

# **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 II**

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

**LUIS ALBERTO PACHECO RENTERÍA**

**[luispachecorent@outlook.com](mailto:luispachecorent@outlook.com)**

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

**[ana.rodas@epn.edu.ec](mailto:ana.rodas@epn.edu.ec)**

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, LUIS ALBERTO PACHECO RENTERÍA 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.



**LUIS ALBERTO PACHECO RENTERÍA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por LUIS ALBERTO PACHECO RENTERÍA, bajo mi supervisión.

**ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR, MBA**  
**DIRECTOR**

## **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.

LUIS ALBERTO PACHECO RENTERÍA

ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR, MBA

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi papi Agustín que en paz descansa.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi mami Betty por todo su esfuerzo, dedicación, apoyo y confianza que puso en mí. A mi mami Celeste le agradezco por apoyarme y quererme cómo un hijo más. A mis tíos Oscar y Anita les doy las gracias por darme un lugar en su familia y cuidarme, así mismo a mis primos Samuel y Matías por quererme cómo un hermanito más.

A toda mi familia les doy las gracias por sus consejos y motivaciones, a mis amigos por ayudarme en los momentos que más los necesite.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE .....	3
1.4 MARCO TEÓRICO.....	4
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 DISEÑO DE ELEMENTOS 3D.....	9
2.1.1 AUTODESK INVENTOR .....	10
2.1.2 BLENDER.....	15
2.1.3 ENSAMBLAJE DE PRÁCTICAS.....	16
2.2 DISEÑO VIRTUAL .....	17
2.2.1 PRESENTACIÓN .....	18
2.2.2 PROGRAMACIÓN.....	21
2.2.3 CIRCUITO AMPLIFICADOR INVERSOR.....	24
2.2.4 CIRCUITO AMPLIFICADOR DIFERENCIAL .....	25
2.2.5 CIRCUITO AMPLIFICADOR NO INVERSOR.....	27
2.2.6 CIRCUITO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620.....	35
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
3.1 RESULTADOS.....	43
3.1.1. CIRCUITO AMPLIFICADOR NO INVERSOR.....	44
3.1.2. CIRCUITO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620.....	45
3.2 CONCLUSIONES.....	55
3.3 RECOMENDACIONES .....	56
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## RESUMEN

La pandemia del Covid-19 nos apartó de una parte fundamental de la ingeniería que son los componentes prácticos, dando como resultado una virtualidad forzada. El presente trabajo busca de alguna manera solventar esta falencia al permitir que los estudiantes de la materia de Sensores y Transductores puedan tener una herramienta que posibilite una interacción de un laboratorio 3D. La herramienta virtual de instrumentación desarrollada cuenta con circuitos como el “circuito amplificador Inversor” y el “circuito amplificador de Instrumentación (AD620)”, para que los alumnos conozcan y se familiaricen con las conexiones y la implementación de dichas prácticas de laboratorio de forma física virtual y su respuesta visualizándola por medio de equipos de medición como es el multímetro, tal y como se realizan de forma presencial. La interacción con esta herramienta permitirá que los estudiantes asimilen los conocimientos de una forma didáctica y a su vez estén preparados para la implementación física de los mismos.

Para la elaboración de esta herramienta se utilizaron: Autodesk Inventor 3D, para la construcción de elementos 3D como las resistencias, fuentes, cables; Unity 3D como motor de desarrollo y Microsoft Visual Studio como soporte de compilación de scripts.

Gracias a todas las aplicaciones se logró obtener la interfaz denominada “Sensor Zone”.

**PALABRAS CLAVE:** Sensores y transductores, Unity 3D, Inventor 3D, Microsoft Visual Studio, herramienta virtual de instrumentación, Sensor Zone.

## ABSTRACT

The Covid-19 pandemic has separated us of one of the fundamental parts of the engineering that is the practical components, resulting in a forced virtuality. The present work wants in some way solve this issue letting to the Sensors and Transducers subject's students could have a tool that allow them to interact with an 3D laboratory. The instrumentation virtual tool developed has circuits like the "Inverter amplifier circuit" and the "Instrumentation amplifier circuit (AD620)", allowed students know and get acquainted with the connections and the implementation of laboratory practices in a physical virtual way and their answers visualizing it through measuring equipment like the multimeter, just like it is done in a real laboratory. The interaction with this tool will allow students to assimilate the knowledge in a didactic way and also, they will be prepared for its physical implementation.

For the development of this tool, it was used: Autodesk Inventor 3D, for the 3D elements construction like resistors, sources, cables; Unity 3D as a development engine and Microsoft Visual Studio as a script compilation support.

Thanks to all of the applications mentioned above, it was possible to obtain the interface called "Sensor Zone".

**KEYWORDS:** Sensors and transducers, Unity 3D, Inventor 3D, Microsoft Visual Studio, virtual instrumentation tool, Sensor Zone.



# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a la pandemia SARS-CoV-2 se experimentan fuertes cambios, específicamente en el área de la educación se cambió el tipo de enseñanza y se pasó de la enseñanza presencial a la enseñanza virtual, lo que ha evidenciado vacíos dentro de la formación profesional. Es por ello que, con el fin de mitigar estos vacíos se ha pensado en una solución que contempla la creación de una herramienta de instrumentación virtual, la cual pueda ser utilizada en el laboratorio de Sensores y Transductores de la Escuela Politécnica Nacional para permitir al estudiante familiarizarse con los componentes necesarios para la implementación de los circuitos utilizados para acondicionar sensores.

Para implementar esta herramienta se trabajó con diferentes entornos que faciliten la creación de interfaces 3D tal como “Unity 3D”, el mismo que se desenvuelve como un motor de desarrollo en conjunto con “Microsoft Visual Studio” que es un ejecutor de compilación de scripts en lenguaje C#, Autodesk Inventor y Blender que permiten la elaboración de los elementos 3D.

Para iniciar con la implementación de la herramienta virtual, se definieron primero las temáticas y los ejercicios a implementar para la materia de Sensores y Transductores, los cuales se refieren a las prácticas iniciales que los estudiantes implementaban de manera real en el laboratorio, los cuales son: “Circuito Amplificador no inversor” y “Circuito Amplificador de instrumentación utilizando el amplificador operacional AD620”.

Dentro del primer ejercicio “Circuito Amplificador no inversor” se determinó que los estudiantes deben poder reconocer y cambiar los valores de las resistencias utilizadas en el circuito a implementar, cambiar los valores del voltaje pico de un generador de voltaje AC/DC, la resistencia interna y la salida de señal alterna o continua. A partir de esto se creó una interfaz en donde se tienen botones para redireccionar a la ventana de información, comandos e indicaciones de la práctica.

En el segundo ejercicio “Circuito Amplificador de instrumentación AD620” se utiliza un “Circuito Puente de Wheatstone” en el cual se simula el comportamiento de un sensor resistivo cuyas salidas serían similares a las de un PT100, PT1000 y Termistor. La salida de este circuito ingresa al amplificador de instrumentación en el cual se tiene la opción de modificar el voltaje offset y generar ruido a la entrada con el fin de observar el comportamiento del sistema. De manera similar al ejercicio anterior se tiene botones que redireccionan a información, comandos e indicaciones de la práctica implementada.

Los dos ejercicios mencionados anteriormente, se los puede encontrar en una sala de laboratorio 3D, la cual permite tener una interacción con el usuario. Hay que destacar que se realizó la programación para que el usuario interactúe en primera persona y puede recorrer las instalaciones del entorno implementado.

## **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. Contrarrestar 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 un análisis bibliográfico 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, 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 Visual Studio.
- 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 contrastará 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 realizarán pruebas de validación del funcionamiento, estructura y pertinencia del software por al menos dos docentes afines.

## 1.4 MARCO TEÓRICO

Previo a planear la problemática se dará a conocer los términos y definiciones que se utilizarán a lo largo del desarrollo de la herramienta virtual, así como también se detallará y comparará las diferentes aplicaciones que permitieron la elaboración, construcción y ejecución de este proyecto.

### INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

La instrumentación virtual es considerada un instrumento que no es real, pero cuenta con la facilidad de ejecutarse en un entorno computacional y sus funciones son definidas por programación. [1]

Este concepto forma parte de la herramienta “Sensor Zone” desarrollada, la misma que cuenta con una interfaz 3D de un laboratorio y tiene la posibilidad de interactuar y modificar elementos del componente práctico de la materia de “Sensores y Transductores”. Los circuitos a desarrollar fueron “Circuito amplificador no inversor” y “Circuito amplificador de instrumentación AD620”.

Para la implementación del entorno virtual se buscaron los mejores mecanismos y funcionalidades que presentan los diferentes entornos de programación y permiten la elaboración de este tipo de herramientas de instrumentación virtual y su operabilidad.

### MOTORES DE DESARROLLO

**Tabla 1.** Tabla comparativa de “Motores de Desarrollo”.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Unity 3D	Se considera como uno de los mejores motores de desarrollo 2D y 3D.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se puede trabajar para entornos 2D o 3D.</li><li>- Cuenta con Asset Store, es una tienda de complementos.</li><li>- Es multiplataforma.</li><li>- Cuenta con una comunidad para dar soporte al desarrollador.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ocupa mucho espacio para los proyectos</li><li>- Utiliza muchos recursos computacionales.</li></ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuenta con versión gratuita con muy pocas limitaciones. [2]</li> </ul>	
GameMaker	Es un motor de desarrollo netamente 2D con algunas funcionalidades 3D.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tweenline como su tienda de assets. [3]</li> <li>- Cuenta con una comunidad en Discord.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es especializado para 2D.</li> <li>- Cuenta con licencia gratuita, pero es muy limitada.</li> <li>- Sólo soporta GML.</li> </ul>
Construct	Es un motor de desarrollo 2D que no requiere programación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ideal para equipos con pocos recursos computacionales. [4]</li> <li>- Es optimizado para desarrollos WEB.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es sólo especializado para juegos 2D.</li> <li>- Cuenta con versión gratuita, pero es muy limitada.</li> </ul>

Luego de la comparación se escogió como motor de desarrollo Unity 3D el cual necesita de un software adicional para escribir, ejecutar y compilar los scripts que permiten dar animación a la herramienta de instrumentación virtual a desarrollar.

## ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

**Tabla 2.** Tabla comparativa de “Entornos de Programación”.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Microsoft Visual Studio	Es un IDE (entorno de desarrollo integrado) que cuenta con su extensión a Unity 3D.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuenta con su versión gratuita.</li> <li>- Maneja un sin número de lenguajes de programación como C#, C, C++, Java, Python, otros. [5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El soporte es pobre para la programación orientada a objetos.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene actualizaciones muy a menudo.</li> <li>- Tiene extensión para enlazarse con Unity 3D.</li> <li>- Encuentra errores.</li> <li>- Da posibles soluciones al escribir código.</li> </ul>	
MonoDevelop	Es un IDE (entorno de desarrollo integrado).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es libre y gratuito</li> <li>- Diseñado para lenguaje C# y otros lenguajes. [6]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se descontinuo la extensión de enlace con Unity 3D</li> <li>- No visualiza los errores.</li> </ul>

Para hacer la compilación de los scripts en Unity 3D se selecciona un IDE de la tabla 1. La mejor opción es “Microsoft Visual Studio” por su extensión y compatibilidad con Unity 3D, además se puede constatar que, al generarse un error de escritura del script, el mismo programa da un apoyo y soporte para realizar correcciones y dar posibles soluciones.

El lenguaje de programación nos permite la interacción entre “Microsoft Visual Studio” y “Unity 3D”. El lenguaje a usar es C# porque es una combinación del lenguaje ANSI C y la programación orientada a objetos (POO) y la extensión que cuenta esta IDE tiene un sin número de funciones que nos da una operatividad simplificada al momento de la programación de scripts.

### ENTORNO DE MODELADO 3D

**Tabla 3.** Tabla comparativa de “Entornos de Modelado 3D”.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AutoDesk Inventor	Considerado como un paquete de modelado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene su versión gratuita para estudiantes y profesores por un</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizan sus bocetos en 2D.</li> </ul>

	paramétrico para sólidos 3D	<p>tiempo de 1 año renovable. [7]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe bastante información en foros, blogs, youtube y otros.</li> <li>- Se tiene acceso a todos los módulos.</li> <li>- Se puede exportar a extensión “.obj”</li> </ul>	
Blender	Es un programa dedicado para el modelado, la renderización, animación de gráficos 3D. [8]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un software libre y gratuito.</li> <li>- Existe bastante información cómo tutoriales en diferentes plataformas.</li> <li>- No requiere de muchos recursos computacionales.</li> <li>- Cuenta con gran variedad de opciones para el modelado.</li> </ul>	- Su funcionalidad falla con polígonos de más de 4 lados.
Fusion 360	Es un programa para el modelado 3D, CAD y otros que se basa en la nube.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se basa en la nube</li> <li>- Unifica la parte de diseño, fabricación e ingeniería. [9]</li> <li>- Exporta a formatos como “.stl”, “.obj” y otros.</li> </ul>	- Es un software de pago.
SolidWorks	Es un programa de modelado 2D y 3D en CAD.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrae planos técnicos</li> <li>- Extrae información de la pieza construida en 3D. [10]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un software de pago.</li> <li>- Requiere de muchos recursos computacionales.</li> </ul>

		- Extrae planos isométricos.	- Es un motor de renderizado un poco limitado. - Tiempo para elaboración muy elevado.
--	--	------------------------------	--

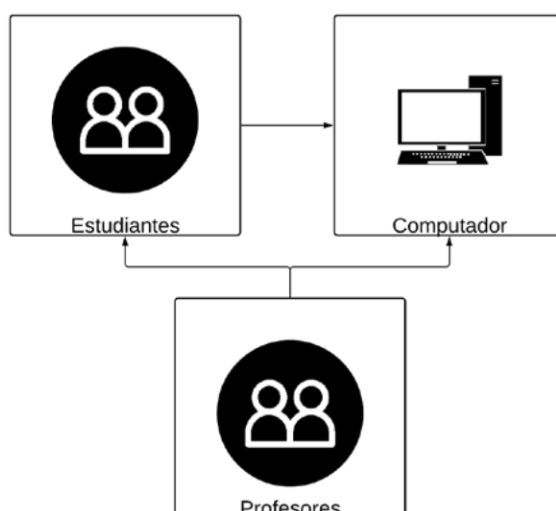
Para seleccionar el entorno de modelado 3D se buscó uno que sea gratuito o con licencia de estudiante, además de que tenga algún formato reconocible por "Unity 3D". Es por ello que se realizó la comparación en la tabla 3. dando como mejor resultado el "AutoDesk Inventor". En este software se realizó la mayoría de los elementos 3D y ensamblaje de circuitos, pero se necesita de un software adicional que permita una maleabilidad para la construcción de cables y para ello también se ocupa la aplicación "Blender".



## 2 METODOLOGÍA

Al empezar la pandemia del COVID-19 las universidades tuvieron que replantear sus planes de estudio llevando a todos los estudiantes a una educación virtual, pero con ello se venían serias repercusiones como la falta del componente práctico; es allí en dónde nace el planteamiento de crear una herramienta de instrumentación virtual y ayudar a nuestros compañeros a familiarizarse con un entorno virtual físico.

La herramienta de instrumentación virtual planteada cuenta con 3 componentes como lo indica la Figura 1: el computador, los estudiantes y los profesores. El primer componente servirá para la elaboración de la herramienta con ayuda de softwares especializados, el segundo componente será nuestro usuario final quien dará uso a la interfaz implementada y el tercer componente es el encargado de revisar y realimentar a los estudiantes.



