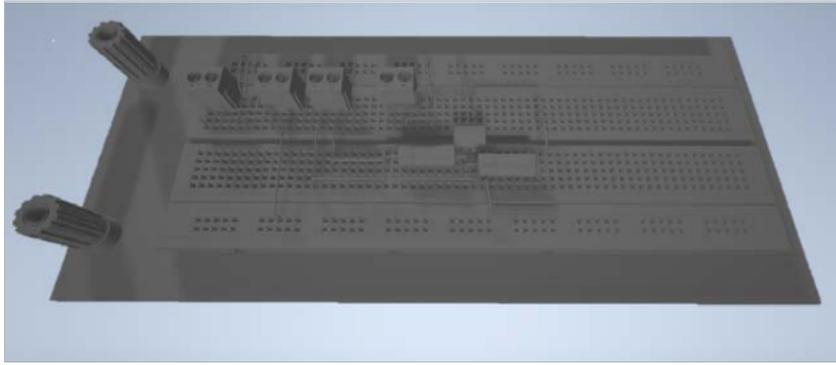
Para el caso de la práctica dos “Amplificador Diferencial” y la práctica cuatro “Amplificador de Instrumentación AD620” se requiere de la implementación de un puente de Wheatstone, con el fin de realizar distintas pruebas con diferentes sensores resistivos (PT100, PT1000, Termistor NTC) y además como se requiere encerrar el circuito, complementariamente se desarrolló en Autodesk Inventor un potenciómetro que consta de 3 partes principales: la perilla del potenciómetro, los terminales y la sección posterior que engloba la estructura interna del mismo como se puede evidenciar en la Figura 9.



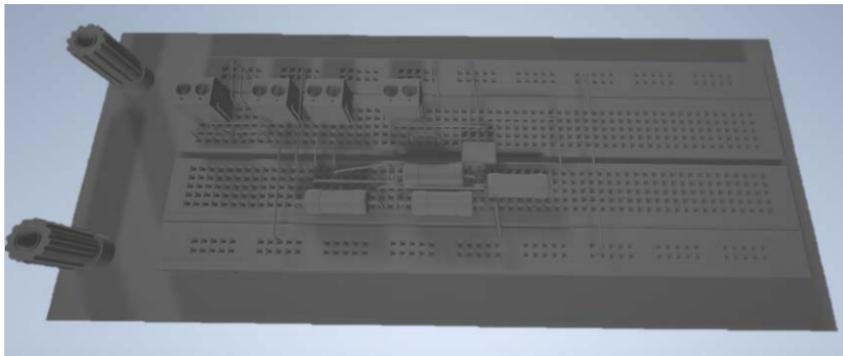
**Figura 9.** Diseño 3D del Potenciómetro

### 2.1.8 PROTOBOARD

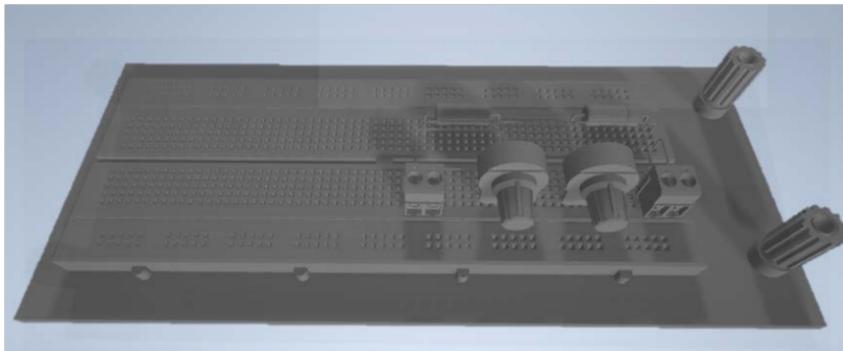
El desarrollo de las prácticas dentro del laboratorio virtual se realiza en un protoboard, con el fin de que los estudiantes o usuarios de la herramienta virtual puedan tener una experiencia similar a la de un laboratorio real, y de igual manera puedan replicar los mismos procedimientos tanto para las prácticas de laboratorio como aplicarlas en proyectos similares. Como se observa de la Figura 10 a la Figura 14, fue necesario utilizar Autodesk Inventor para el diseño de cinco protoboard: uno para la práctica 1 “Amplificador Inversor”, un segundo protoboard para la práctica de “Amplificador Diferencial”, el tercero para el puente de Wheatstone, el cuarto para la práctica tres “Amplificador No Inversor” y finalmente un protoboard para la práctica cuatro “Amplificador de Instrumentación AD620”.



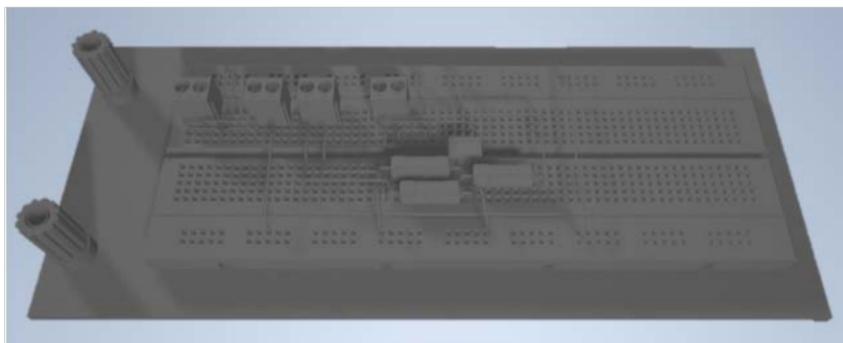
**Figura 10.** Diseño 3D de protoboard Práctica 1 – Amplificador Inversor



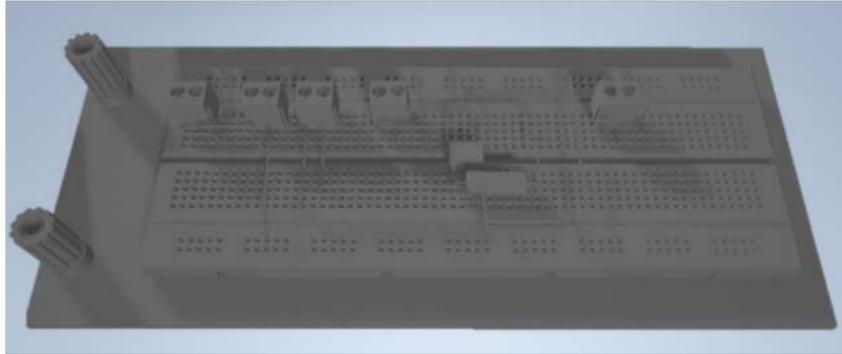
**Figura 11.** Diseño 3D de protoboard Práctica 2 – Amplificador Diferencial



**Figura 12.** Diseño 3D de protoboard Práctica 2 – Puente de Wheatstone



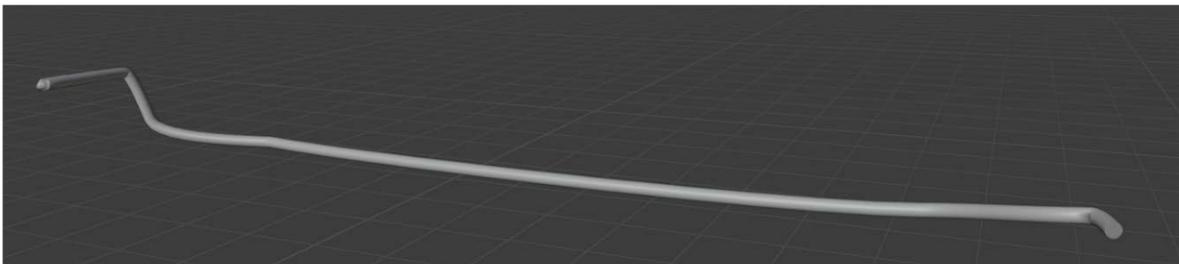
**Figura 13.** Diseño 3D de protoboard Práctica 3– Amplificador No Inversor



**Figura 14.** Diseño 3D de protoboard Práctica 4– Amplificador Instrumentación AD620

### 2.1.9 CABLES DE ALIMENTACIÓN

A diferencia de los cables de conexión al protoboard, los cables de alimentación representan un grado mayor de complejidad ya que al emular un laboratorio real se deben tomar en cuenta ciertos aspectos, que se observan en la Figura 15, como son las curvas naturales de los cables, los obstáculos que debe evitar (interferir con el protoboard, resistencias, etc.) o evitar que los cables se crucen entre sí al encontrarse en una misma zona. Por esta razón se decidió utilizar el software Blender para el modelamiento de los mismos, ya que esta plataforma permite moldear figuras de acuerdo a los requerimientos establecidos. Cada uno de estos fue diseñado para abarcar la distancia necesaria para realizar la conexión requerida.



**Figura 15.** Diseño 3D de Cables de Alimentación

## 2.2 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

Como se mencionó anteriormente se escogió como motor de desarrollo a Unity 3D, dentro de esta plataforma se realizó la programación de acuerdo a la cantidad de escenas requeridas. Tanto para la práctica 1 “Amplificador Inversor”, la práctica 2 “Amplificador Diferencial” como para la práctica 3 “Amplificador No Inversor” fue necesaria la implementación de siete escenas las cuales nos servirán para el desarrollo de las prácticas. Mientras que para la práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620” se diseñó 9

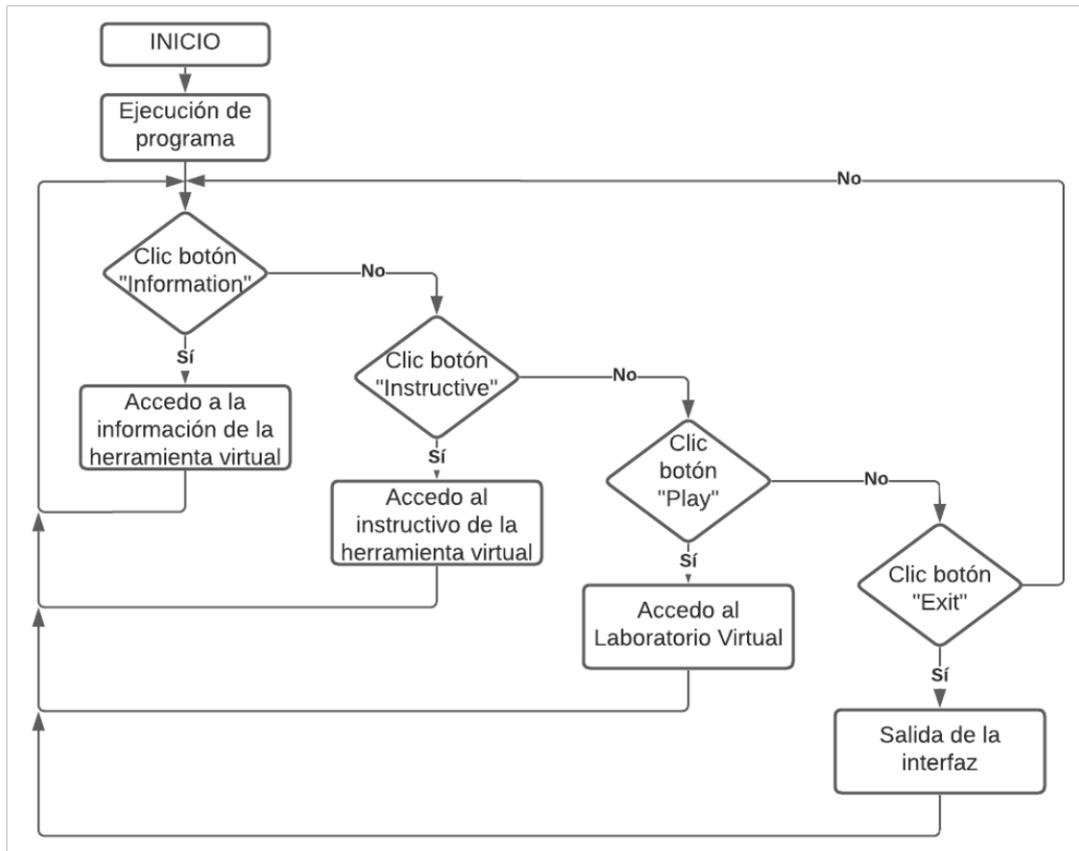
escenas, donde la octava escena fue necesaria para modificar los valores de la fuente de alimentación y la novena escena para ver los efectos del ruido en el circuito.

### 2.2.1 ESCENAS IMPLEMENTADAS

**Tabla 5.** Escenas implementadas para práctica 1, 2, 3 y 4

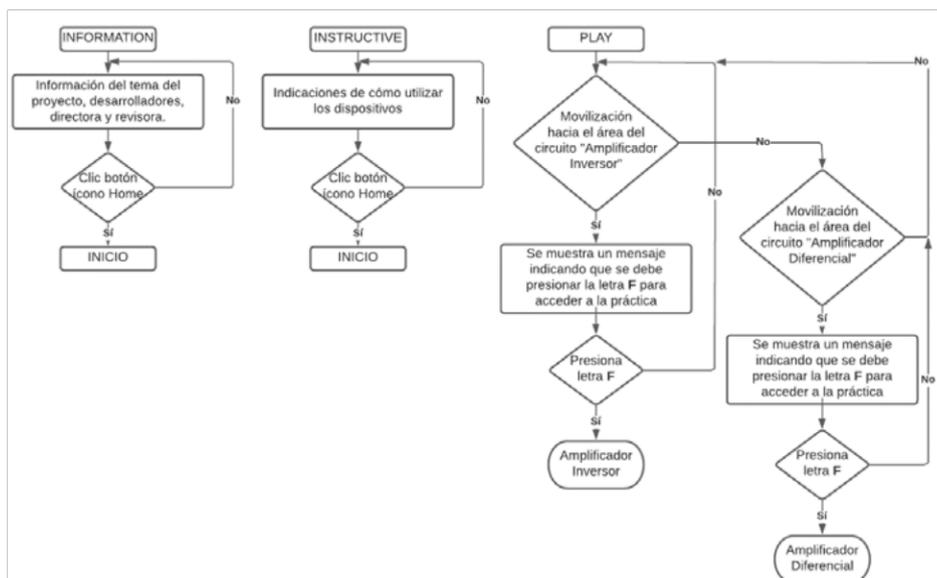
Escena N°	Práctica 1	Práctica 2	Práctica 3	Práctica 4
1	Laboratorio Virtual	Laboratorio Virtual	Laboratorio Virtual	Laboratorio Virtual
2	Práctica “Amplificador Inversor”	Práctica “Amplificador Diferencial”	Práctica “Amplificador No Inversor”	Práctica “Amplificador de Instrumentación AD620”
3	Botón: Circuito Inversor	Botón: Circuito Diferencial	Botón: Circuito No Inversor	Botón: Circuito AD620
4	Botón: Generador AC	Botón: Puente de Wheatstone	Botón: Generador AC	Botón: Puente de Wheatstone
5	Botón: Información	Botón: Información	Botón: Información	Botón: Información
6	Botón: Comandos	Botón: Comandos	Botón: Comandos	Botón: Comandos
7	Botón: Ícono Instructivo 	Botón: Ícono Instructivo 	Botón: Ícono Instructivo 	Botón: Ícono Instructivo 
8				Botón: Fuente
9				Botón Ruido

El funcionamiento de la escena uno se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 16, donde se establece que, una vez ejecutado el programa, se accede a la primera pantalla donde se puede hacer clic en “Information”, “Instructive”, “Play” o “Exit”. Al hacer clic en el último botón (“Exit”) el ejecutable se cerrará.



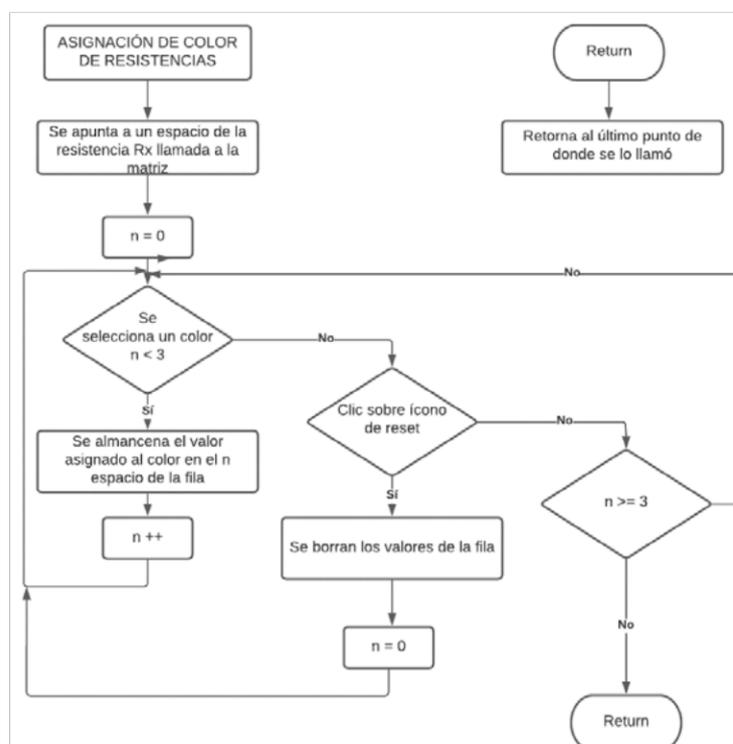
**Figura 16.** Diagrama de Flujo Escena 1

En la Figura 17 se encuentra un diagrama de flujo de tres funciones importantes, al entrar a la escena de "Information" se visualizará la información del tema de trabajo de titulación, los datos de los desarrolladores, directora y revisora. Al presionar el botón de instructivo se podrá acceder a las instrucciones de operación de cómo se deben manejar los elementos (resistencias, fuentes de alimentación, generador de señales, entre otros.). Al ingresar a "Play" entramos al laboratorio virtual donde podremos acceder a la práctica 1 "Amplificador Inversor" y a la práctica 2 "Amplificador Diferencial" donde se visualizará un mensaje de presionar la letra F para ingresar a la práctica respectiva.