**Figura 1.** Componentes

Para el desarrollo de las prácticas será necesario crear los elementos virtuales, tales como: fuentes de alimentación, protoboards, cables, resistencias, amplificadores operacionales, borneras, potenciómetro y otros elementos que se requirió para realizar la herramienta virtual.

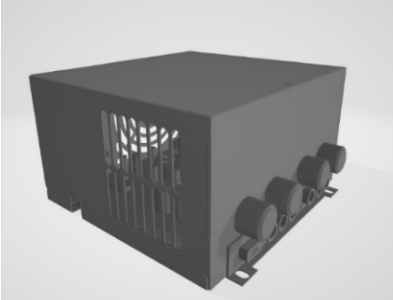
### 2.1 DISEÑO DE ELEMENTOS 3D

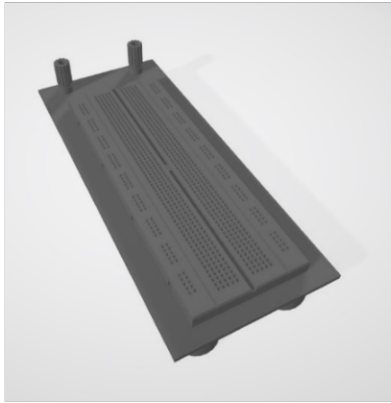
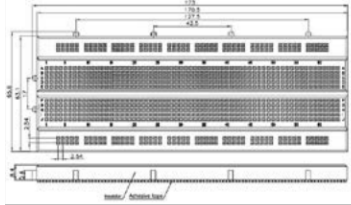
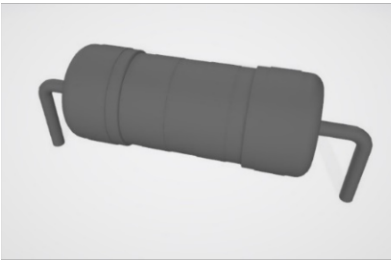
Las aplicaciones seleccionadas para los diseños fueron “Autodesk Inventor” y “Blender. En esta sección se da a conocer y se detalla la construcción y funcionamiento de los elementos principales que se realizan en cada uno de los softwares como se lo indica en la tabla 4 y tabla 5.

### 2.1.1 AUTODESK INVENTOR

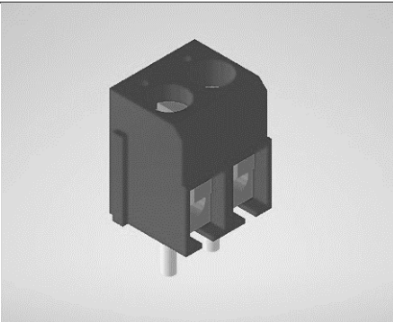
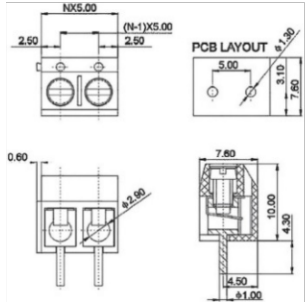

Para el desarrollo de los elementos 3D se utilizó dos herramientas las cuales son Inventor 3D para la electrónica y Blender para los cables. Se da detalles de construcción y características en la tabla 4.

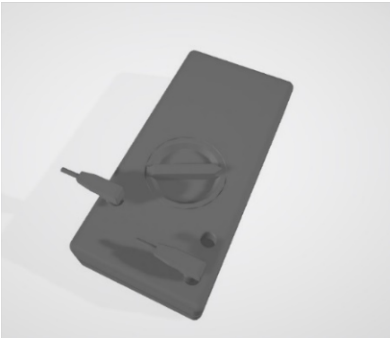
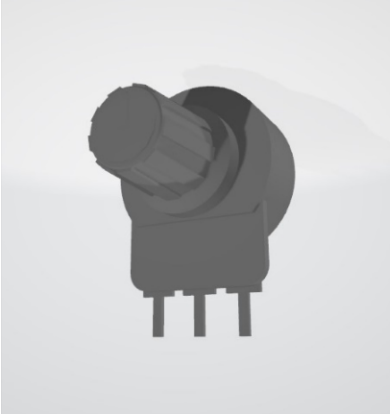
**Tabla 4.** Tabla de elementos 3D en Autodesk Inventor

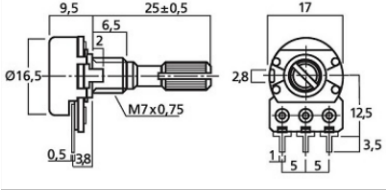
Nombre	Descripción	Imagen
Fuente de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se encarga de alimentar de voltaje DC al circuito amplificador no inversor y de instrumentación.</li> <li>- Su construcción se divide en varias etapas: carcasa, componentes internos y externos.</li> <li>- La carcasa: es la envoltura que impide el acceso y manipulación de la parte electrónica de la fuente.</li> <li>- Componentes internos: es dónde se incluye la parte electrónica de conversión AC/DC.</li> <li>- Componentes externos: Son las partes manipulables y de visualización, como son las perillas, salidas de voltaje y pantallas de visualización.</li> </ul>	 <p data-bbox="1054 1335 1321 1413"><b>Figura 2.</b> Fuente de alimentación DC</p>

<p>Protoboard</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sirve para la implementación de prácticas realizando conexiones entre pines de resistencias, potenciómetros, amplificadores, borneras, cables y otros.</li> <li>- Comprende de una base, bus de alimentación, nodos de conexión y canal central.</li> <li>- Base: Es placa plástica o metálica que separa y aísla el protoboard del lugar de asentamiento.</li> <li>- Bus de alimentación: Sirve para la energización y conexión de los componentes electrónicos que lo requieran.</li> <li>- Nodos de conexión: Son los pines en dónde se cortocircuitan para realizar conexión entre componentes electrónicos.</li> <li>- Canal central: Es un espacio que aísla y separa las conexiones.</li> </ul>	 <p><b>Figura 3.</b> Protoboard</p>  <p><b>Figura 4.</b> Dimensiones protoboard. [11]</p>
<p>Resistencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sirve para oponerse al paso de corriente y se rigen a códigos de colores de normas E12 o E24.</li> <li>- Se dividen en 4 franjas y su tamaño depende de la potencia de disipación.</li> <li>- Franja 1: Determina el primer número de resistencia.</li> <li>- Franja 2: Determina el segundo número de resistencia.</li> </ul>	 <p><b>Figura 5.</b> Resistencia</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Franja 3: Multiplicador.</li> <li>- Franja 4: Tolerancia.</li> </ul>	
<p>Encapsulado 8 Pines – DIP 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para la construcción del encapsulado se buscó las dimensiones estándar del DIP 8.</li> <li>- LM741: Es un amplificador operacional que cuenta con una entrada positiva y negativa y dependiendo la configuración de conexión se puede lograr un circuito no inversor.</li> <li>- AD620: Es un amplificador de instrumentación que permite entradas de señales diferenciales y su ganancia depende de una sola resistencia.</li> <li>- LM741 pines:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. OFFSET NULL</li> <li>2. Entrada inversora</li> <li>3. Entrada no inversora</li> <li>4. VDC –</li> <li>5. OFFSET NULL</li> <li>6. Output</li> <li>7. VDC +</li> <li>8. NC</li> </ol> </li> <li>- AD620 pines:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RG</li> <li>2. Entrada inversora</li> <li>3. Entrada no inversora</li> <li>4. VDC –</li> <li>5. Referencia</li> <li>6. Output</li> <li>7. VDC +</li> <li>8. RG</li> </ol> </li> </ul>	<div data-bbox="1002 667 1374 1128" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1082 1144 1294 1178"><b>Figura 6.</b> DIP 8</p> <div data-bbox="1050 1256 1337 1547" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="991 1581 1385 1666"><b>Figura 7.</b> Dimensiones DIP 8. [12]</p>