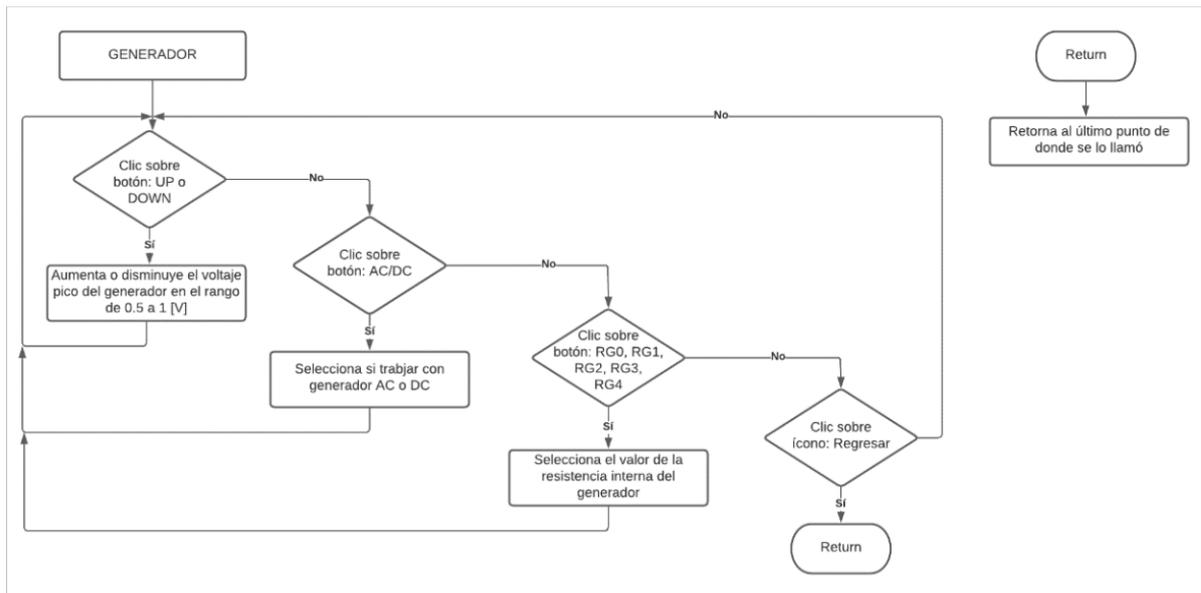
**Figura 17.** Diagrama de Flujo de la función “Information”, “Instructive” y “Play”

El color de las resistencias puede variar y para la implementación de esta función, el diagrama de flujo de la Figura 18 permite detallar su procedimiento. En primer lugar, se debe apuntar al espacio de la resistencia hacia la matriz, luego se selecciona los colores almacenando esta información en un espacio “n” de la fila, al hacer clic sobre el ícono de reset se borrará dichos valores y este programa retorna si “n” es mayor o igual a 3.



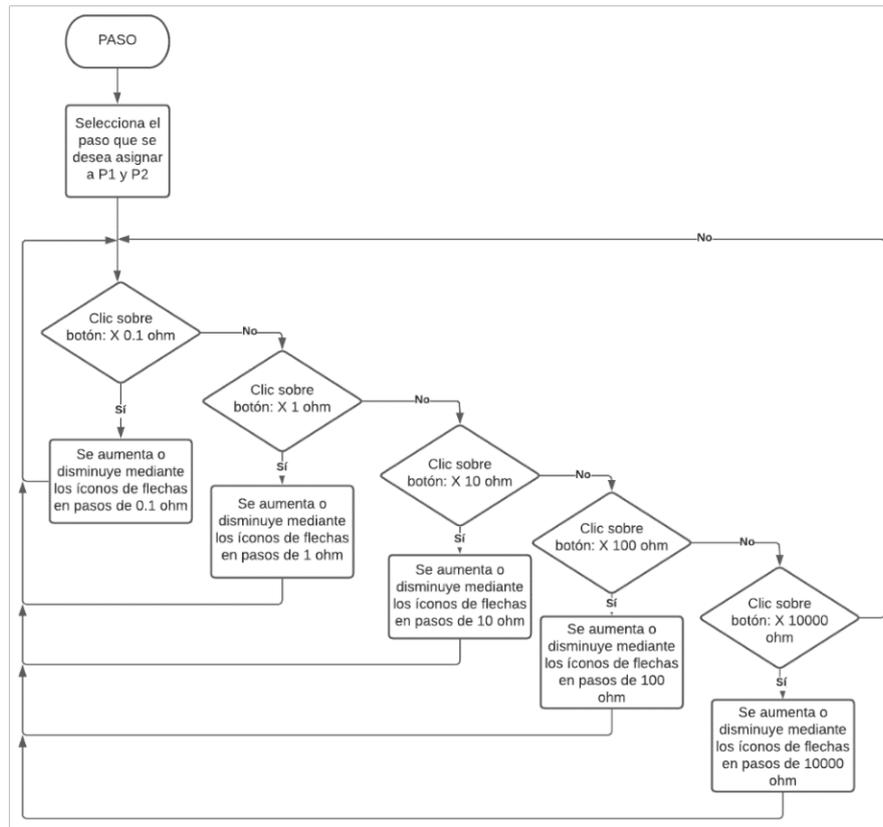
**Figura 18.** Diagrama de Flujo de la función “Asignación de color de resistencias “

El generador de señales, como se muestra en la Figura 19, se lo maneja haciendo clic sobre los botones para aumentar o disminuir el voltaje pico que ingresa, de igual manera se selecciona mediante un clic si el generador trabajará con corriente alterna (AC) o corriente continua (DC), de igual manera se permite la variación del valor de la resistencia interna del generador y al finalizar se puede regresar mediante el ícono de la flecha respectiva a la escena anterior.



**Figura 19.** Diagrama de Flujo de la función “Generador”

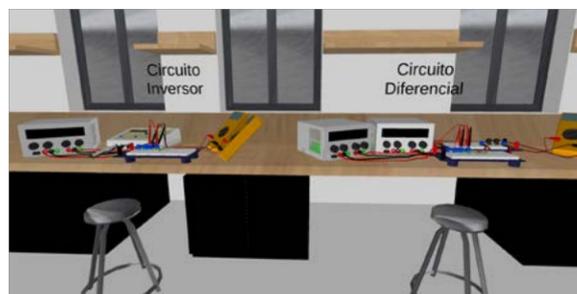
La función PASO, como se muestra en la Figura 20, tiene como objetivo variar el paso en el que aumentan o disminuyen los potenciómetros P1 y P2, para lo cual se debe hacer clic sobre el botón del valor que se requiera y mediante los respectivos íconos de flecha será posible ajustar los valores a los del diseño que realice.



**Figura 20.** Diagrama de Flujo de la función “Paso”

## 2.2.2 PRACTICAS DESARROLLADA

A continuación, se presentará un análisis detallado sobre las características y funciones que proporciona la práctica 1 “Amplificador Inversor”, la práctica 2 “Amplificador Diferencial”, la práctica 3 “Amplificador No Inversor” y la práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620” los cuales se desarrollarán en el laboratorio virtual como se puede evidenciar en la Figura 21.



**Figura 21.** Mockup de escena de laboratorio virtual

### 2.2.2.1 Práctica 1 “Amplificador Inversor”

Un amplificador inversor es una configuración cuya ganancia en lazo cerrado se encuentra establecida por la relación de resistencias R1 y R2, este circuito permite amplificar señales de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). La señal de salida es invertida respecto a la señal de entrada. Como se observa en la Figura 22 el circuito posee una resistencia RG que es la resistencia interna del generador de señal. En donde se deberá aplicar las siguientes ecuaciones:

Ecuación de ganancia en lazo cerrado:

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.1)$$

Ecuación de salida del amplificador inversor:

$$V_o = V_{io} \cdot A_v \quad (2.2)$$

Ecuación de salida del generador de señales:

$$V_{io} = V_o \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_G} \quad (2.3)$$

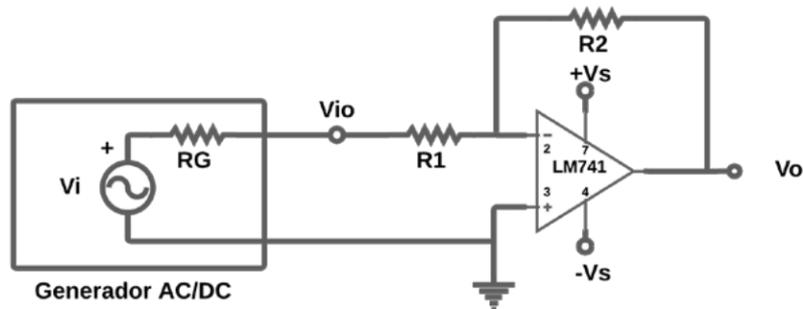
Donde:

Av : Ganancia del sistema

R1 y R2 : Resistencias a calcular [ $\Omega$ ]

Vo : Voltaje de salida del amplificador inversor [V]

Vio : Voltaje de salida del generador de señales [V]



**Figura 22.** Configuración Circuito Amplificador Inversor

La primera práctica tiene como objetivo el identificar el comportamiento de un amplificador inversor y comprender el efecto que se genera al aumentar o disminuir el valor de la resistencia interna del generador. Como se observa en la Figura 23, al ingresar a la práctica

de “Amplificador Inversor” tendremos cinco botones, dos de lado izquierdo (Circuito Inversor y Generador AC) y tres del lado derecho (Información, Comandos y el ícono de manual de instrucciones).



**Figura 23.** Mockup de Práctica 1 “Amplificador Inversor”

Del lado izquierdo tendremos el botón de “Circuito Inversor” nos permite ingresar a la vista principal de protoboard, como se observa en la Figura 24, donde se deberá configurar el valor de las resistencias R1 y R2 mediante el código de colores cumpliendo con el requisito de que R2 deberá ser diez veces mayor a R1 de acuerdo con el ejercicio planteado en la herramienta virtual. De igual manera, en la Figura 24, el botón de “Generador AC” permitirá configurar con qué tipo de señal se trabajará (AC o DC), y el valor de la resistencia interna del generador RG, es aquí donde podremos identificar que, al tener un valor elevado en dicha resistencia (RG) generamos un efecto similar al de un divisor de voltaje. Siendo que, entre mayor sea el valor de la resistencia menor será el voltaje de salida.



**Figura 24.** Mockup de escena Circuito Inversor y generador de señales

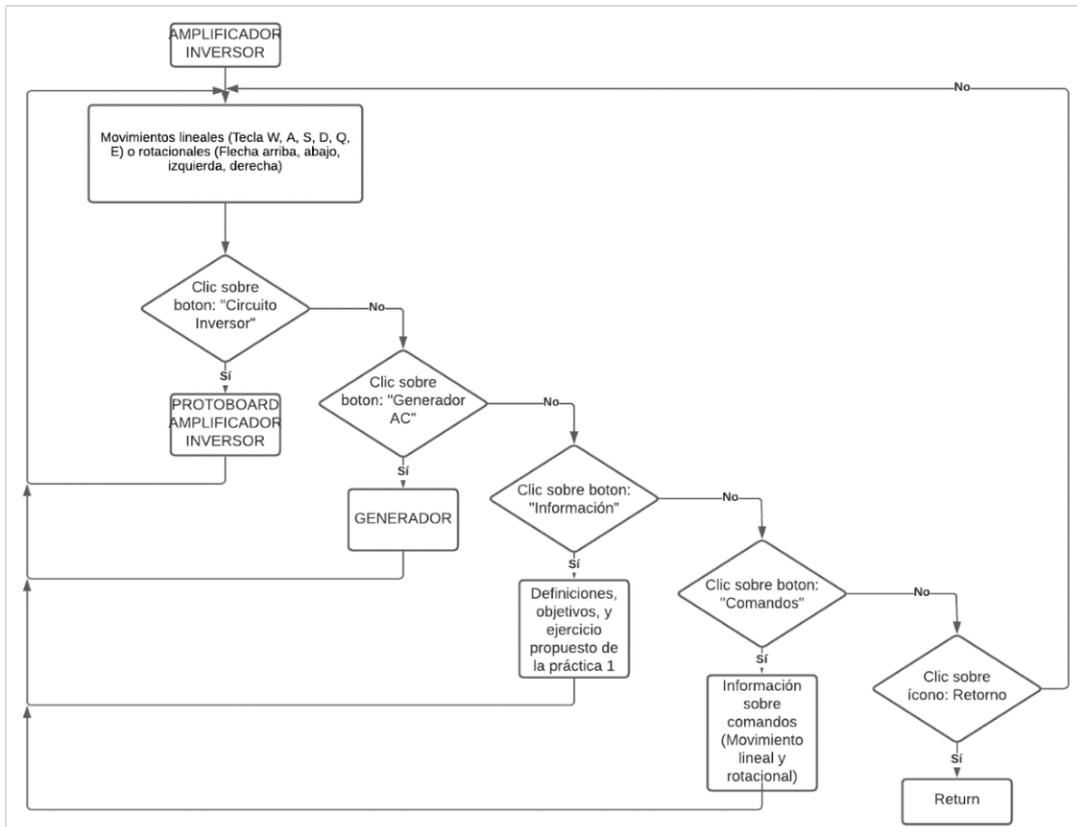
Del lado derecho, se tiene el botón “Información” el cual establece los objetivos de la práctica, define los conceptos que serán utilizados y presenta el ejercicio que el/los usuarios deberán resolver. También se tiene el botón “Comandos” el cual permitirá controlar los movimientos lineales y rotacionales para optimizar la experiencia y acceder

con facilidad a la visualización de los componentes de la práctica. Para finalizar tendremos un ícono que representa el manual de instrucciones que sirve de apoyo para utilizar de manera adecuada la interfaz, lo cual se evidencia en la Figura 25.

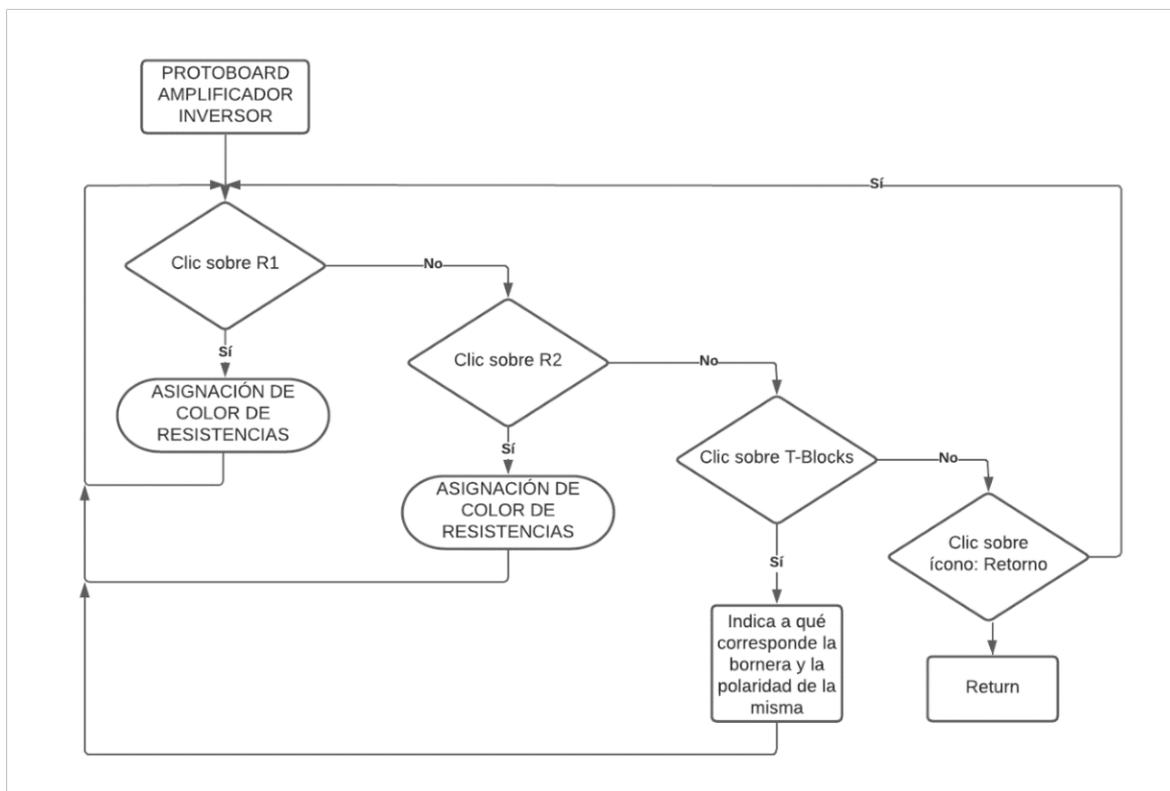


**Figura 25.** Mockup de escena de información, comandos e instructivo de la Práctica 1 “Amplificador Inversor”

En la Figura 26 y Figura 27 se muestran los diagramas de flujo de las funciones desarrolladas para la ejecución de la práctica 1 “Amplificador Inversor”:



**Figura 26.** Diagrama de Flujo de la práctica “Amplificador Inversor”



**Figura 27.** Diagrama de Flujo del protoboard de la práctica “Amplificador Inversor”

### 2.2.2.2 Práctica 2 “Amplificador Diferencial”

Un amplificador diferencial es una configuración que posee la característica de amplificar dos señales, como se observa en la Figura 28, este se compone de una entrada inversora (-) y una entrada no inversora (+), una señal de salida proporcional a la diferencia de los voltajes de entrada multiplicándolos por la ganancia correspondiente. Para el diseño del circuito se deberá tomar en cuenta las siguientes ecuaciones:

Ecuación de ganancia:

$$A_v = \frac{R_2}{R_1} \quad (2.4)$$

Ecuación de salida del amplificador diferencial:

$$V_o = (V_b - V_a) \cdot A_v \quad (2.5)$$

Donde:

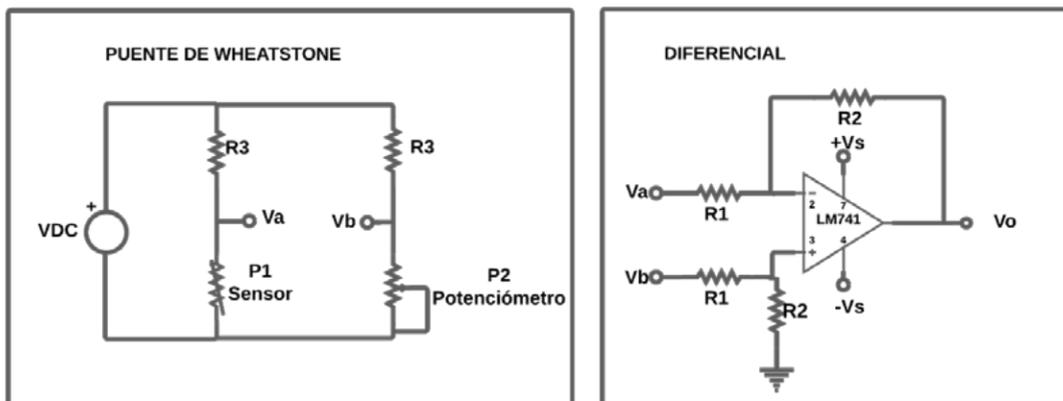
$A_v$  : Ganancia del sistema

$R_1$  y  $R_2$  : Resistencias a calcular [ $\Omega$ ]

$V_o$  : Voltaje de salida del amplificador diferencial [V]

$V_a$  : Voltaje a la entrada no inversora (+ $V_s$ ) [V]

$V_b$  : Voltaje a la entrada inversora (- $V_s$ ) [V]



**Figura 28.** Configuración Circuito Amplificador Diferencial

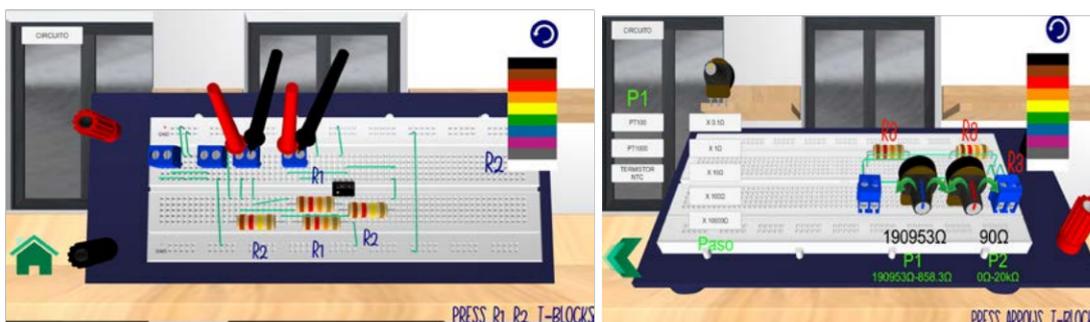
La segunda práctica tiene como objetivo el identificar el comportamiento de un amplificador diferencial y conocer las ventajas y desventajas de las aplicaciones para este tipo de configuración. Como se observa en la Figura 29, al ingresar a la práctica de “Amplificador Diferencial” tendremos cinco botones, dos de lado izquierdo (Circuito Diferencial y Puente

de Wheatstone) y tres del lado derecho (Información, Comandos y el ícono de manual de instrucciones).



**Figura 29.** Mockup de Práctica 2 “Amplificador Diferencial”

Del lado izquierdo tendremos el botón de “Circuito Diferencial” el cual nos permite ingresar a la vista principal de protoboard, como se observa en la Figura 30, donde se deberá configurar el valor de las resistencias R1 y R2 mediante el código de colores. En el botón de “Puente de Wheatstone” se podrá obtener el valor de las resistencias mediante el equilibrio de los brazos del puente. De igual manera como se observa en la Figura 30, en el circuito podremos configurar el valor de R3, y en este caso particular tendremos dos potenciómetros: el primer potenciómetro P1 nos permitirá decidir con qué sensor resistivo podremos trabajar PT100 (19 [Ω] – 390.1 [Ω]), PT1000 (8000 [Ω] – 2000 [Ω]) o Termistor NTC (190953 [Ω] – 858.3 [Ω]), mientras que el segundo potenciómetro P2 nos será útil para encerrar el circuito, este potenciómetro tiene un rango de 0 a 20k [Ω].



**Figura 30.** Mockup de escena Circuito Diferencial y Puente de Wheatstone

Del lado derecho se tiene el botón “Información” el cual establece los objetivos de la práctica, define los conceptos que serán utilizados y presenta el ejercicio que el/los usuarios deberán resolver. También se tiene el botón “Comandos” el cual permitirá controlar los movimientos lineales y rotacionales para optimizar la experiencia y acceder con facilidad a la visualización de los componentes de la práctica. Para finalizar tendremos

un ícono que representa el manual de instrucciones que sirve de apoyo para utilizar de manera adecuada la interfaz, lo cual se evidencia en la Figura 31.



**Figura 31.** Mockup de escena de información, comandos e instructivo de la Práctica 2 “Amplificador Diferencial”

En la Figura 32, Figura 33 y Figura 34, se muestran los diagramas de flujo de las funciones desarrolladas para la ejecución de la práctica 2 “Amplificador Diferencial”:

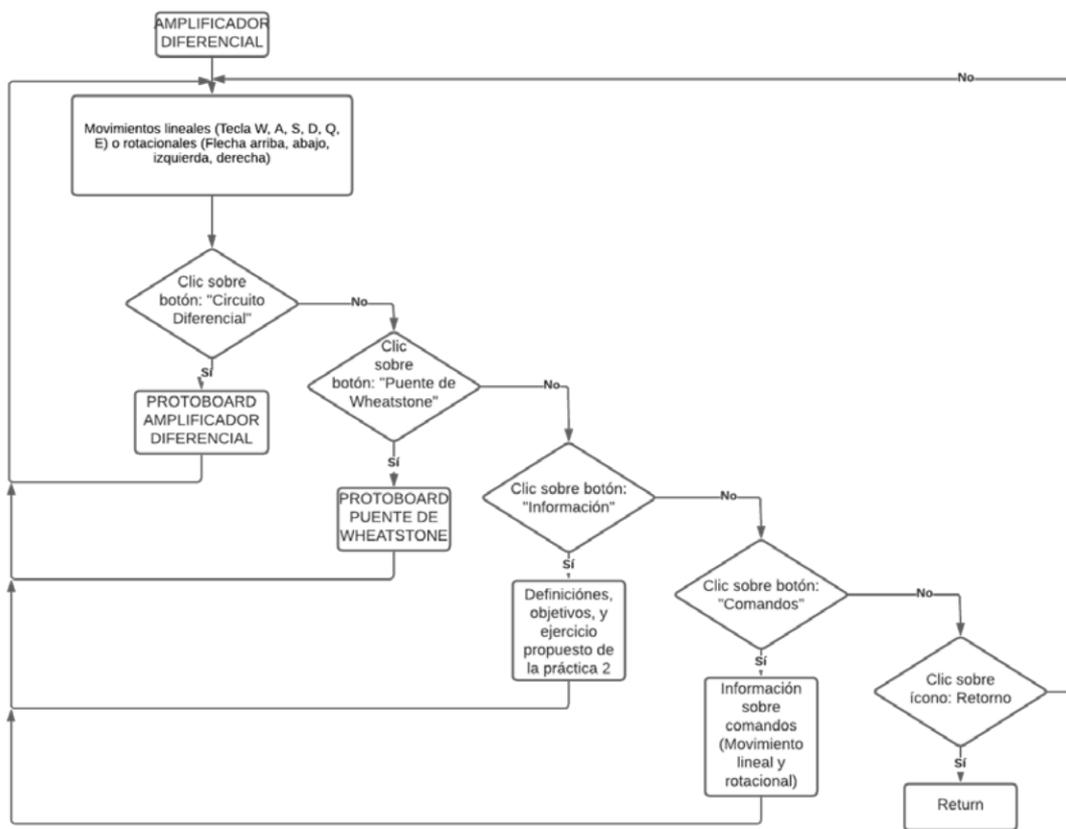


Figura 32. Diagrama de Flujo de la práctica “Amplificador Diferencial”

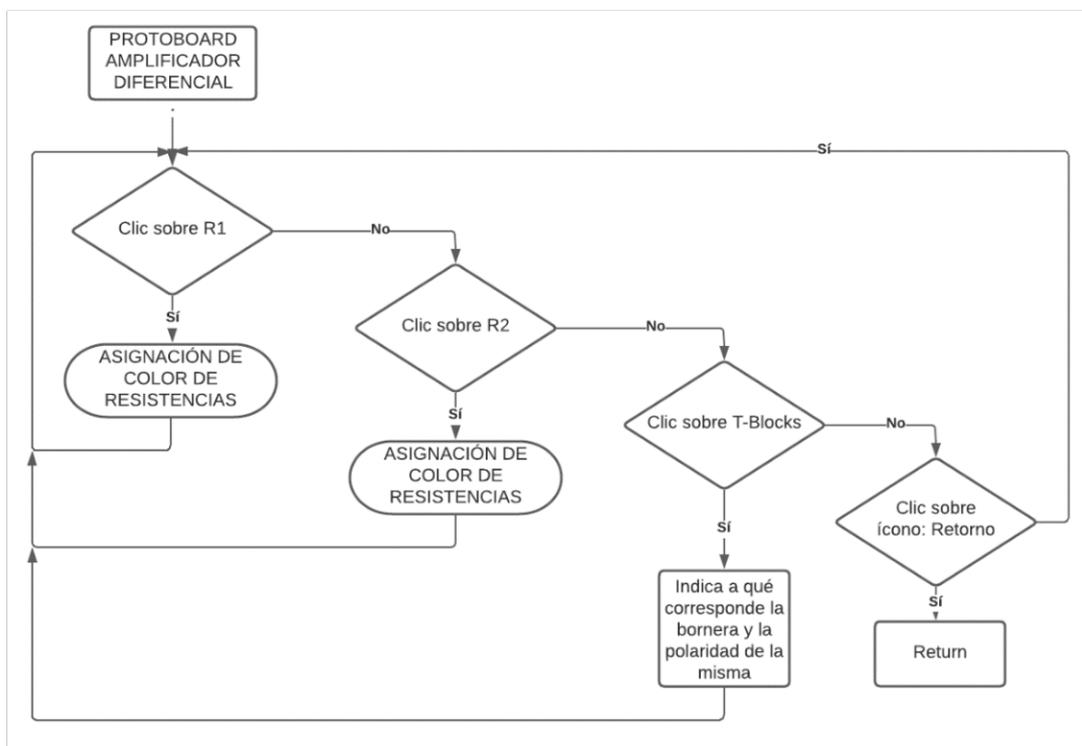
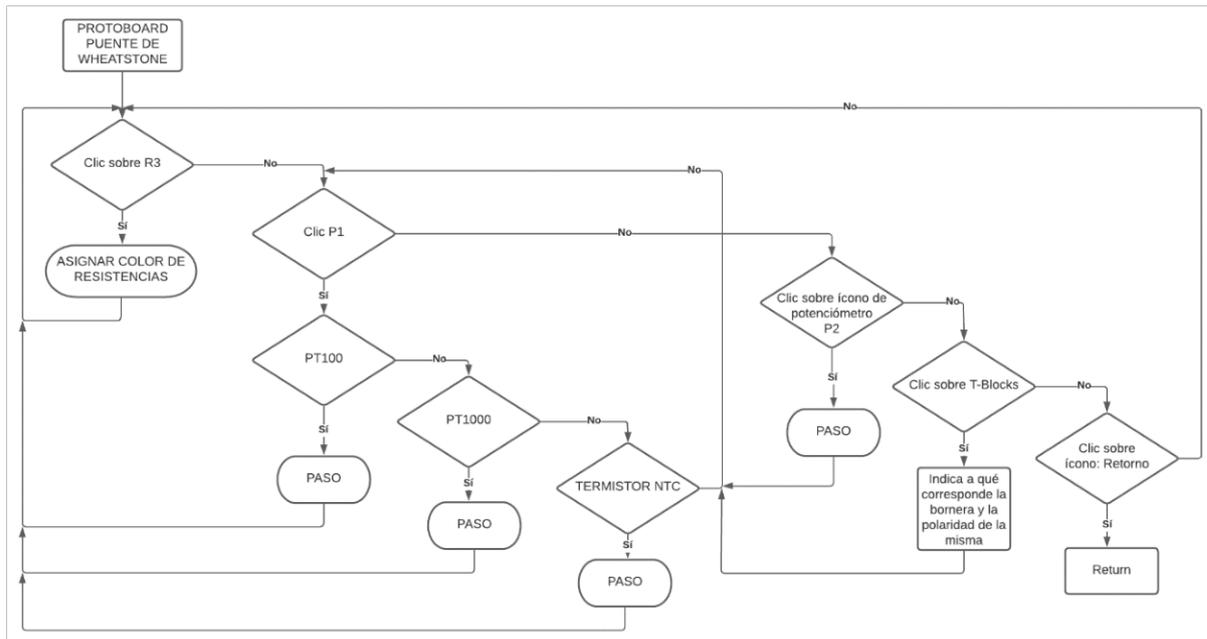


Figura 33. Diagrama de Flujo del protoboard de la práctica “Amplificador Diferencial”



**Figura 34.** Diagrama de Flujo del protoboard “Puente de Wheatstone” de la práctica “Amplificador Diferencial”

### 2.2.2.3 Práctica 3 “Amplificador No Inversor”

Un amplificador no inversor es una configuración que posee la característica de que el voltaje de salida posee la misma fase que el voltaje de entrada. La impedancia que debe colocarse en la entrada del circuito debe ser mayor a los 100 [MΩ].

Para el diseño del circuito de la Figura 35 se deberá tomar en cuenta las siguientes ecuaciones:

Ecuación de ganancia:

$$A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.4)$$

Ecuación de salida del amplificador diferencial:

$$V_o = V_{i0} \cdot A_v = V_i \cdot A_v \quad (2.5)$$

Donde:

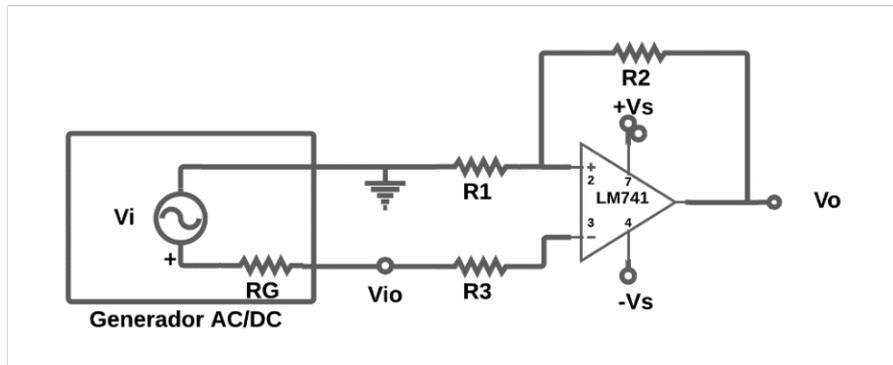
$A_v$  : Ganancia del sistema

$R_1$  y  $R_2$  : Resistencias a calcular [Ω]

$V_o$  : Voltaje de salida del amplificador diferencial [V]

$V_{i0}$  : Voltaje a la entrada inversora [V]

$V_i$  : Voltaje del generador ( $-V_s$ ) [V]



**Figura 35.** Configuración Circuito Amplificador No Inversor

La tercera práctica tiene como objetivo el identificar el comportamiento de un amplificador no inversor y comprender el efecto que se produce al tener un valor considerable de resistencia interna en el generador.

#### 2.2.2.4 Práctica 4 “Amplificador De Instrumentación AD620”

Un amplificador de instrumentación AD620 es una configuración que posee dos entradas una inversora (-), una no inversora (+), una salida y una tierra común. La configuración se la realizó con el fin de obtener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común.

Para el diseño del circuito de la Figura 36 se deberá tomar en cuenta las siguientes ecuaciones:

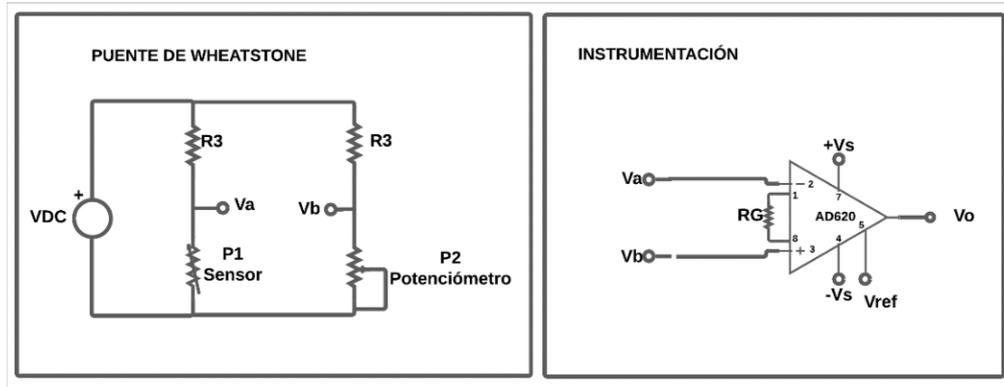
Ecuación de ganancia:

$$A_v = \frac{49,4[k\Omega]}{R_G} + 1 \quad (2.4)$$

Donde:

$A_v$  : Ganancia del sistema

$R_G$  : Resistencia externa del circuito [ $\Omega$ ]



**Figura 36.** Configuración Circuito Amplificador de Instrumentación AD620

La cuarta práctica tiene como objetivo el identificar el comportamiento de un amplificador de instrumentación y conocer las ventajas y desventajas de la aplicación de este circuito.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el fin de obtener una realimentación del usuario acerca de la experiencia durante la ejecución y funcionamiento de la herramienta virtual, se solicitó a dieciocho estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica que hayan cursado el componente práctico de la asignatura de Sensores y Transductores utilizar esta herramienta para poder realizar las pruebas respectivas. Después del uso de ésta durante dos ocasiones se les solicitó a los estudiantes, través de un enlace en la herramienta de elaboración de formularios o encuestas "Microsoft Forms", completar una encuesta de manera anónima con el objetivo de valorar el grado de dificultad que presentó el manejo de la herramienta virtual, tiempo que tomó acceder al mismo, claridad de las instrucciones proporcionadas y si existió algún inconveniente durante su uso.