<p>Borneras</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sirven para conexiones de cables con diámetros más grandes que no abarcan el protoboard.</li> <li>- Cuenta con dos tornillos y dos pines de conexión.</li> <li>- Su envoltura es aislante.</li> <li>- Para su ensamblaje se tomo de referencia las borneras tipo "M2".</li> </ul>	 <p><b>Figura 8. Bornera M2</b></p>  <p><b>Figura 9. Dimensiones bornea M2. [13]</b></p>
<p>Cables</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cables de diámetro pequeño para realizar conexiones en el protoboard.</li> <li>- Se realizó cables de diferentes longitudes para interconectar componentes electrónicos requeridos en cada una de las prácticas.</li> <li>- Cuenta de una cubierta plástica aislante y conductor de cobre en su interior.</li> <li>- Para su ensamblaje se realizo su construcción en varias partes como los pines de conexión, los ángulos de 90 grados y la longitud del cable.</li> </ul>	 <p><b>Figura 10. Cables para protoboard</b></p>



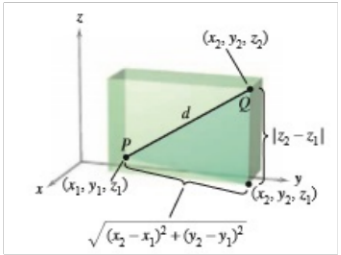
<p>Multímetro</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un equipo de medición de voltaje, corriente y dependiendo del modelo y marca pueden medir resistencia, temperatura, capacitancia y otros.</li> <li>- Cuenta con tres partes fundamentales: la carcasa, componentes internos y componentes externos.</li> <li>- Carcasa: Es de un componente aislante que permite proteger la parte electrónica de golpes, o descargas.</li> <li>- Componentes internos: Es la placa electrónica que cuenta con un sin número de elementos que permiten las mediciones.</li> <li>- Componentes externos: Perilla para selección de medición, entradas de voltaje, corriente u otros y la visualización de las variables medidas en una pantalla.</li> </ul>	 <p><b>Figura 11. Multímetro</b></p>
<p>Potenciómetro</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un elemento variable resistivo.</li> <li>- Para el modelado 3D se usó medidas estándares y se adicióno una perilla.</li> <li>- Se compone de varias etapas: pines de conexión, base circular-plana, carcasa y perilla.</li> </ul>	 <p><b>Figura 12. Potenciómetro</b></p>

		 <p><b>Figura 13.</b> Dimensiones potenciómetro. [14]</p>
--	--	---

### 2.1.2 BLENDER

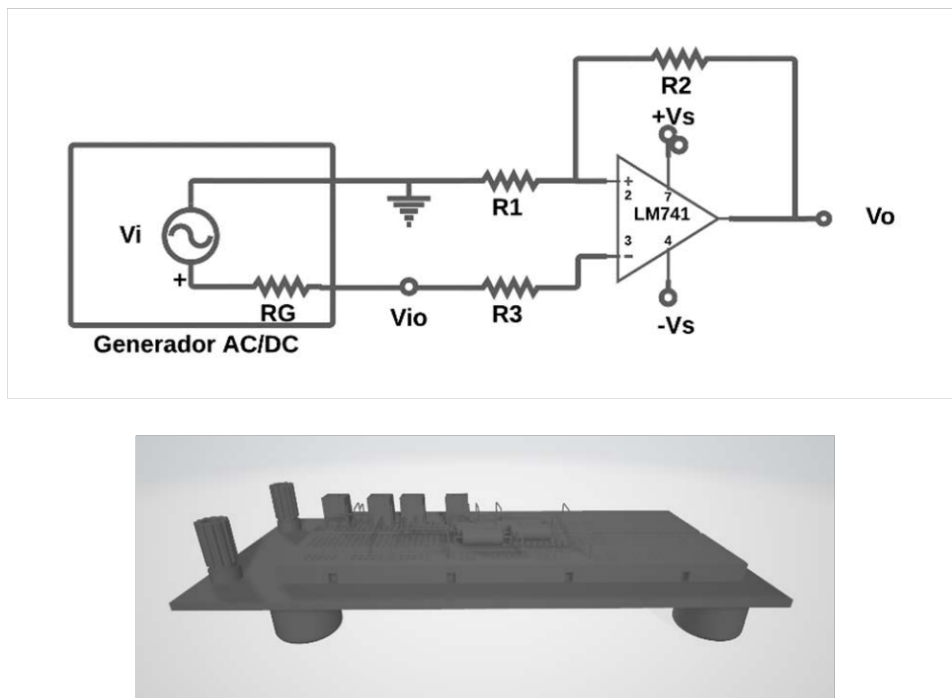
Este software permite una maleabilidad para la modelación de componente 3D, ya que al momento de implementar los cables de multímetro y de alimentación se deben utilizar formas no simétricas.

**Tabla 5.** Tabla de elementos 3D en Blender

Nombre	Descripción	Imagen
Cables	<p>- Se definió coordenadas X, Y, Z de inicio y fin para la construcción de los cables y para ello se usó fórmulas de geometría en el espacio.</p> $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad [15]$	 <p><b>Figura 14.</b> Cable para multímetro</p>  <p><b>Figura 15.</b> Cable para fuente</p>  <p><b>Figura 16.</b> Puntos en el espacio. [15]</p>

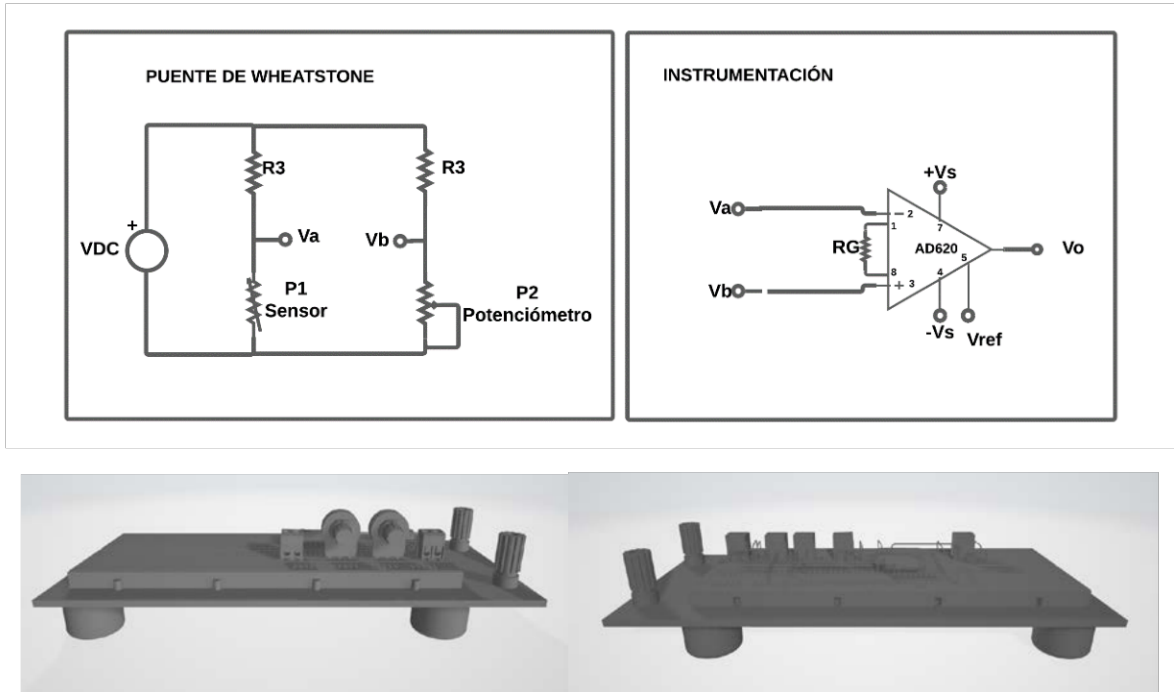
### 2.1.3 ENSAMBLAJE DE PRÁCTICAS

Se debe mencionar que el proyecto de titulación fue aprobado bajo el régimen anterior y asignado a dos estudiantes: Luis Pacheco y Camila Samaniego, quienes hemos trabajado juntos durante todo el desarrollo del mismo. Bajo la nueva reglamentación, cada uno de nosotros presentará un documento que tiene mucho en común pero que no es igual y, de acuerdo a la reestructuración del plan que se aprobó, cada uno de nosotros se encargó de la implementación de dos prácticas de laboratorio. En mi caso estas prácticas son: el amplificador no inversor y el amplificador de instrumentación y mi compañera implementó dos prácticas diferentes: amplificador inversor y amplificador diferencial. Las cuatro prácticas se desarrollan en el mismo ambiente virtual. Para el ensamblaje de las prácticas del circuito amplificador no inversor y el de instrumentación AD620 se partió con el establecimiento de los circuitos esquemáticos mostrados en las figuras 17 y 18.