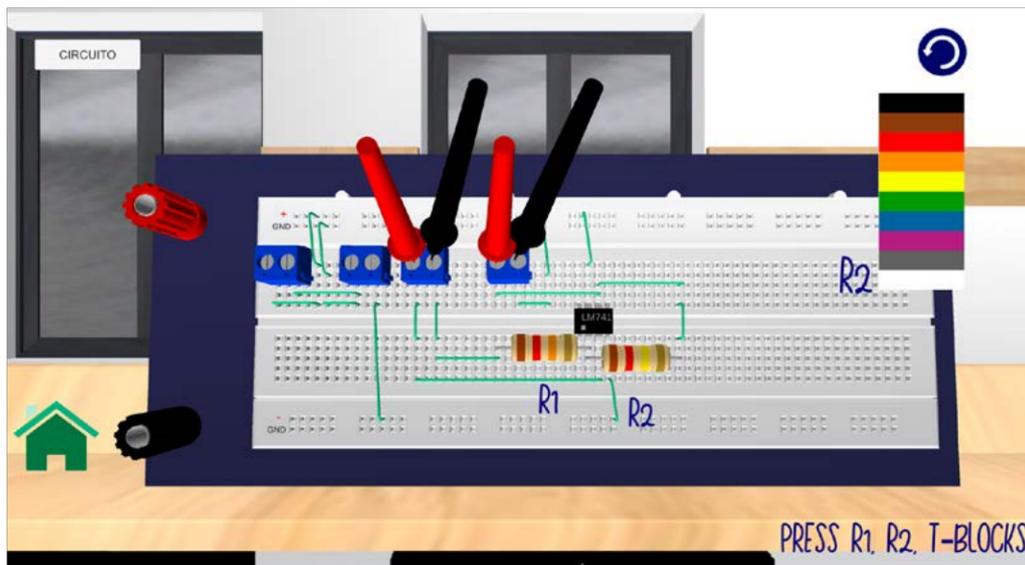
Para la elaboración de la encuesta se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el tiempo requerido para la descarga de la herramienta virtual "Sensor Zone".
- Determinar si existe inconvenientes durante la descarga y ejecución de la herramienta virtual "Sensor Zone".
- Valorar la claridad con la que se establecieron las instrucciones y simulación de los circuitos de acondicionamiento de la herramienta virtual "Sensor Zone".
- Analizar la complejidad de manejo de la herramienta virtual "Sensor Zone".

- Determinar el tiempo de interacción requerido por los estudiantes para completar los ejercicios propuestos en la herramienta virtual “Sensor Zone”.
- Conocer si los usuarios recomendasen el uso de la herramienta virtual “Sensor Zone”.

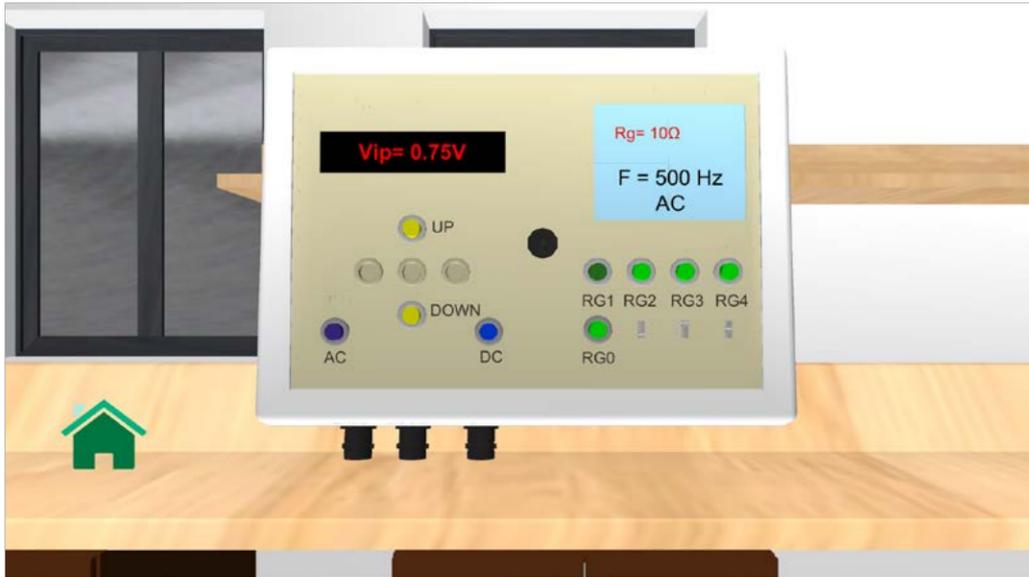
Previo a que los estudiantes accedan a la encuesta se realizó en 2 sesiones de laboratorio una explicación sobre la interfaz gráfica en la cual se plantean cuatro ejercicios uno correspondiente a cada práctica. A continuación, se realizará un ejemplo de cómo funciona los ejercicios de la práctica “Amplificador Inversor” y el “Amplificador Diferencial”.

En la Figura 37 se muestra el circuito “Amplificador Inversor”, primero accedemos al protoboard presionando sobre el botón “Circuito Inversor”, en esta escena será posible asignar un valor a la resistencia R1 y R2 en donde de acuerdo a lo establecido en el ejercicio propuesto R2 debe ser 10 veces mayor que R1, a continuación, se presenta un ejemplo en donde se le asigna a R1 un valor de 12 [k $\Omega$ ] mientras que a R2 se le asigna un valor de 120 [k $\Omega$ ].



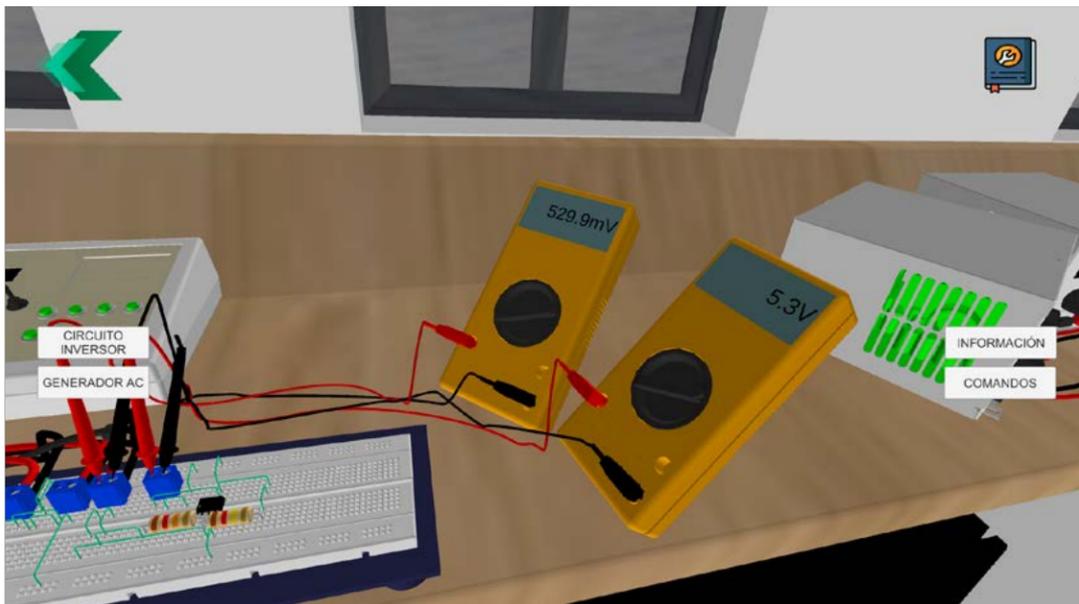
**Figura 37.** Mockup de la escena del protoboard de la práctica “Amplificador Inversor”

Como siguiente paso accedemos al generador de la Figura 38, presionamos sobre el botón “Generador AC”, en donde configuramos el generador con un voltaje pico de 0.75 [V], presionamos sobre el botón de “AC” y seleccionamos un valor para RG, en este caso se escoge una resistencia RG de 10 [ $\Omega$ ].



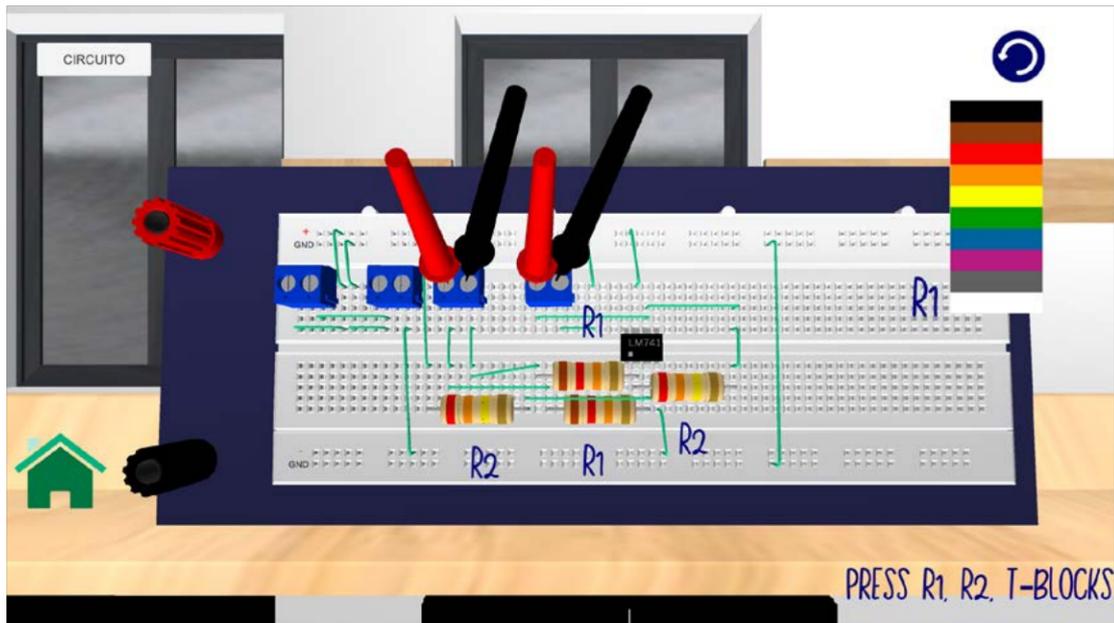
**Figura 38.** Mockup de la escena del generador de la práctica “Amplificador Inversor”

Finalmente podremos observar en los multímetros de la Figura 39 que la configuración de circuito inversor funciona correctamente.



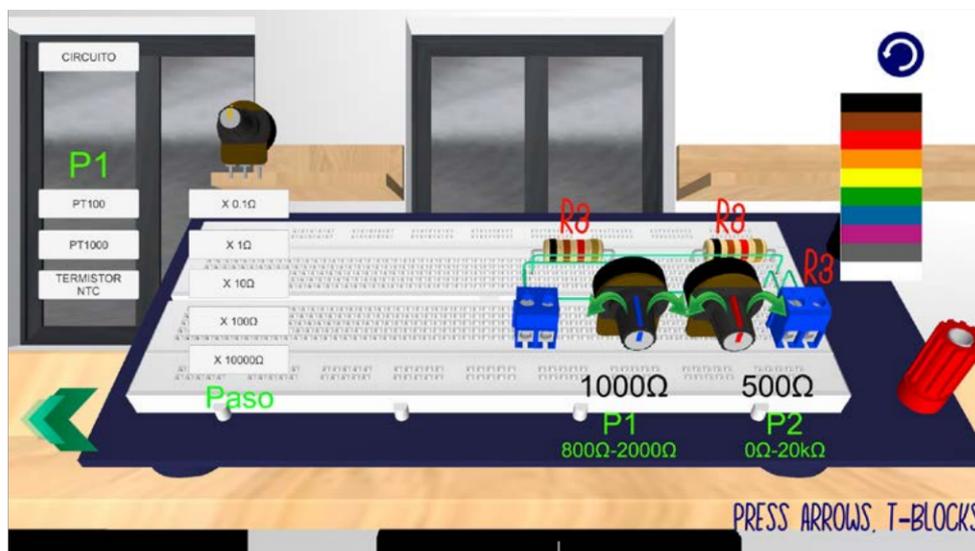
**Figura 39.** Mockup de la escena general de la práctica “Amplificador Inversor”

En la Figura 40 se muestra el circuito “Amplificador Diferencial”, primero accedemos al protoboard presionando sobre el botón “Circuito Diferencial” en esta escena será posible asignar un valor a la resistencia R1 y R2. Se le asigna a R1 un valor de 12 [kΩ] mientras que a R2 se le asigna un valor de 120 [kΩ].



**Figura 40.** Mockup de la escena del protoboard de la práctica “Amplificador Diferencial”

Como siguiente paso accedemos al puente de Wheatstone de la Figura 41, presionando sobre el botón “Puente de Wheatstone”, en donde configuramos el potenciómetro 1 (P1) como PT1000 como se establece en el ejercicio, utilizando el potenciómetro 2 (P2), el cual nos servirá para encerrar el circuito.



**Figura 41.** Mockup de la escena del puente de Wheatstone de la práctica “Amplificador Inversor”

Finalmente podremos observar en los multímetros de la Figura 42 que la configuración de circuito diferencial funciona adecuadamente.



**Figura 42.** Mockup de la escena general de la práctica “Amplificador Diferencial”

Como se puede apreciar la interfaz es bastante clara, y abarca varios conceptos que serán útiles ya que, permite a los estudiantes fortalecer conocimientos sobre los temas que imparten en la materia de “Sensores y Transductores”.

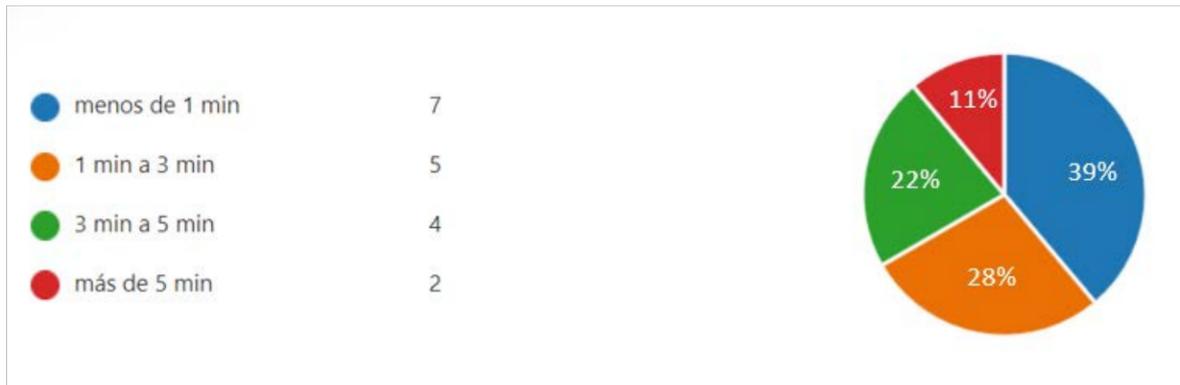
### 3.1 RESULTADOS

Durante el diseño de la interfaz gráfica “Sensor Zone”, fue necesario realizar modificaciones al momento de exportar el proyecto a un archivo ejecutable (.exe). Se requirió de tres versiones en las cuales se modificó la relación de aspecto para que todos los parámetros sean visualizados adecuadamente en los distintos ordenadores. La versión final (v4) se seleccionó para ser evaluada y validada mediante una encuesta, dando resultados alentadores los cuales permitieron comprobar la funcionalidad del software cuyos resultados se muestra a continuación.

La primera pregunta permite conocer el tiempo requerido en la descarga de la herramienta virtual “Sensor Zone”. En la Figura 43 se muestra que el 39% (7 estudiantes) de encuestados se demoraron menos de 1 minuto, el 28% (5 estudiantes) requirió de 1 a 3 minutos, el 22% (4 estudiantes) de 3 a 5 minutos y el 11% (2 estudiantes) de encuestados requiriendo de un tiempo mayor a 5 minutos para completar la descarga de la misma.

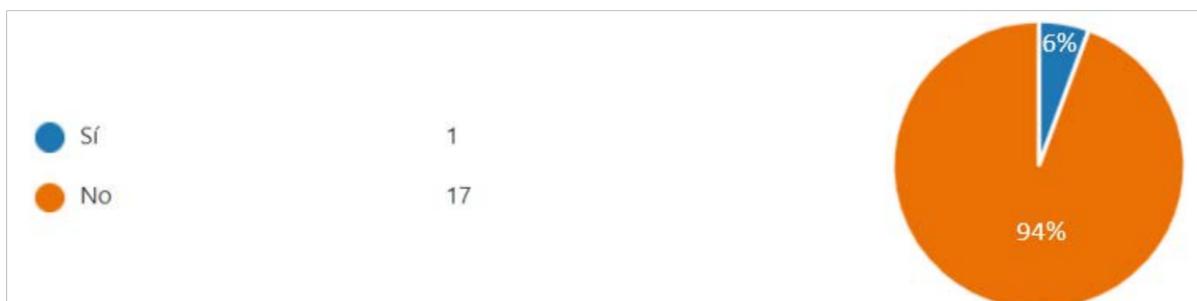
**Tabla 6.** Resultados de las pruebas realizadas acerca del tiempo de descargar de la herramienta virtual “Sensor Zone”

Pregunta N°7	Estudiantes	Porcentaje
Menos de 1 minutos	7	39%
1 minutos a 3 minutos	5	28%
3 minutos a 5 minutos	4	22%
Más de 5 minutos	2	11%



**Figura 43.** Resultado de la primera pregunta de la encuesta

La segunda pregunta permite conocer si existió algún inconveniente durante la descarga de la herramienta virtual “Sensor Zone”. En la Figura 44 se muestra que el 94% (17 estudiantes) no tuvieron problema alguno al durante la descarga mientras que el 6% (1 estudiante) tuvo un inconveniente al descargar la herramienta virtual, este inconveniente fue resuelto durante las pruebas realizadas.



**Figura 44.** Resultado de la segunda pregunta de la encuesta

La tercera pregunta permite conocer si existió algún inconveniente al ejecutar la herramienta virtual “Sensor Zone”. En la Figura 45 se muestra que el 67% (12 estudiantes) no tuvieron ningún problema durante la ejecución mientras que, el 33% (6 estudiantes) tuvieron ciertas complicaciones durante la ejecución, ya que la herramienta no se

ejecutaba de manera óptima por lo cual se debió otorgar permisos de administrador para su correcta ejecución.



**Figura 45.** Resultado de la tercera pregunta de la encuesta

La cuarta pregunta permite conocer si las instrucciones proporcionadas en la herramienta virtual "Sensor Zone" son claras para el usuario, con lo que podemos observar en la Figura 46 que el 44% (8 estudiantes) se encuentran totalmente de acuerdo con la claridad de las instrucciones, el 33% (6 estudiantes) están de acuerdo con la claridad de las instrucciones, el 17% (3 estudiantes) consideran neutrales la claridad de las instrucciones y el 6% (1 estudiante) se encuentra en desacuerdo con la claridad de las instrucciones.

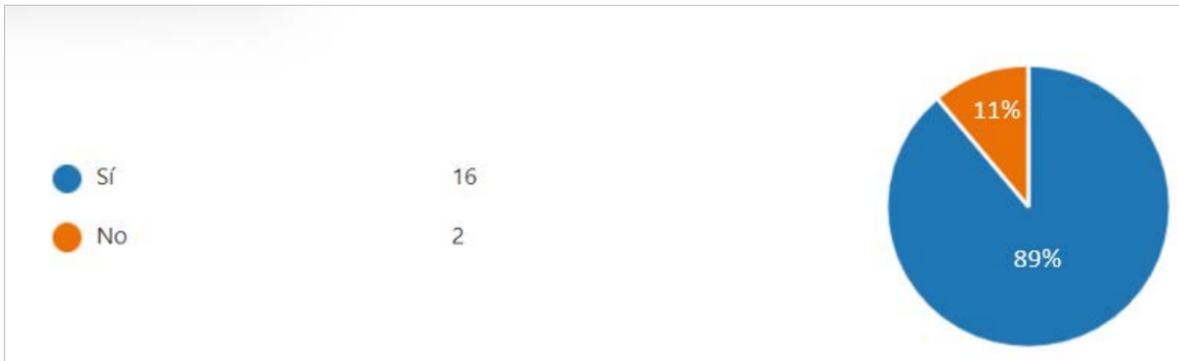
**Tabla 7.** Resultados de las pruebas realizadas acerca de la claridad de las instrucciones

Pregunta N°4	Estudiantes	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	8	44%
De acuerdo	6	33%
Neutral	3	17%
En desacuerdo	1	6%
Totalmente desacuerdo	0	0%



**Figura 46.** Resultado de la cuarta pregunta de la encuesta

La quinta pregunta permite conocer si la simulación de los circuitos de acondicionamiento presentados en la herramienta virtual “Sensor Zone” es clara. En la Figura 47 se muestra que el 89% (16 estudiantes) consideran comprensible la simulación de los circuitos, mientras que el 11% (2 estudiantes) consideran que las simulaciones no son claras.

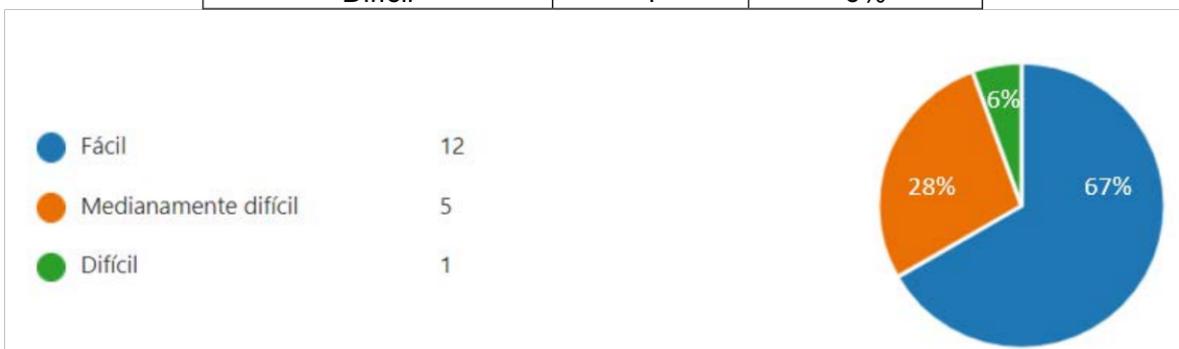


**Figura 47.** Resultado de la quinta pregunta de la encuesta

La sexta pregunta permite conocer la complejidad durante el manejo de la herramienta virtual “Sensor Zone”. En la Figura 48 se muestra que el 67% (12 estudiantes) consideran fácil el manejo de la herramienta, 28% (5 estudiantes) consideran medianamente difícil el manejo de la herramienta y el 6% (1 estudiantes) considera difícil el manejo de la misma.

**Tabla 8.** Resultados de las pruebas realizadas acerca de la complejidad de manejo de la herramienta virtual “Sensor Zone”

Pregunta N°6	Estudiantes	Porcentaje
Fácil	12	67%
Medianamente difícil	5	28%
Difícil	1	6%



**Figura 48.** Resultado de la sexta pregunta de la encuesta

La séptima pregunta permite conocer el tiempo de interacción que tuvieron los encuestados con la herramienta virtual “Sensor Zone”. En la Figura 49 se muestra que el 72% (13

estudiantes) tuvieron una interacción mayor a 30 minutos dentro de la interfaz, el 6% (1 estudiante) interactuaron de 15 a 30 minutos, el 6% (1 estudiante) interactuaron de 5 a 15 minutos y el 17% (3 estudiantes) tuvieron una interacción menor a 5 minutos durante las pruebas realizadas.

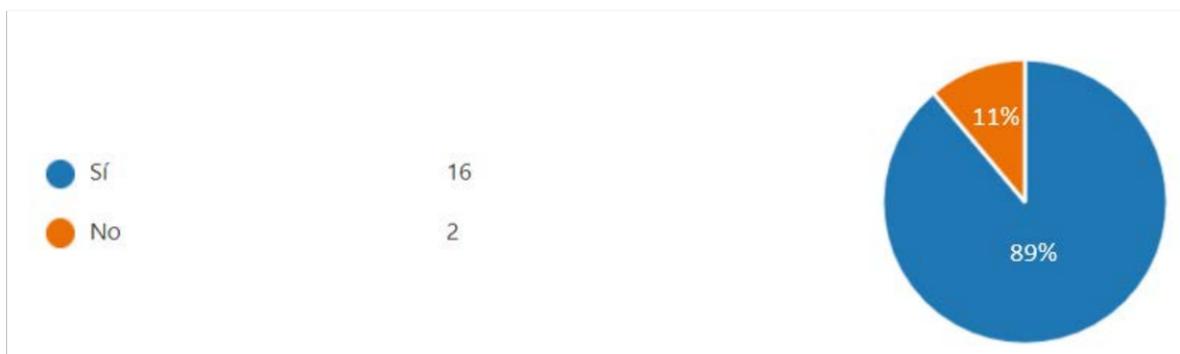
**Tabla 9.** Resultados de las pruebas realizadas acerca del tiempo de interacción en la herramienta virtual “Sensor Zone”

Pregunta N°7	Estudiantes	Porcentaje
Menos de 5 minutos	3	17%
5 minutos a 15 minutos	1	6%
15 minutos a 30 minutos	1	6%
Más de 30 minutos	13	72%



**Figura 49.** Resultado de la séptima pregunta de la encuesta

La octava pregunta permite conocer si los estudiantes encuestados después de su experiencia con la herramienta virtual “Sensor Zone” recomendarían su uso en las prácticas de Sensores y Transductores. En la Figura 50 se muestra que el 89% (16 estudiantes) recomendaría su uso en las prácticas de laboratorio mientras que, el 11% (2 estudiantes) no considera recomendar la herramienta virtual.



**Figura 50.** Resultado de la octava pregunta de la encuesta

La última pregunta de la encuesta se encuentra abierta para que los estudiantes tengan la oportunidad de sugerir ideas que permitan mejorar la herramienta virtual de Instrumentación Virtual “Sensor Zone”. En la Figura 50 se muestran los mismos.

Name	Responses
anonymous	ninguna
anonymous	ninguna
anonymous	Ninguna
anonymous	Ninguna.
anonymous	Mayor detalle en los controles de los circuitos.
anonymous	Utilizar la tecla ESC, para poder salir de las ventanas al igual que el uso de las flechas para desplazarse entre las ventanas de instrucciones
anonymous	Seria mas sencillo ingresar valores por teclado.
anonymous	niguna
anonymous	Añadir un botón de salida rápido, porque caminar hasta la puerta de salida puede ser un poco cansoso
anonymous	sería bueno poder visualizar a los multímetros mientras se varía los potenciómetros por que es un poco molesto tener que regresar a la ventana anterior.
anonymous	Talvez más funciones
anonymous	Un aviso o advertencia si es que se quema o daña algún componente por sobrecarga de corriente, por ejemplo.

**Figura 51.** Resultado de la novena pregunta de la encuesta

De la encuesta se puede concluir que la herramienta virtual “Sensor Zone” permite a los usuarios fortalecer conocimientos teóricos y prácticos referentes a los conceptos que se ven en las prácticas de amplificadores inversor, no inversor, diferencial y de instrumentación AD620. La herramienta virtual brinda una experiencia semejante a la de un laboratorio físico convirtiéndose en un instrumento útil durante las prácticas de laboratorio.

### 3.2 CONCLUSIONES

El objetivo del trabajo de titulación fue cumplido en su totalidad pues se creó un software educativo, el cual se ejecutó mediante el uso del motor de desarrollo Unity 3D lo que permitió el desarrollo de una herramienta funcional para la implementación de un entorno completo para la emulación de un laboratorio.

Se determinó que, previo al desarrollo del proyecto fue necesario realizar una investigación detallada acerca de la teoría que se imparte en las prácticas de laboratorio de la materia de “Sensores y Transductores”, el modelamiento 3D de componentes, la implementación de las distintas escenas dentro de la interfaz y la programación de scripts utilizando el lenguaje de programación C#, para de esta manera realizar el desarrollo de esta interfaz gráfica.

Se logró diseñar una interfaz dentro de la plataforma de Unity 3D, la cual se compone de siete escenas estructuradas donde se demostró la factibilidad del presente proyecto de titulación, permitiendo realizar un análisis sobre el comportamiento, simulación los circuitos de acondicionamiento y una adecuada comprensión del funcionamiento de los mismos.

Mediante el uso de Microsoft Visual Basic como entorno de programación se consiguió la implementación de varias funciones que se aplicaron en el protoboard del circuito inversor, diferencial, no inversor, de instrumentación y puente de Wheatstone, asignación de colores, paso de potenciómetros, entre otros.

Para el diseño de los elementos que conforman las siete escenas de la herramienta virtual, se concluye que es necesario conocer programas especializados en modelado 3D como Autodesk Inventor y Blender los cuales permiten una adecuada interacción con Unity 3D.

Se consiguió diseñar una interfaz gráfica la cual se compone de cuatro prácticas en las que se presenta al usuario información teórica, ecuaciones, ejercicios, comandos de movimiento, instrucciones y principalmente los circuitos de las prácticas a ejecutarse de acuerdo con el PEA del componente práctico de la materia “Sensores y Transductores”.

Se logró comprobar el correcto funcionamiento y tiempo de descarga del software a través de encuestas realizadas con estudiantes de la materia “Sensores y Transductores”. Así mismo se determinaron los inconvenientes durante la descarga y ejecución, complejidad y claridad de la herramienta virtual.

En base a las encuestas realizadas a los estudiantes se concluye que los mismos muestran una alta aceptación a la herramienta virtual “Sensor Zone” debido a la facilidad de manejo y la claridad de las instrucciones de la misma, con lo que se validó la operatividad del software.

La herramienta virtual fue probada exitosamente por usuarios con el sistema operativo de Windows, se logró comprobar que funciona adecuadamente el 94% de las veces, lo cual demuestra una correcta ejecución del software en usuarios de esta plataforma.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

Como trabajo futuro a la herramienta virtual se plantea la posibilidad de incrementar la opción de ingreso de ciertos valores por medio del teclado y también la posibilidad de crear atajos con comandos para acceder a los elementos o salir de la herramienta virtual.

Para el modelado de los componentes 3D es recomendable hacer el diseño de los mismos en una sola plataforma, ya que esto permitirá realizar de manera ágil las modificaciones que se necesiten, dando como resultado elementos con un terminado completo y sofisticado.

Se recomienda también, ampliar la herramienta virtual a otros sistemas operativos como Mac OS X, Linux o a dispositivos como tablets o celulares tomando en cuenta la relación de aspecto de los mismos.

Debido a la situación sanitaria mundial, la educación ha entrado a una modalidad versátil por lo cual la implementación de un software educacional es una herramienta útil y tiene gran importancia tanto para los desarrolladores como para estudiantes y docentes.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. C. Albornoz, «SEDICI,» REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNLP, May 2014. [En línea]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41578>. [Último acceso: Dic 2021].
- [2] R. Chacón, «La instrumentación virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica,» *Acción Pedagógica*, vol. 11, p. 10, 2002.
- [3] J. D. C. Tomalá, *Análisis Comparativo para la Evaluación de Motores de Juegos en el Desarrollo de Juegos Serios*, Loja, 2019.
- [4] Unity, «Múltiples Resoluciones - Unity Manual Documentation,» 2016. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/HOWTO-UIMultiResolution.html>. [Último acceso: Dic 2021].
- [5] Unity, «Escenas - Unity Manual Documentation,» Ago 2016. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/CreatingScenes.html>. [Último acceso: Dic 2021].
- [6] Microsoft, «Información general sobre Visual Studio,» [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022>. [Último acceso: 07 Dic 2021].
- [7] T. Peralta, «Concepto de Microsoft Visual Studio, ¿Qué es y para qué sirve Microsoft Visual Studio?,» KRONOZ, Honduras, 2021.
- [8] Autodesk, «SOFTWARE DE DISEÑO CAD EN 3D,» <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-cad-software>.
- [9] Imasgal Técnica, «Modelado paramétrico con Inventor,» Imasgal Técnica 2021, España, 2021.
- [10] Unity, «¿Cómo importo modelos desde mi aplicación 3D? - Unity Manual Documentation,» 2016. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/HOWTO-importObject.html>. [Último acceso: Dec 2021].
- [11] «Svenska institutet för standarder,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sis.se/produkter/elektronik/motstand/iec600632015/>. [Último acceso: Dic 2021].
- [12] Alldatasheet, «LM741 Datasheet - Texas Instruments,» [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/840177/TI1/LM741.html>. [Último acceso: Dec 2021].

[13] UNIT ELECTRONICS, «Bornera KF301 de 2 / 3 / 4 Pines 5mm Paso B,» [En línea]. Available: <https://uelectronics.com/producto/bornera-kf301-de-2-3-4-pines-5mm-paso-b/>. [Último acceso: Dic 2021].