**Figura 17.** Circuito esquemático y armado del amplificador no inversor





**Figura 18.** Circuito esquemático y armado amplificador de instrumentación (AD620) y puente de Wheatstone

El ensamblaje se lo desarrolla con la ayuda de “Autodesk Inventor”. Allí se considera los espacios y conexiones necesarias para cumplir con el diagrama esquemático que se propone para cada una de las prácticas.

## 2.2 DISEÑO VIRTUAL

Luego de la elaboración del modelado 3D y el ensamblaje sigue la construcción y la ejecución de la interfaz. Es por ello que dentro de esta etapa se considera a “Unity 3D” y “Microsoft Visual Studio” porque en conjunto permiten la animación y posibilitan tener el producto terminado de la herramienta de instrumentación virtual.

El motor de desarrollo escogido fue Unity 3D por sus amplias ventajas ya que este software tiene una gran facilidad de trabajar en conjunto a interfaces 2D y 3D, a más de ello cuenta con una gran tienda de complementos los cuales dan algunas facilidades a los desarrolladores de herramientas virtuales y videojuegos.

Al trabajar con Unity 3D se tiene una gran ventaja en entornos físicos como lo es la gravedad, las colisiones, solidificar elementos 3D y un sin número de características adicionales que requiera el desarrollador.

La herramienta virtual se divide en varias pantallas: la primera corresponde a la pantalla de presentación que contiene información, instrucciones, la segunda tiene la sala de laboratorio en donde se pueden realizar las prácticas correspondientes. Adicionalmente al dar clic sobre ciertas botones se presenta información sobre determinados componentes.

### 2.2.1 PRESENTACIÓN

Dentro de esta pantalla indicada en la figura 19 se encuentran los enlaces para el ingreso a otras subinterfaces: “información”, “instructivo”, “play” y “exit” para salir del programa

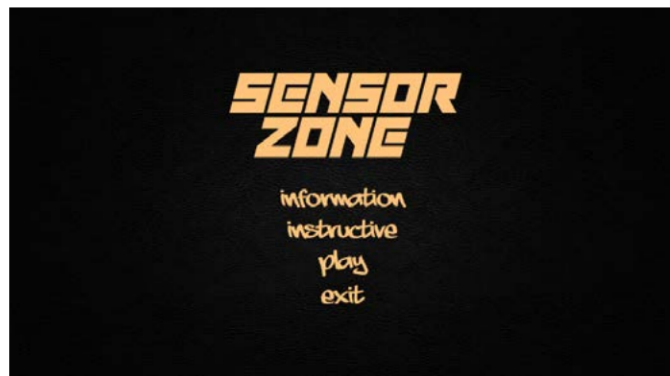


Figura 19. Pantalla de INICIO

Cuando se ingresa a la escena “información” se puede visualizar datos relevantes sobre el proyecto, esta pantalla es netamente informativa y cuenta solo con texto, como lo muestra la figura 20.



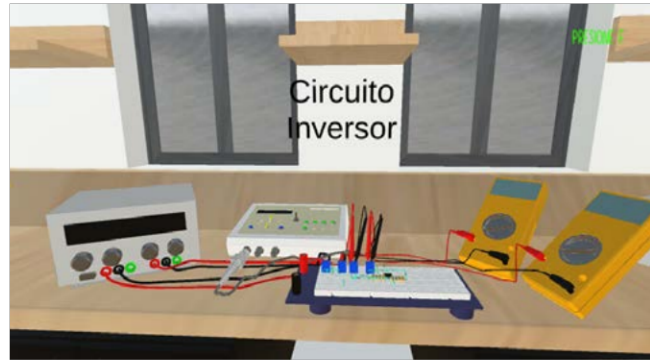
Figura 20. Pantalla de información



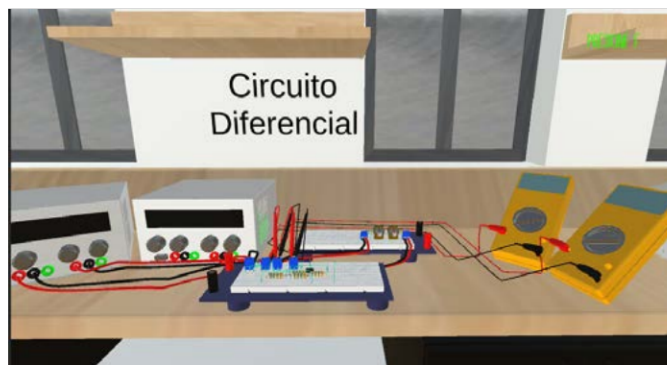
Figura 21. Pantallas de instructivo

La escena “instructivo” mostrado en la figura 21 trata sobre las funcionalidades con las que cuenta cada una de las prácticas. Para interactuar en el instructivo se tienen las flechas verdes que permiten ir a la siguiente pantalla, anterior o pantalla de inicio.

Al ingresar a la interfaz de “Play” que corresponde a la sala de laboratorio se puede encontrar al circuito amplificador inversor (Figura 22), el circuito amplificador diferencial (Figura 23), el circuito amplificador no inversor (Figura 24) y al de instrumentación AD620 (Figura 25), además se puede dar un recorrido por toda la sala y acercarse a cada una de las prácticas para tener una visualización macro, así mismo un acercamiento con un laboratorio real.



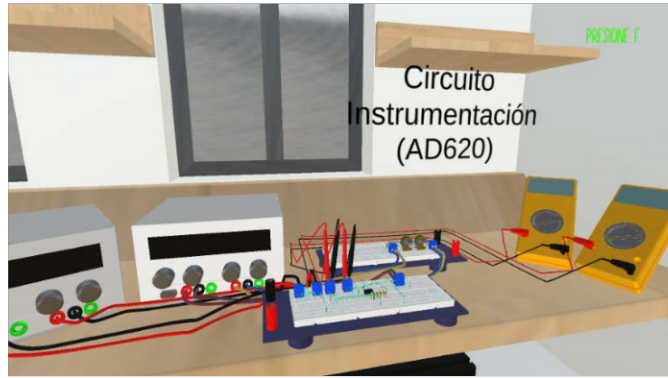
**Figura 22.** Sala de laboratorio Circuito amplificador inversor



**Figura 23.** Sala de laboratorio Circuito amplificador diferencial



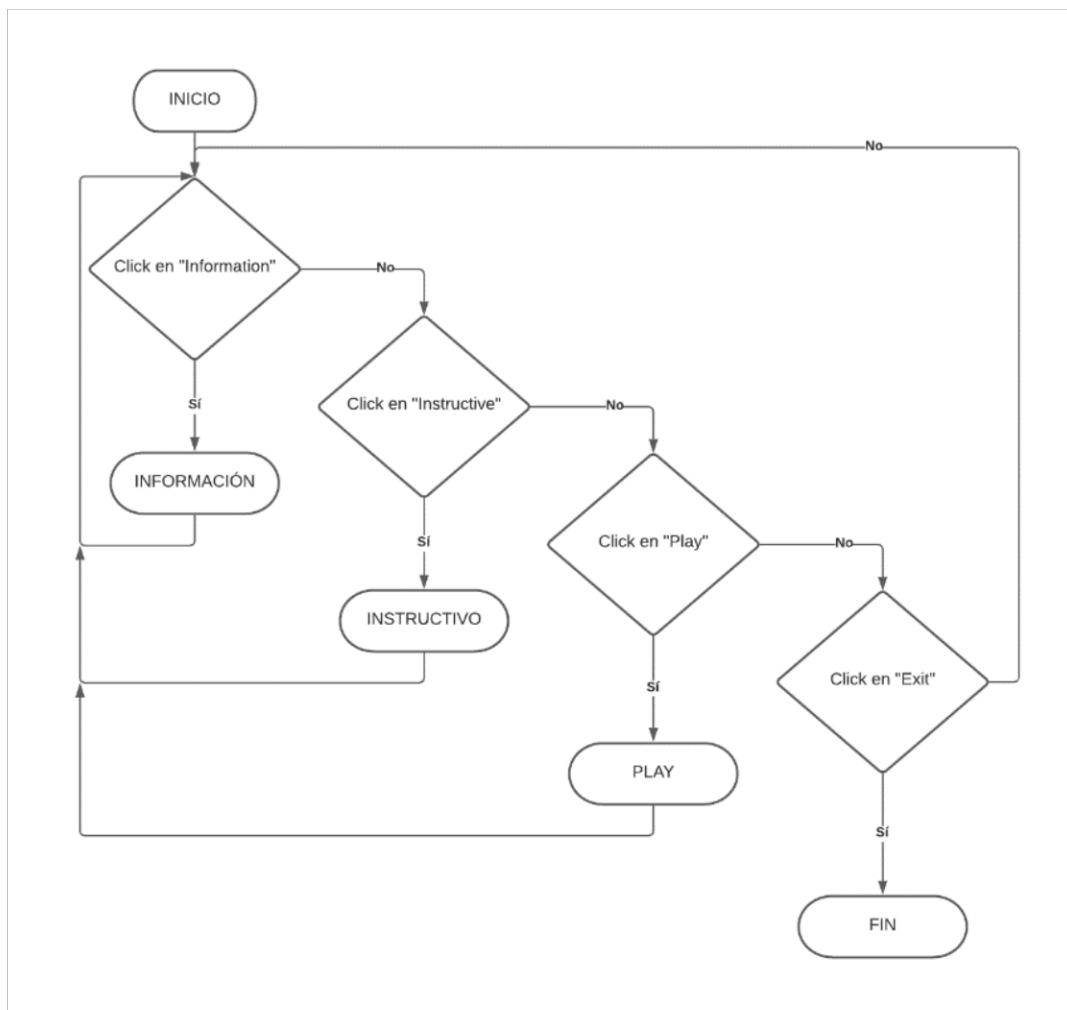
**Figura 24.** Sala de laboratorio Circuito amplificador no inversor



**Figura 25.** Sala de laboratorio Circuito amplificador de instrumentación AD620

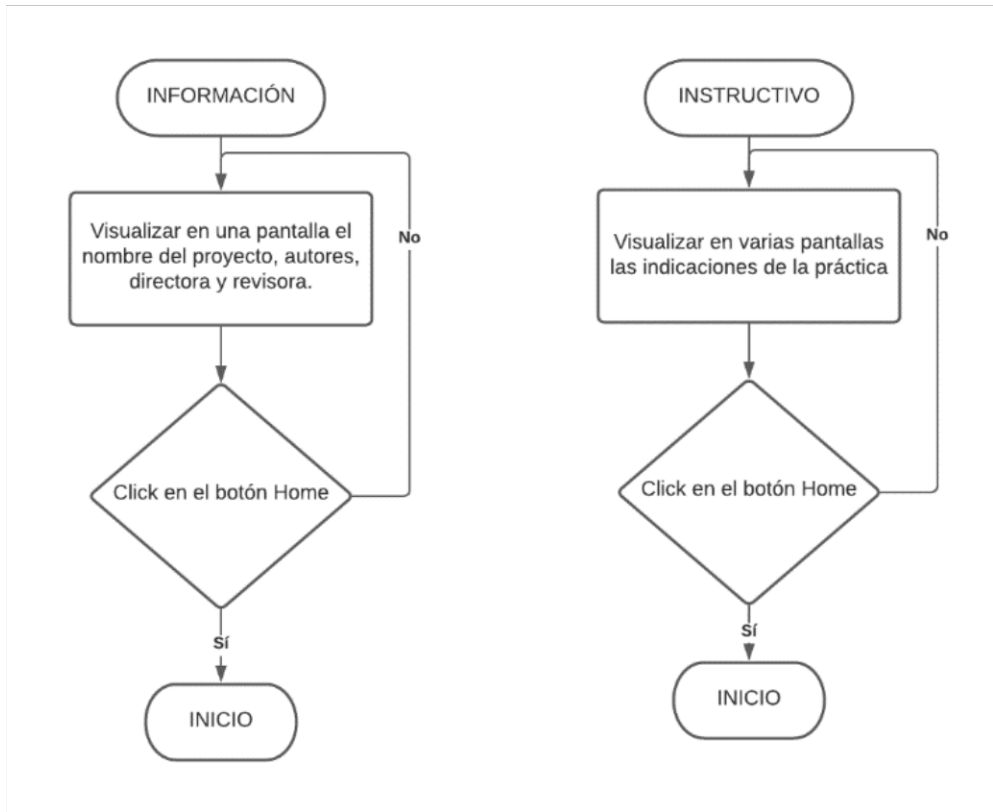
### 2.2.2 PROGRAMACIÓN

Para la creación de scripts se usó diagramas de flujo; en esta etapa se implementaron códigos para la pantalla de presentación y la sala de laboratorio.



**Figura 26.** Diagrama de flujo de “presentación”

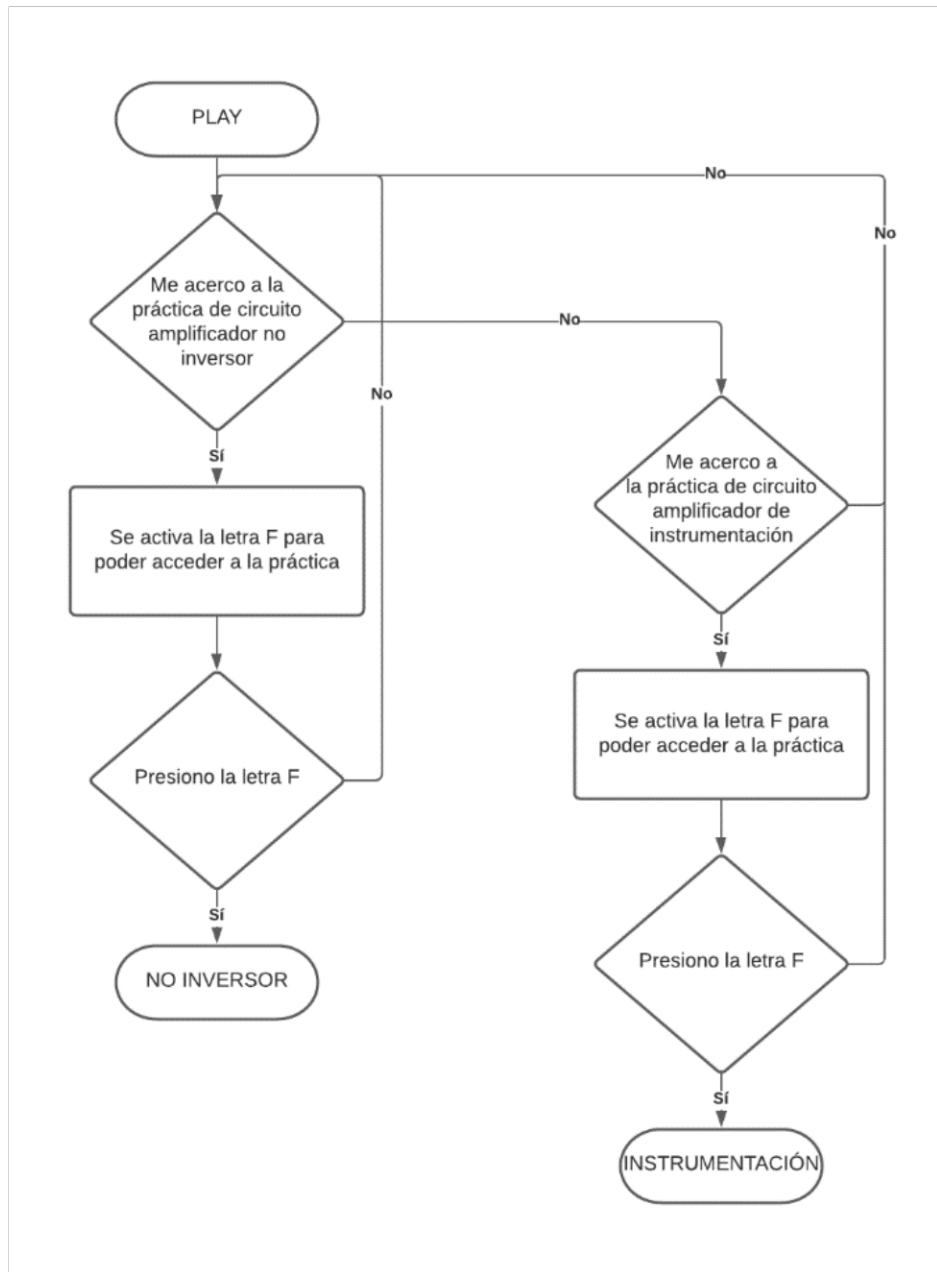
Dentro del “presentación” se tiene cuatro botones que permiten el acceso a diferentes escenas, el primero que corresponde a la información, el segundo a un instructivo general sobre todas las prácticas, el tercer botón corresponde a “play” que nos redirecciona a la sala de laboratorio y el último se encarga de la salida de la herramienta virtual.