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Mockup Práctica 1 “Amplificador Inversor”

ANEXO II. Mockup Práctica 2 “Amplificador Diferencial”

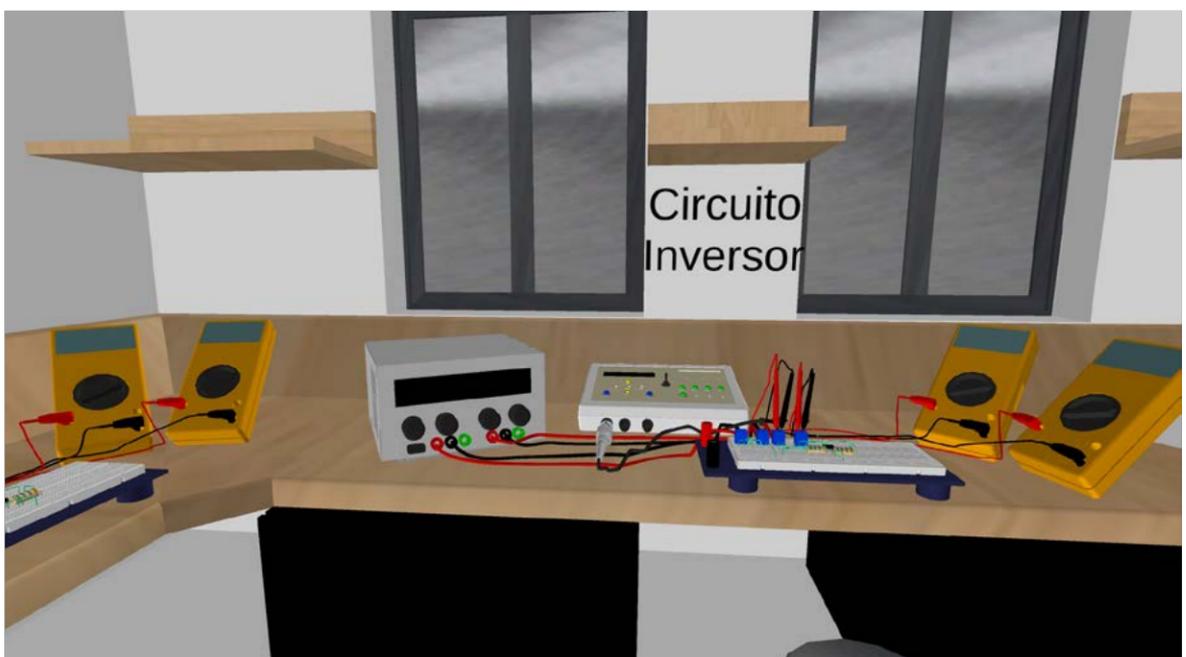
ANEXO III. Mockup Práctica 3 “Amplificador No Inversor”

ANEXO IV. Mockup Práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

## I. Mockup Práctica 1 “Amplificador Inversor”



**Figura 1.** Mockup escena general Laboratorio Virtual



**Figura 2.** Mockup escena uno, práctica 1 “Amplificador Inversor”

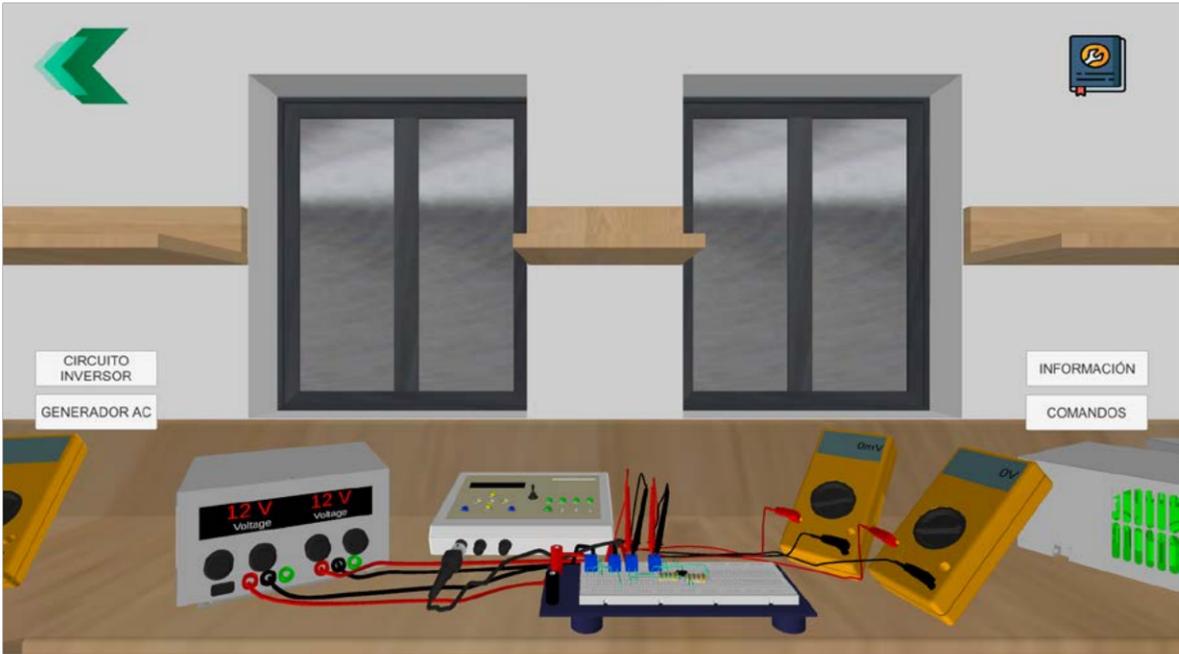


Figura 3. Mockup escena dos, práctica 1 “Amplificador Inversor”

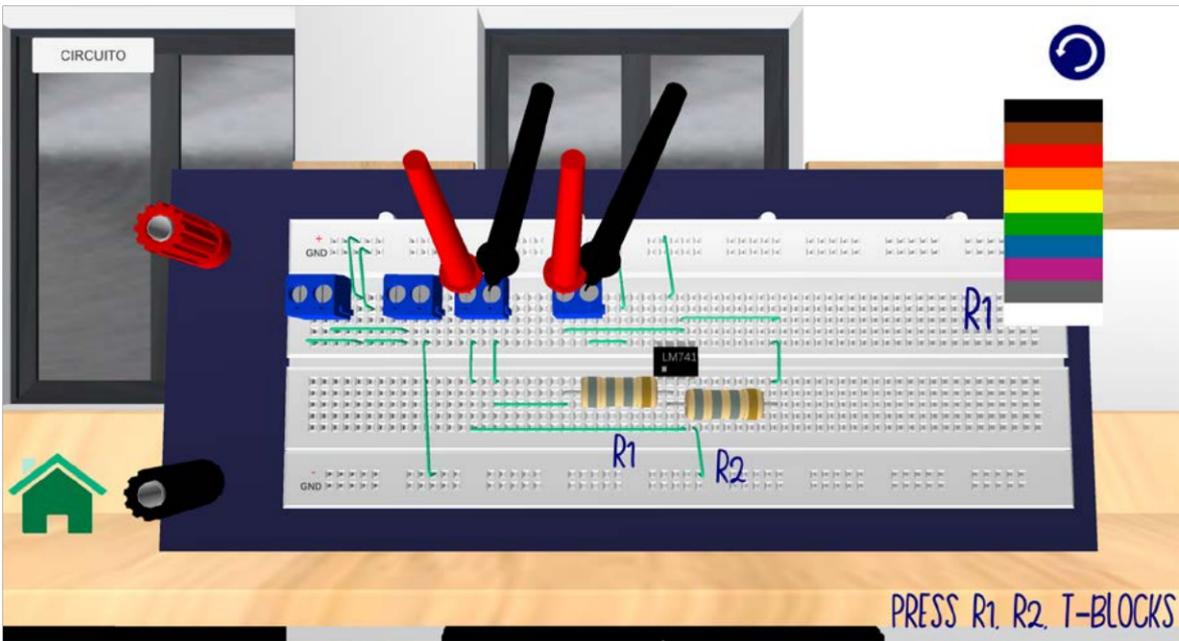


Figura 4. Mockup escena tres, práctica 1 “Amplificador Inversor”

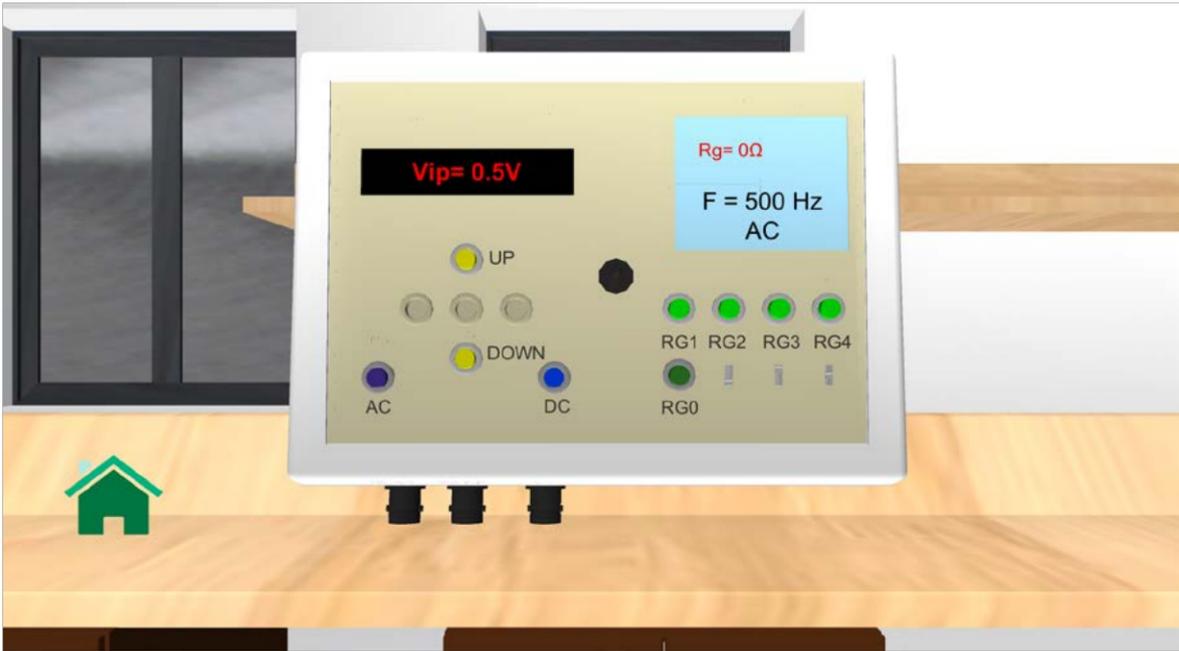


Figura 5. Mockup escena cuatro, práctica 1 “Amplificador Inversor”



Figura 6. Mockup escena cinco, práctica 1 “Amplificador Inversor”



Figura 7. Mockup escena seis, práctica 1 “Amplificador Inversor”

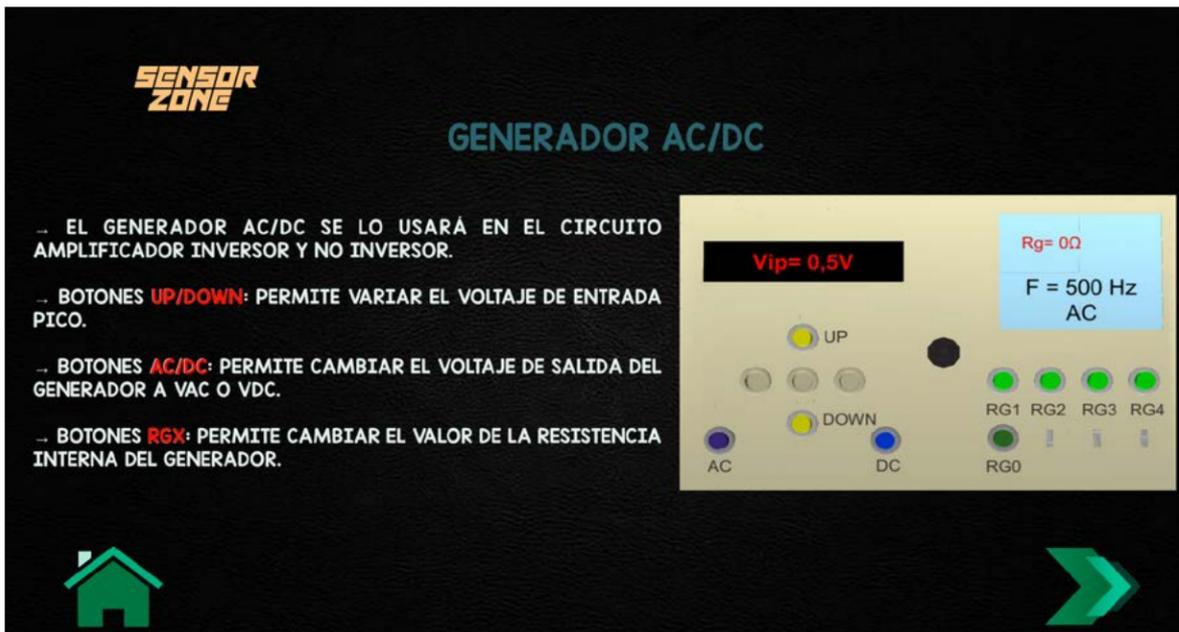


Figura 8. Mockup escena siete, práctica 1 “Amplificador Inversor”

## II. Mockup Práctica 2 “Amplificador Diferencial”

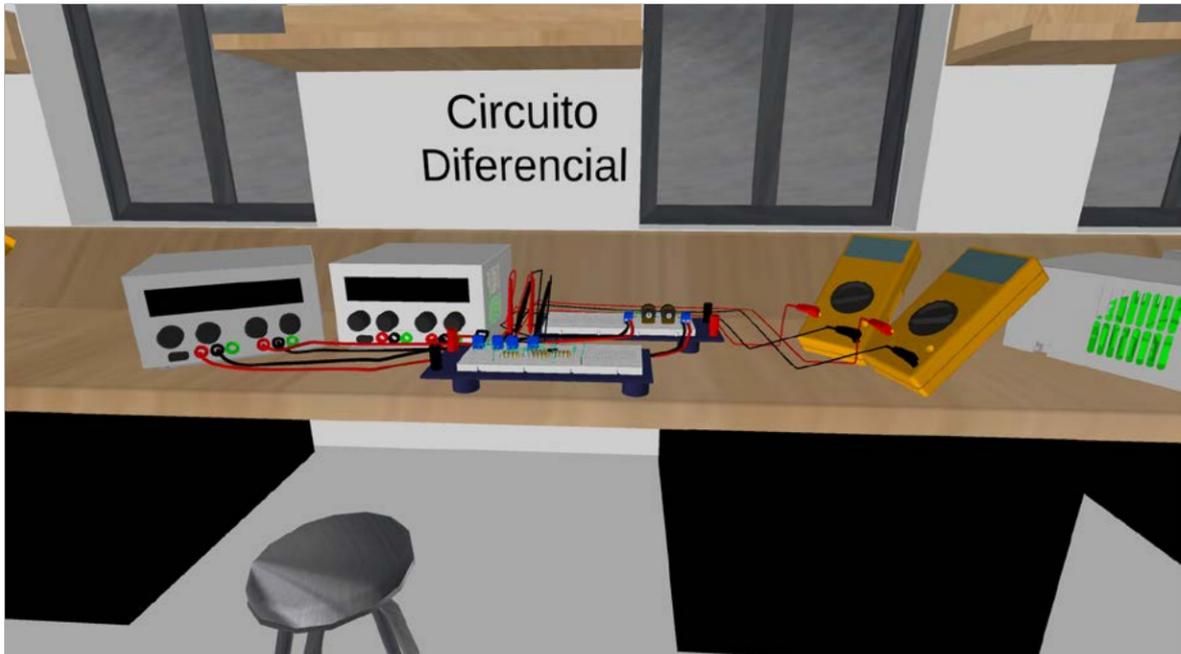


Figura 9. Mockup escena uno, práctica 2 “Amplificador Diferencial”

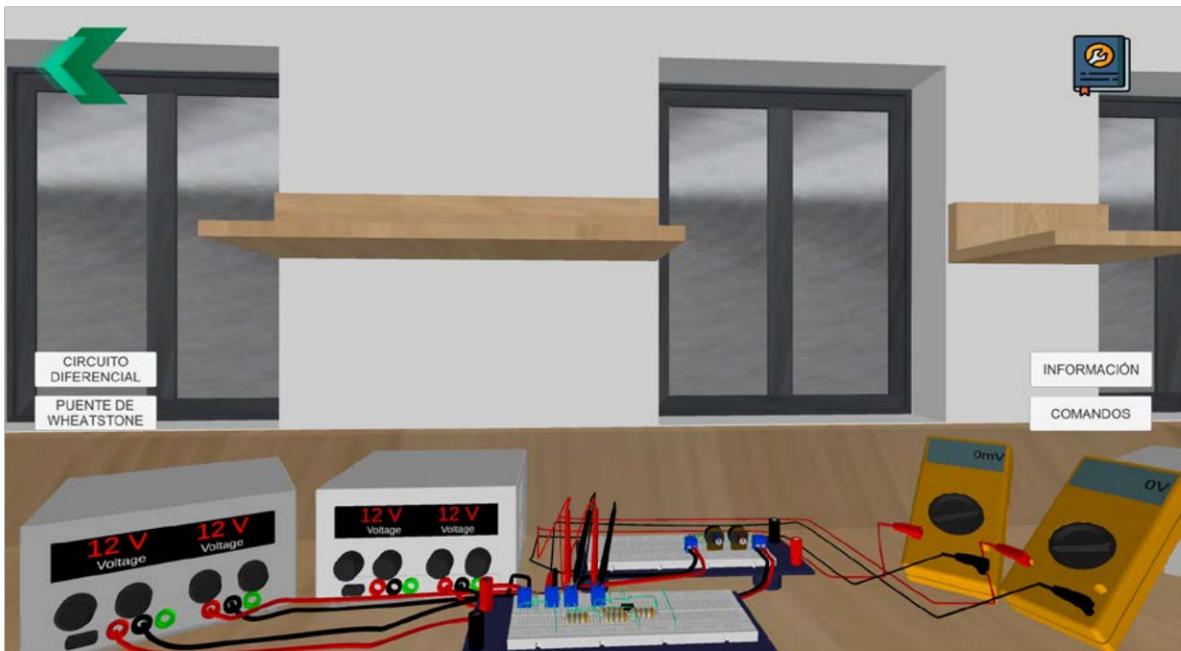


Figura 10. Mockup escena dos, práctica 2 “Amplificador Diferencial”