**Figura 27.** Diagrama de flujo de INFORMACIÓN e INSTRUCTIVO

La programación para las escenas de información e instructivo contiene íconos para regresar a la pantalla inicial, siguiente y anterior.

En la figura 28 se encuentra el diagrama de flujo que se ejecuta cuando se presiona la opción “play” que envía al usuario a la sala de laboratorio en donde podrá realizar las prácticas de laboratorio diseñadas.

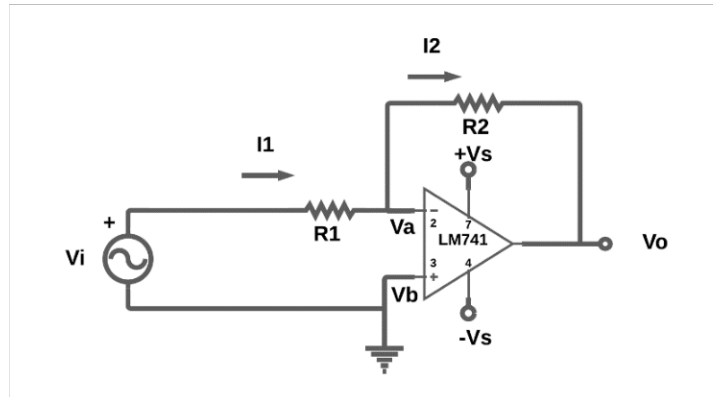


**Figura 28.** Diagrama de flujo de PLAY

Dentro de la sala de laboratorio se tiene un personaje en primera persona con la cual el usuario puede interactuar con las teclas A, S, D, W o flechas y mouse; la lógica de programación para el ingreso a las practicas del “Circuito amplificador no inversor” y al “Circuito amplificador de instrumentación” consiste en presionar la letra “F”, ingresar al laboratorio, acercarse a las mesas y por medio de las teclas, flechas o mouse dirigirse a las práctica de laboratorio.

### 2.2.3 CIRCUITO AMPLIFICADOR INVERSOR

Amplifica la señal de entrada y la desfasa 180°, el ingreso de señal es por la entrada inversora. Normalmente se lo usa cómo un cambiador de fase y en circuitos osciladores ya que este tipo de configuraciones permite la producción de oscilaciones sostenidas con el principio de Barkhausen.



**Figura 29.** Circuito amplificador diferencial

	$I_1 = I_2$	(2.1)
Aplicando Ley de Ohm	$\frac{V_i - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_o}{R_2}$	(2.2)
Considerando	$V_a = V_b = 0$	(2.3)
Aplicando 2.2 y 2.3	$\frac{V_i}{R_1} = \frac{-V_o}{R_2}$	(2.4)
Despejando 2.4	$V_o = -V_i \frac{R_2}{R_1}$	(2.5)





**Figura 30.** Pantalla del circuito amplificador inversor

Para la programación de esta práctica, indicada en la figura 30, se estableció:

**Botón circuito inversor:** Redirige a la subinterface protoboard el cual contiene el circuito amplificador inversor y dentro se puede modificar los colores de resistencia para cambiar la ganancia.

**Botón generador:** Cambia a la subinterface del generador y dentro de ella se modifica voltaje pico, salida AC/DC y resistencia interna del generador.

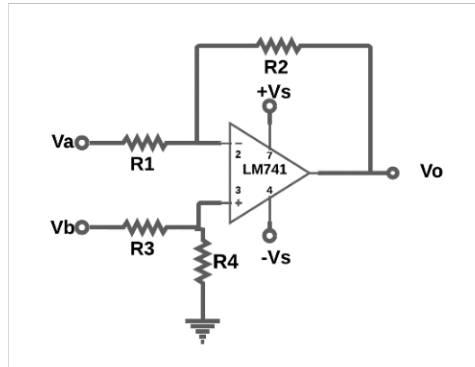
**Botón información:** Permite la visualización de todas las pantallas referentes a los objetivos, ventajas, desventajas y ejercicio propuesto.

**Botón comandos:** Abre una pantalla en dónde se indica las teclas funcionales para el movimiento dentro de la interfaz.

**Ícono libro:** Sirve para ayudar al usuario ya que dentro se encuentran instrucciones del funcionamiento de la práctica.

## **2.2.4 CIRCUITO AMPLIFICADOR DIFERENCIAL**

Esta configuración permite amplificar una señal diferencial y una de sus funcionalidades es que rechaza el ruido en modo común.



**Figura 31.** Circuito amplificador diferencial

$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) V_b - \left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_a$	(2.6)
Considerando	
$R_1 = R_3 \wedge R_2 = R_4$	(2.7)
Aplicando y despejando 2.6 y 2.7	
$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (V_2 - V_1)$	(2.8)



**Figura 32.** Pantalla del circuito amplificador diferencial

Para la programación de esta práctica, indicada en la figura 32, se estableció:

Botón circuito diferencial: Al dar clic sobre este, nos llevará a una escena la cual permite el cambio de resistencia del circuito y así modificar la ganancia de la señal de entrada.

Botón puente de wheatstone: Este botón nos redirige al circuito en dónde se encuentra el puente, dentro de este se puede modificar el tipo de sensor cómo un PT100, PT1000 o un termistor NTC, además se puede modificar el paso para el cambio de resistencia de los

potenciómetros, así mismo el usuario tiene la posibilidad cambiar los colores de la resistencia que incluye este circuito.

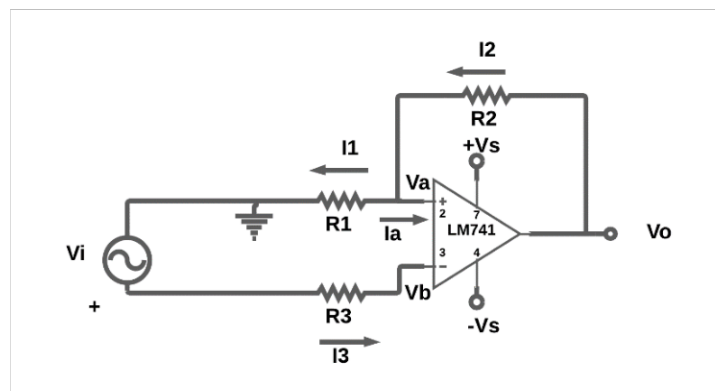
Botón información: Se desplegará los objetivos, ventajas y desventajas que cuenta la práctica y al final un ejercicio propuesto para que lo realice el usuario final.