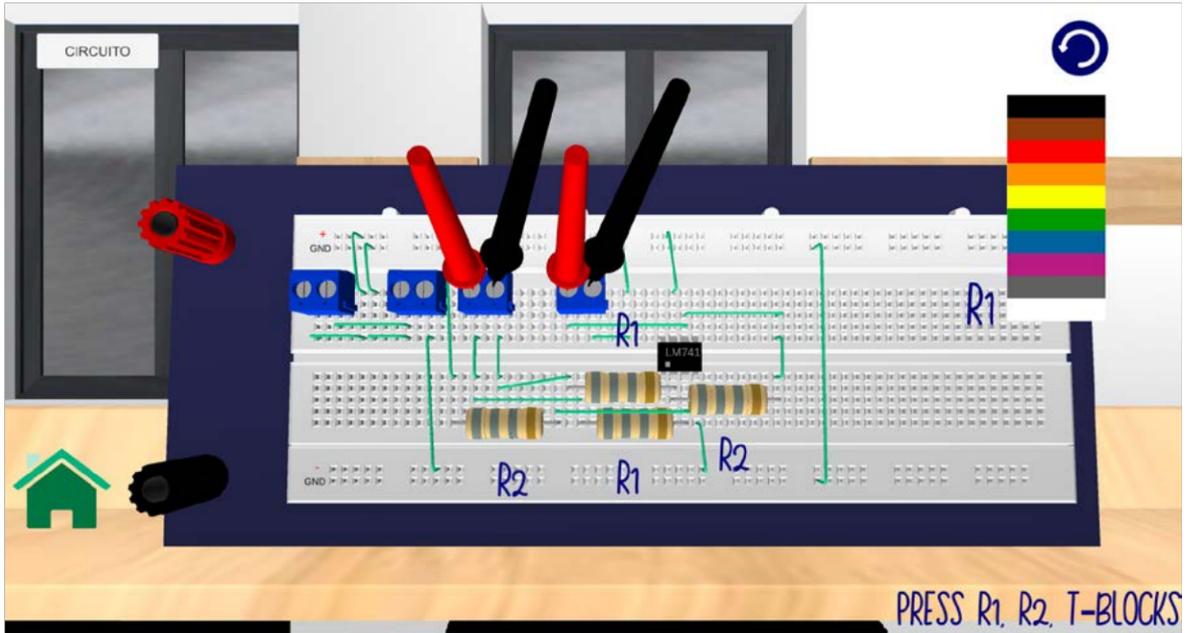


Figura 11. Mockup escena tres, práctica 2 “Amplificador Diferencial”

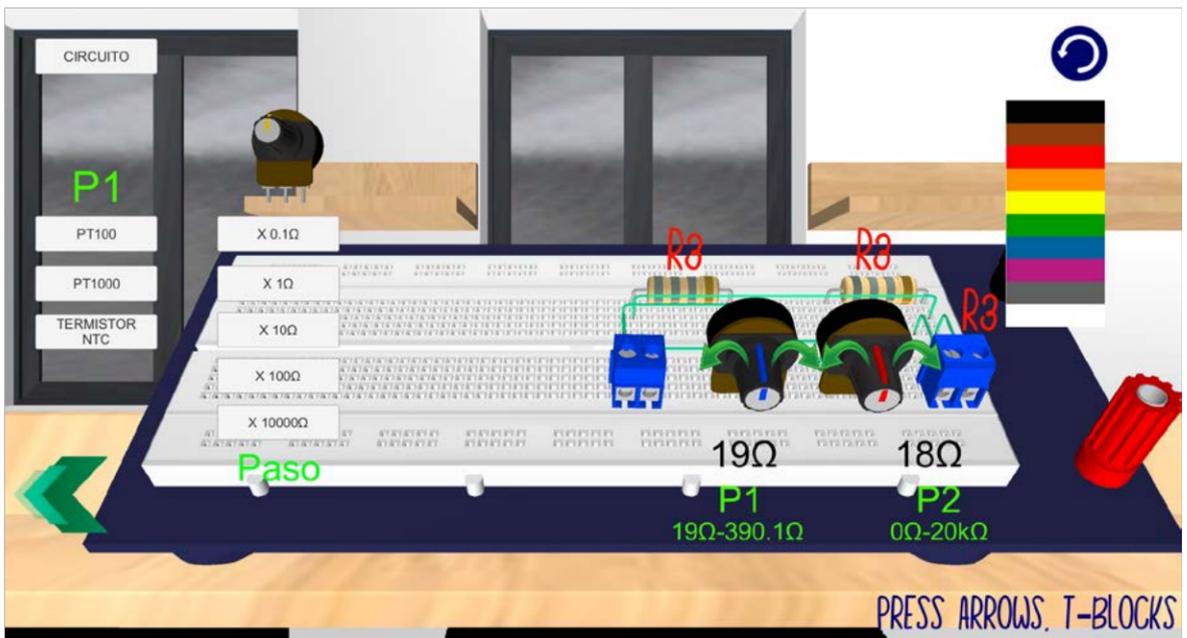


Figura 12. Mockup escena cuatro, práctica 2 “Amplificador Diferencial”



Figura 13. Mockup escena cinco, práctica 2 “Amplificador Diferencial”



Figura 14. Mockup escena seis, práctica 2 “Amplificador Diferencial”



Figura 15. Mockup escena siete, práctica 2 “Amplificador Diferencial”

### III Mockup Práctica 3 “Amplificador No Inversor”

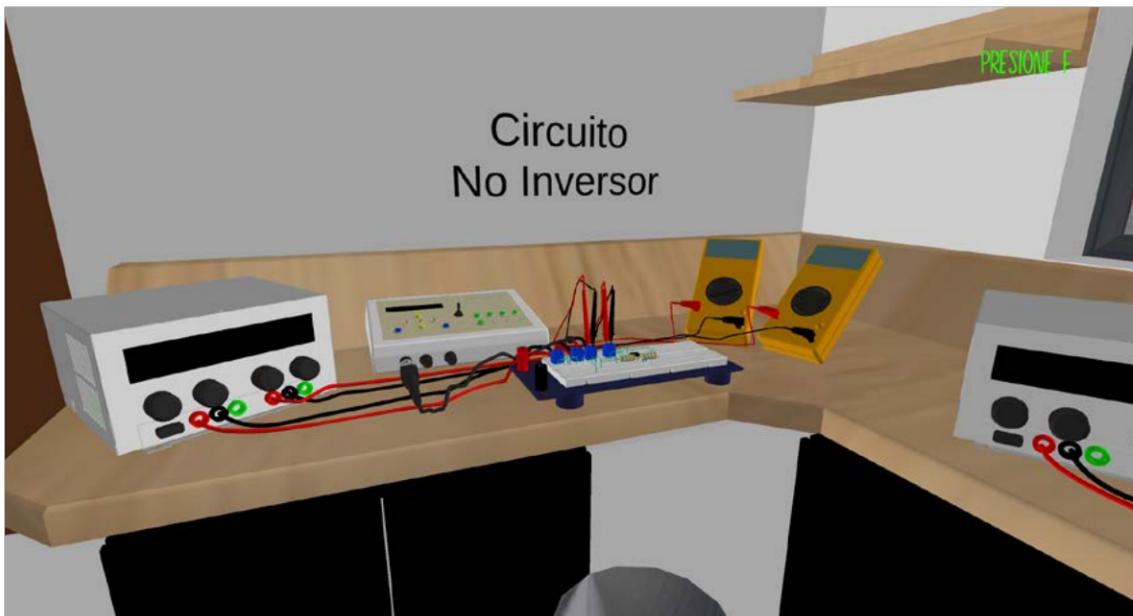


Figura 16. Mockup escena uno, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

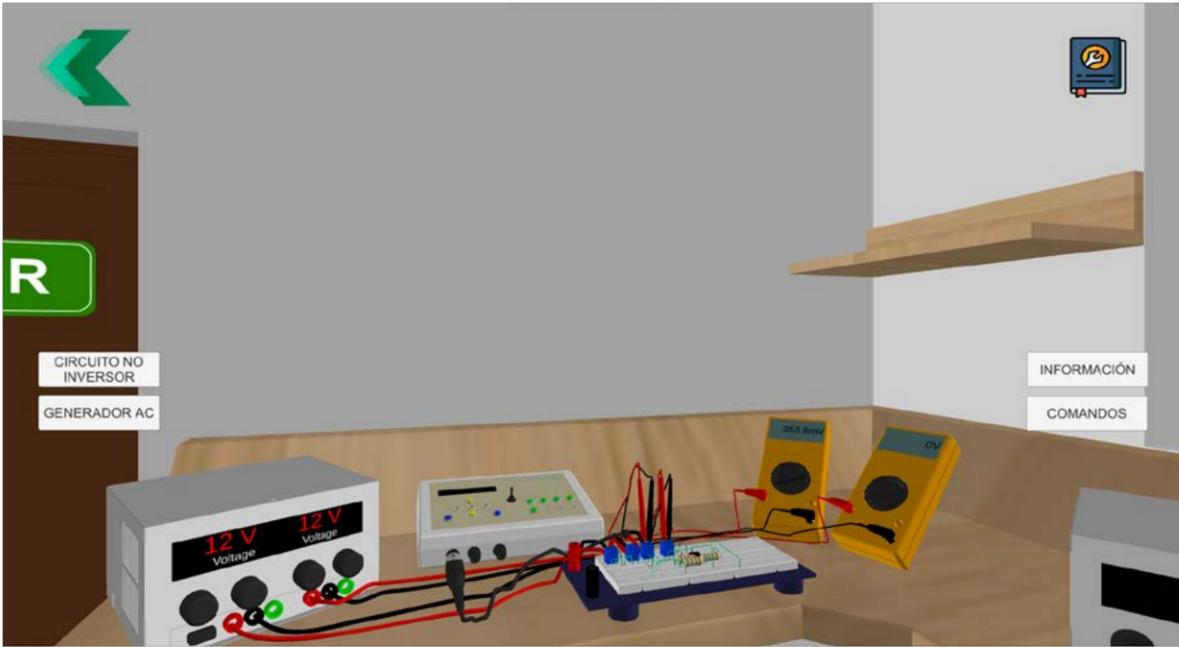


Figura 17. Mockup escena dos, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

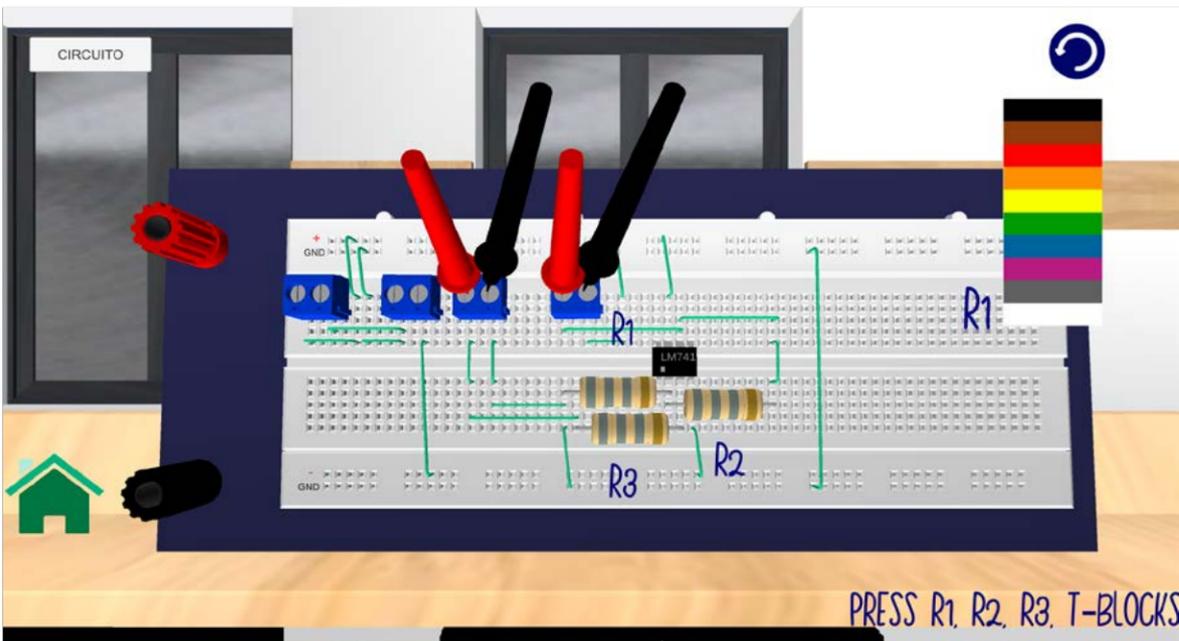


Figura 18. Mockup escena tres, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

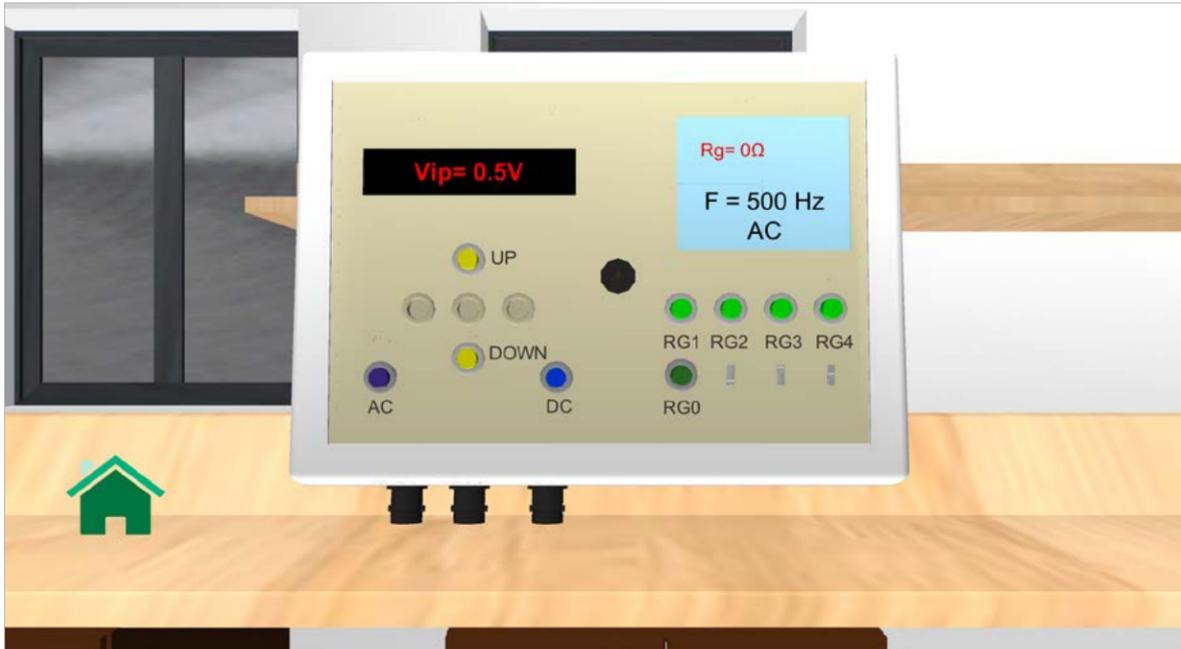


Figura 19. Mockup escena cuatro, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

**SENSOR ZONE**

## AMPLIFICADOR NO INVERSOR

I. OBJETIVOS

- IDENTIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE UN AMPLIFICADOR NO INVERSOR
- COMPRENDER EL EFECTO QUE SE PRODUCE AL TENER UN VALOR CONSIDERABLE DE RESISTENCIA INTERNA EN EL GENERADOR



Figura 20. Mockup escena cinco, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

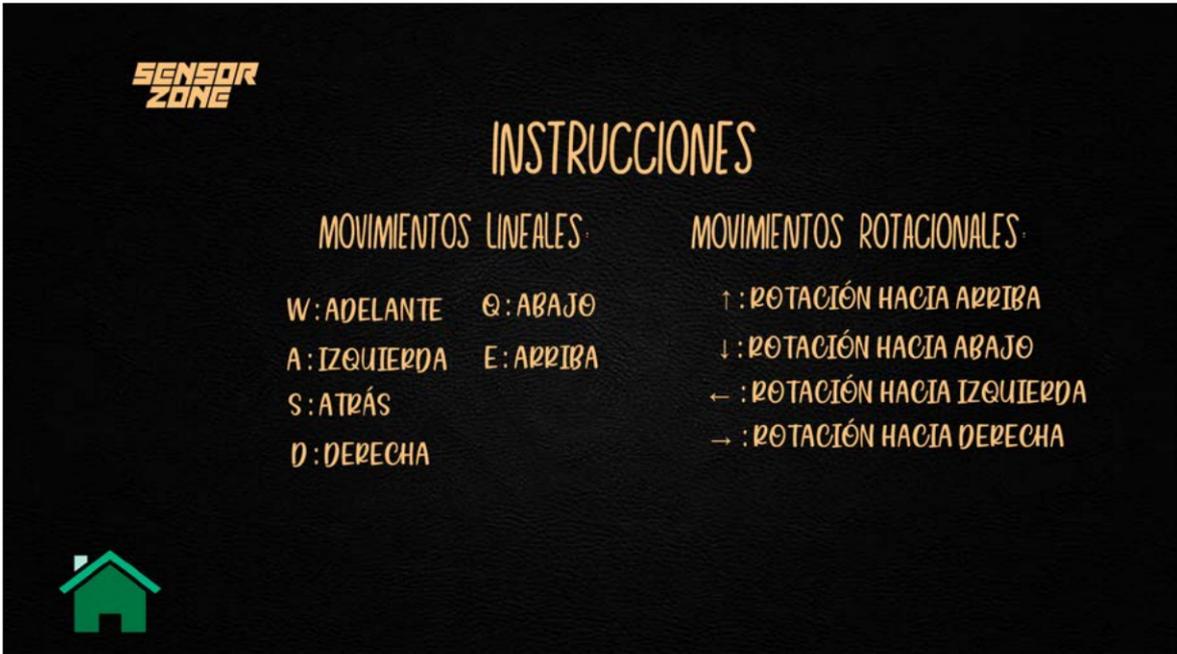


Figura 21. Mockup escena seis, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

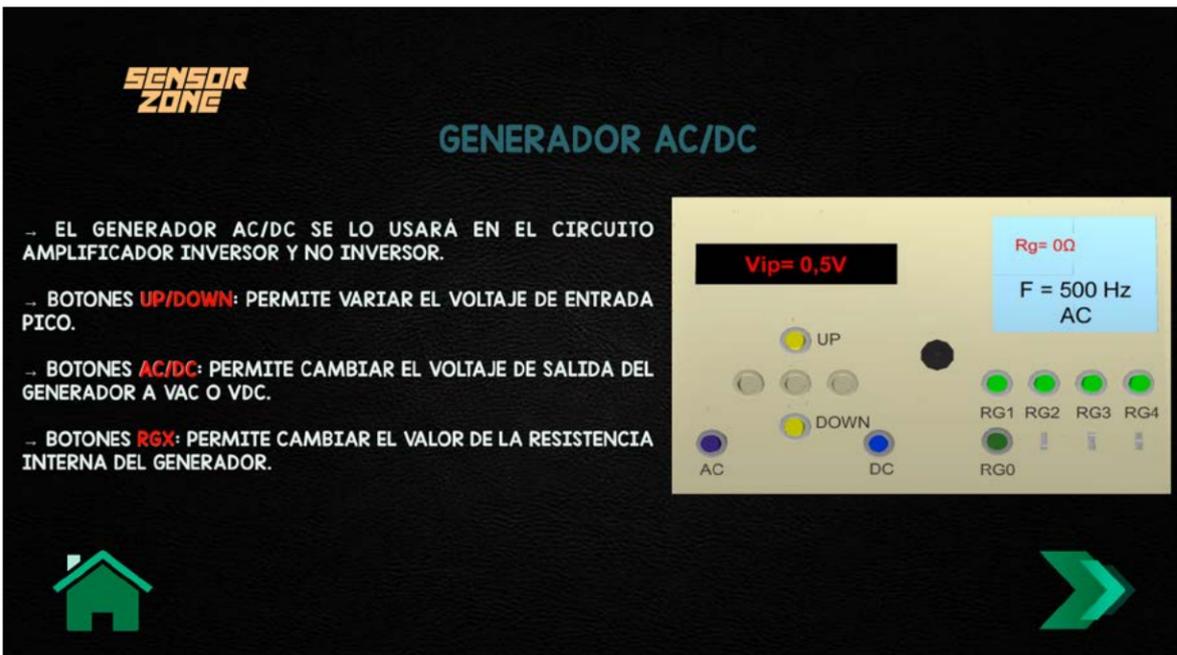


Figura 22. Mockup escena siete, práctica 3 “Amplificador No Inversor”

#### IV. Mockup Práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

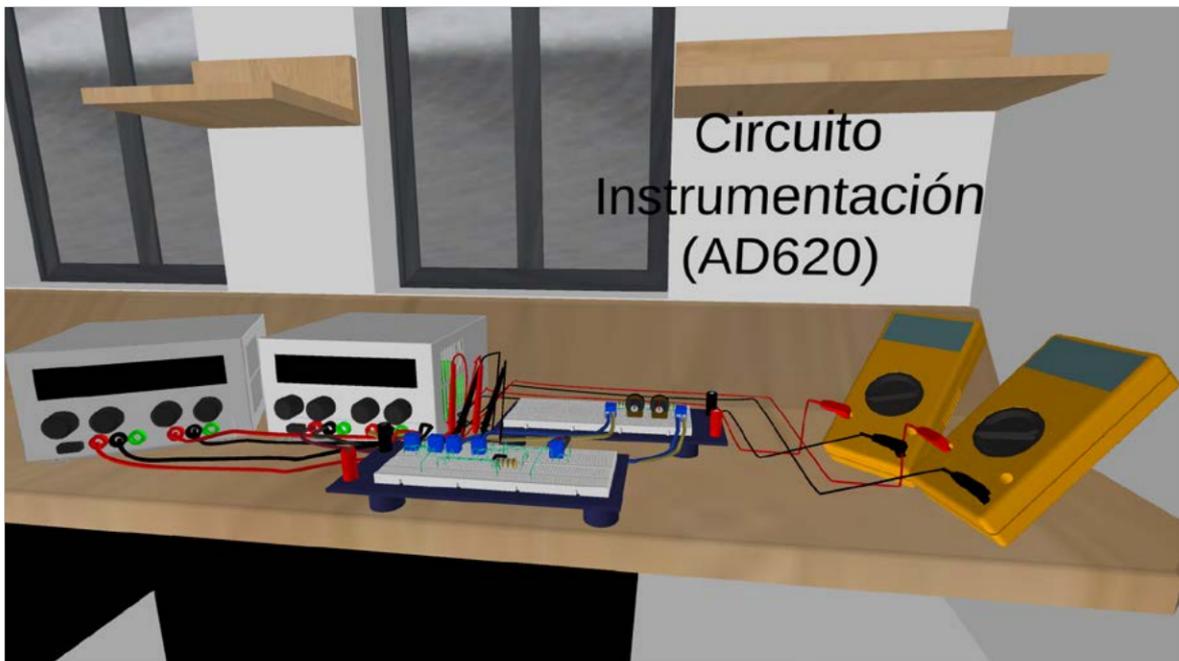


Figura 23. Mockup escena uno, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

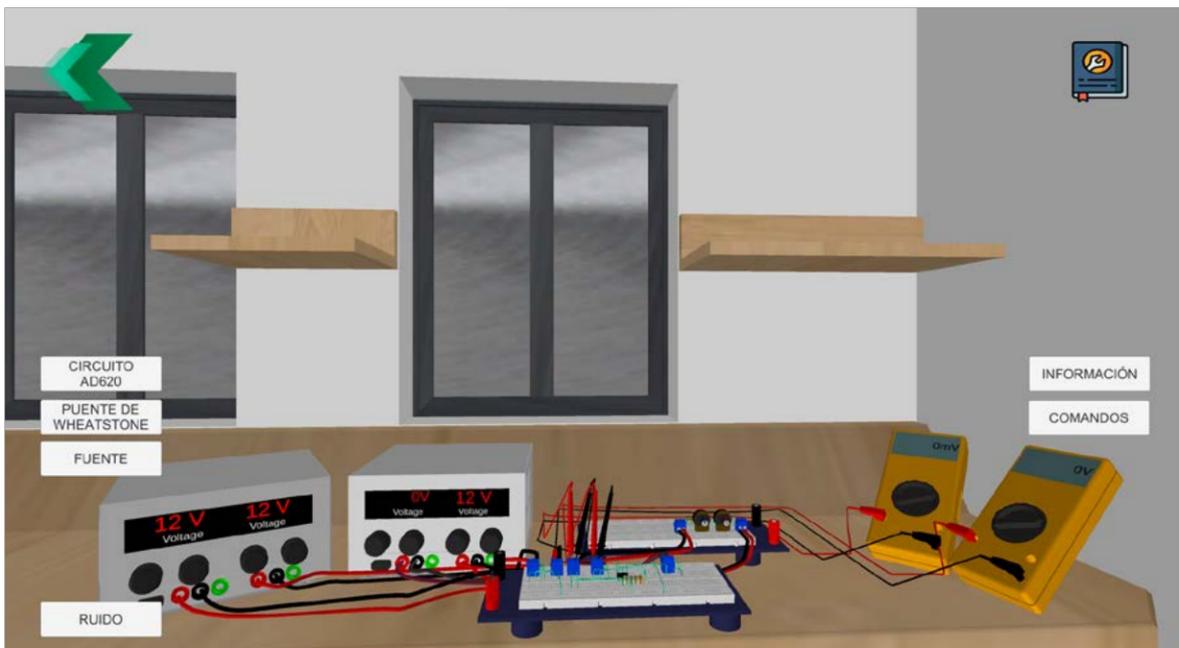


Figura 24. Mockup escena dos, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

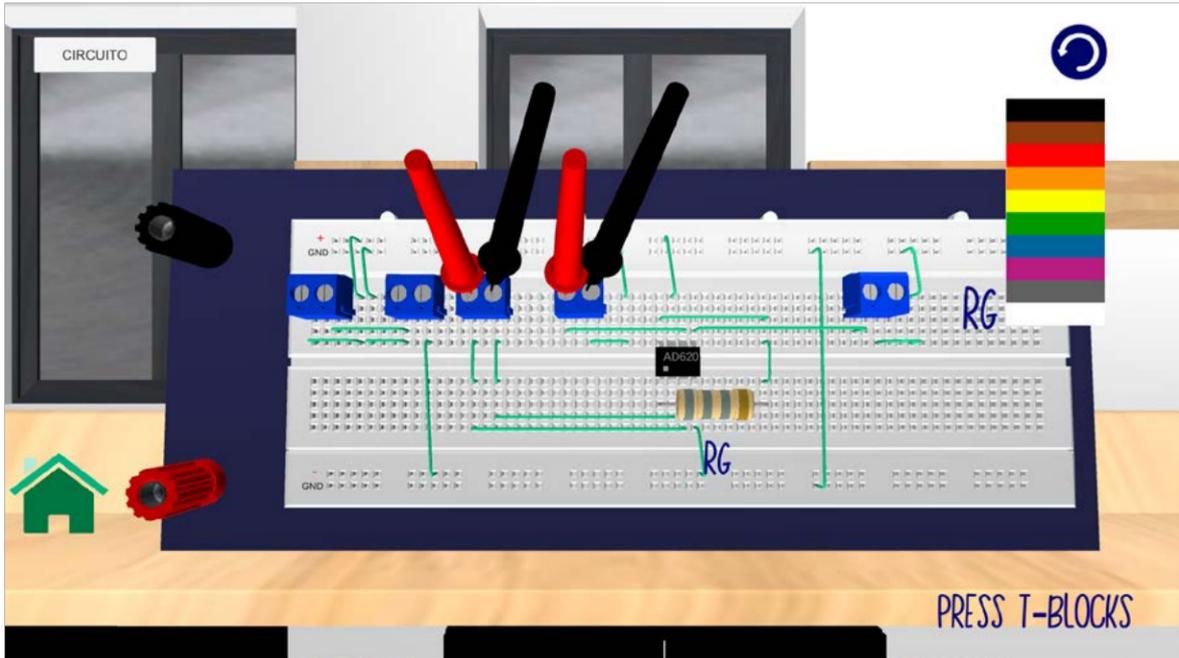


Figura 25. Mockup escena tres, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

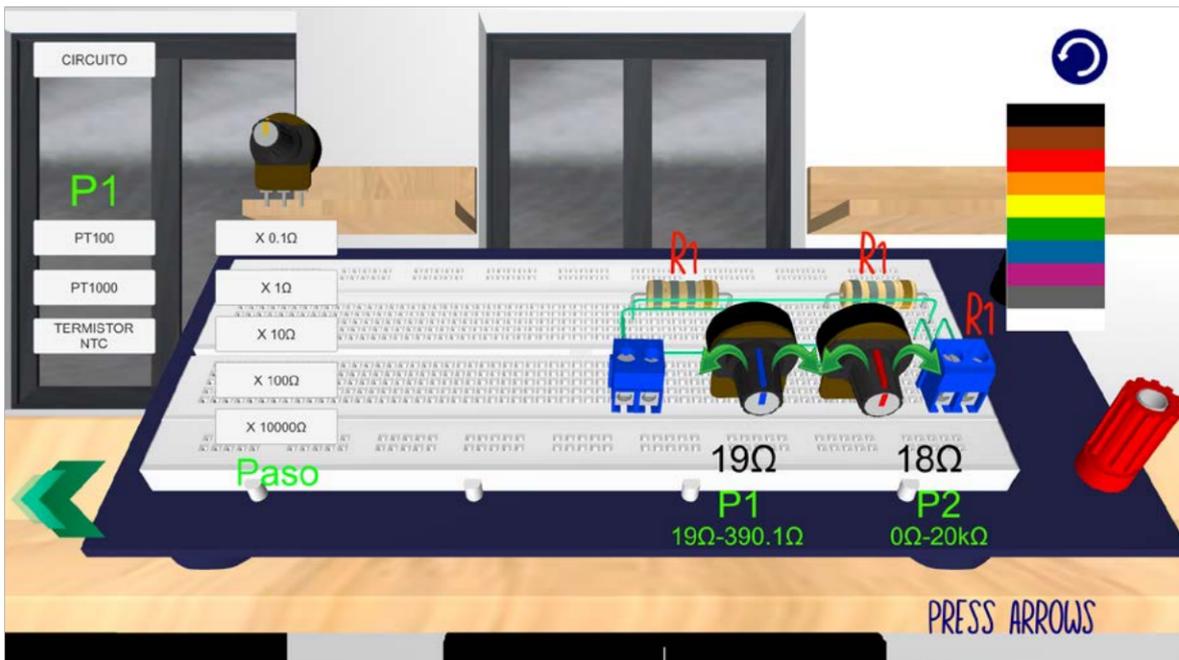


Figura 26. Mockup escena cuatro, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”



Figura 27. Mockup escena cinco, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”



Figura 28. Mockup escena seis, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”



Figura 29. Mockup escena siete, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”

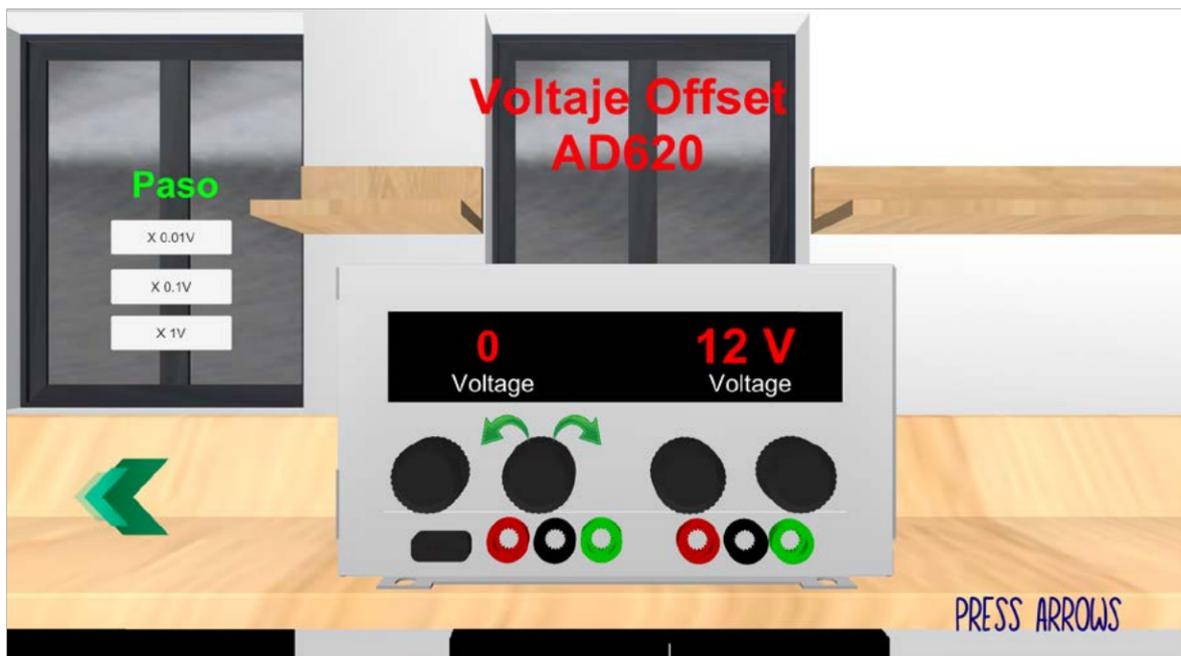
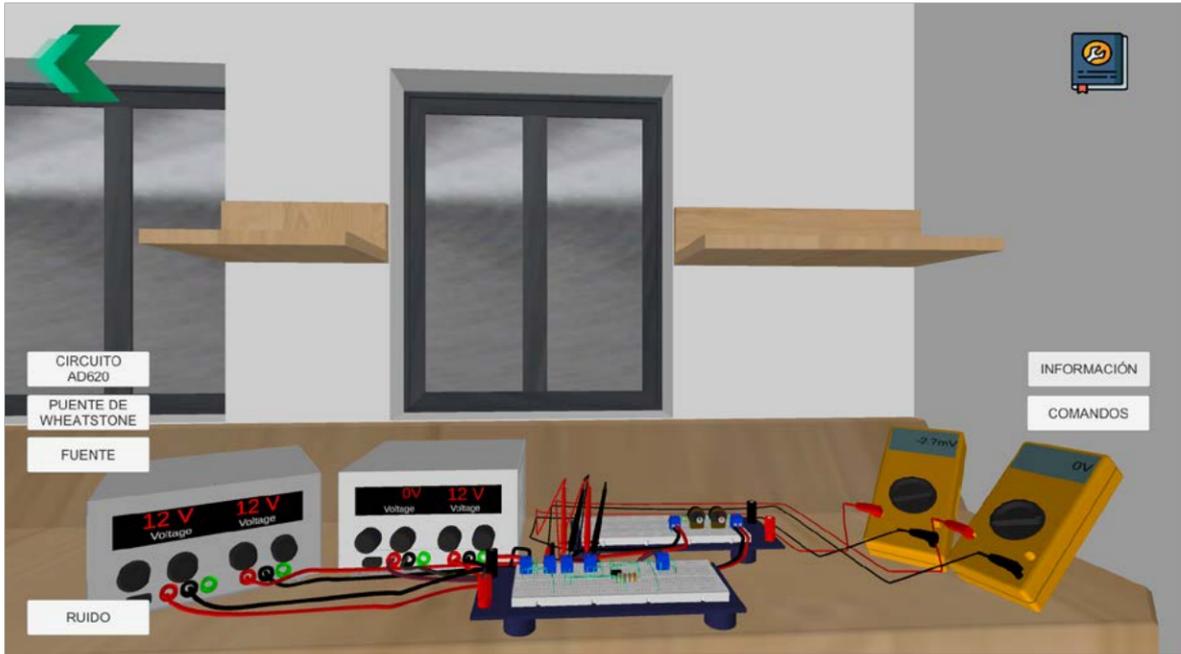


Figura 30. Mockup escena ocho, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”



**Figura 31.** Mockup escena nueve, práctica 4 “Amplificador de Instrumentación AD620”