Botón comandos: Indica al usuario las teclas operativas para su movimiento dentro de la práctica.

Ícono libro: Es una ayuda de las instrucciones de la práctica.

### 2.2.5 CIRCUITO AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En este circuito la señal se la realiza por la entrada no inversora y su salida amplificada se encontrará en fase con la entrada.



**Figura 33.** Circuito esquemático amplificador no inversor

Para determinar las ecuaciones se deber considerar lo siguiente:

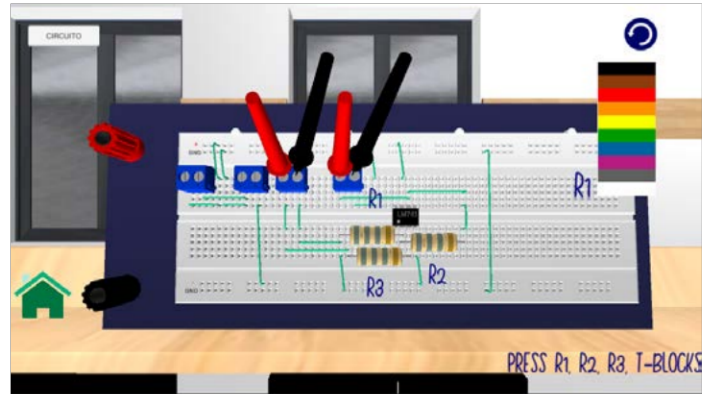
$V_a = V_b$	(2.9)
$I_a = 0$	(2.10)
$I_3 = 0$	(2.11)
$I_1 = \frac{V_a - 0}{R_1}$	(2.12)
$I_2 = \frac{V_o - V_a}{R_2}$	(2.13)
Aplicando 2.9, 2.11 y ley de nodos	
$V_a = V_i$	(2.14)

	$V_b = V_i$	(2.15)
Aplicando 2.10 y ley de nodos		
	$I_1 = I_2$	(2.16)
Aplicando 2.12, 2.13, 2.14 y 2.16		
	$\frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{V_o - V_i}{R_2}$	(2.17)
Simplificando 2.17		
	$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} + 1 = A_v$	(2.18)
	$V_o = V_i \cdot A_v$	(2.19)



**Figura 34.** Pantalla práctica circuito amplificador no inversor

La práctica de la Figura 34 cuenta con un protoboard en dónde están las resistencias y el amplificador LM741, así también se tiene una fuente de alimentación con doble salida de 12VDC para energizar al amplificador, además cuenta con un generador AC/DC que entrega una señal a la entrada del amplificador y por último se tiene dos multímetros los cuales nos servirán para ver el voltaje de entrada y el voltaje de salida amplificado.



**Figura 35.** Protoboard circuito amplificador no inversor

Dentro de la parte gráfica del protoboard se pueden ver las conexiones y hacer cambio del valor de las resistencias por medio de la franja de colores; además, al dar clic sobre las borneras se puede visualizar el nombre y la polaridad que corresponda; en este caso las dos primeras borneras son de alimentación, la tercera bornera es la entrada de señal del amplificador y la cuarta corresponde a la salida amplificada.



**Figura 36.** Generador AC/DC

Para el generador se tiene botones los cuales cumplen diferentes funciones:

Botones amarillos: Sirven para subir o bajar el voltaje pico que se entregará al amplificador.

Botones azules: Permiten el cambio de la señal entregada ya sea continua o alterna.

Botones verdes: Corresponden a 5 tipo de resistencias que se encuentran en serie con el generador y al dar clic sobre alguno de ellos se configura una variable con el valor seleccionado.

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

1. 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

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

4. ¿CÓMO AFECTA LA RESISTENCIA INTERNA DEL GENERADOR AC/DC?

... DENTRO DE UN CIRCUITO NO INVERSOR CON OPERACIONALES, LA RESISTENCIA INTERNA (RG) DEL GENERADOR DE SEÑALES AC NO AFECTA AL VOLTAJE DE ENTRADA DEL OPERACIONAL.

DONDE:  
 $V_i = V_{io}$

Generador AC/DC

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

2. ¿QUÉ ES UNA FUENTE IDEAL?

... UNA FUENTE IDEAL DE VOLTAJE ES AQUELLA CUYO VOLTAJE NO VARÍA, SIN IMPORTAR LA CANTIDAD DE CORRIENTE QUE SE EXTRAIGA DE ESTA.

3. ¿QUÉ ES UN GENERADOR IDEAL?

... UN GENERADOR IDEAL ES UN DISPOSITIVO QUE TIENE LA CAPACIDAD DE MANTENER UNA DIFERENCIA DE VOLTAJE ENTRE SUS TERMINALES INDEPENDIEMENTE DE LA CARGA A LA CUAL SE CONECTE.

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

5. VALORES DE RESISTENCIAS

Resistencias Comerciales (E24):

1,0 [Ω]	2,0 [Ω]	3,9 [Ω]	7,5 [Ω]
1,1 [Ω]	2,2 [Ω]	4,3 [Ω]	8,2 [Ω]
1,2 [Ω]	2,4 [Ω]	4,7 [Ω]	9,1 [Ω]
1,3 [Ω]	2,7 [Ω]	5,1 [Ω]	
1,5 [Ω]	3,0 [Ω]	5,6 [Ω]	
1,6 [Ω]	3,3 [Ω]	6,2 [Ω]	
1,8 [Ω]	3,6 [Ω]	6,8 [Ω]	

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

6. CIRCUITO AMPLIFICADOR NO INVERSOR

... CON ESTA CONFIGURACIÓN EL VOLTAJE DE SALIDA TIENE LA MISMA FASE QUE EL VOLTAJE DE ENTRADA, RESPECTO A SU IMPEDANCIA DE ENTRADA SE DEBE AÑADIR QUE ES EXTREMADAMENTE GRANDE, EXCEDIENDO LOS 100 [MΩ].

ECUACIONES:

$$A_v = (R_2/R_3)+1$$

$$V_o = V_{io} * A_v = V_i * A_v$$

Generador AC/DC

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR NO INVERSOR

7. EJERCICIO

UTILIZANDO LA INTERFAZ SIMULE EL SIGUIENTE EJERCICIO:

SE DESEA AMPLIFICAR LA SEÑAL SINUSOIDAL DE 0,65 V<sub>i</sub> PICO, Y SU RESISTENCIA INTERNA R<sub>G</sub> DEL GENERADOR ES DESPRECIABLE POR LA CONFIGURACION DEL AMPLIFICADOR. EL CIRCUITO TENDRA UNA GANANCIA DE 6+1/2.

NOTA: REALIZAR PRUEBAS CON DISTINTOS VALORES DE R<sub>G</sub> Y R<sub>3</sub>, CON EL FIN DE COMPROBAR COMO ESTAS NO AFECTAN A LA SALIDA DEL CIRCUITO.

Figura 37. Información de la practica circuito amplificador no inversor

Para la parte de información se establece el objetivo, definiciones, valores de resistencias con la norma E24, el circuito esquemático con la fórmula de la ganancia y por último se plantea un ejercicio para ser resuelto que sirve para que el estudiante lo realice.

**SENSOR ZONE**

## INSTRUCCIONES

MOVIMIENTOS LINEALES

W: ADELANTE    O: ABAJO

A: IZQUIERDA    E: ARRIBA

S: ATRÁS

D: DERECHA

MOVIMIENTOS ROTACIONALES

↑: ROTACIÓN HACIA ARRIBA

↓: ROTACIÓN HACIA ABAJO

←: ROTACIÓN HACIA IZQUIERDA

→: ROTACIÓN HACIA DERECHA

Figura 38. Instrucciones

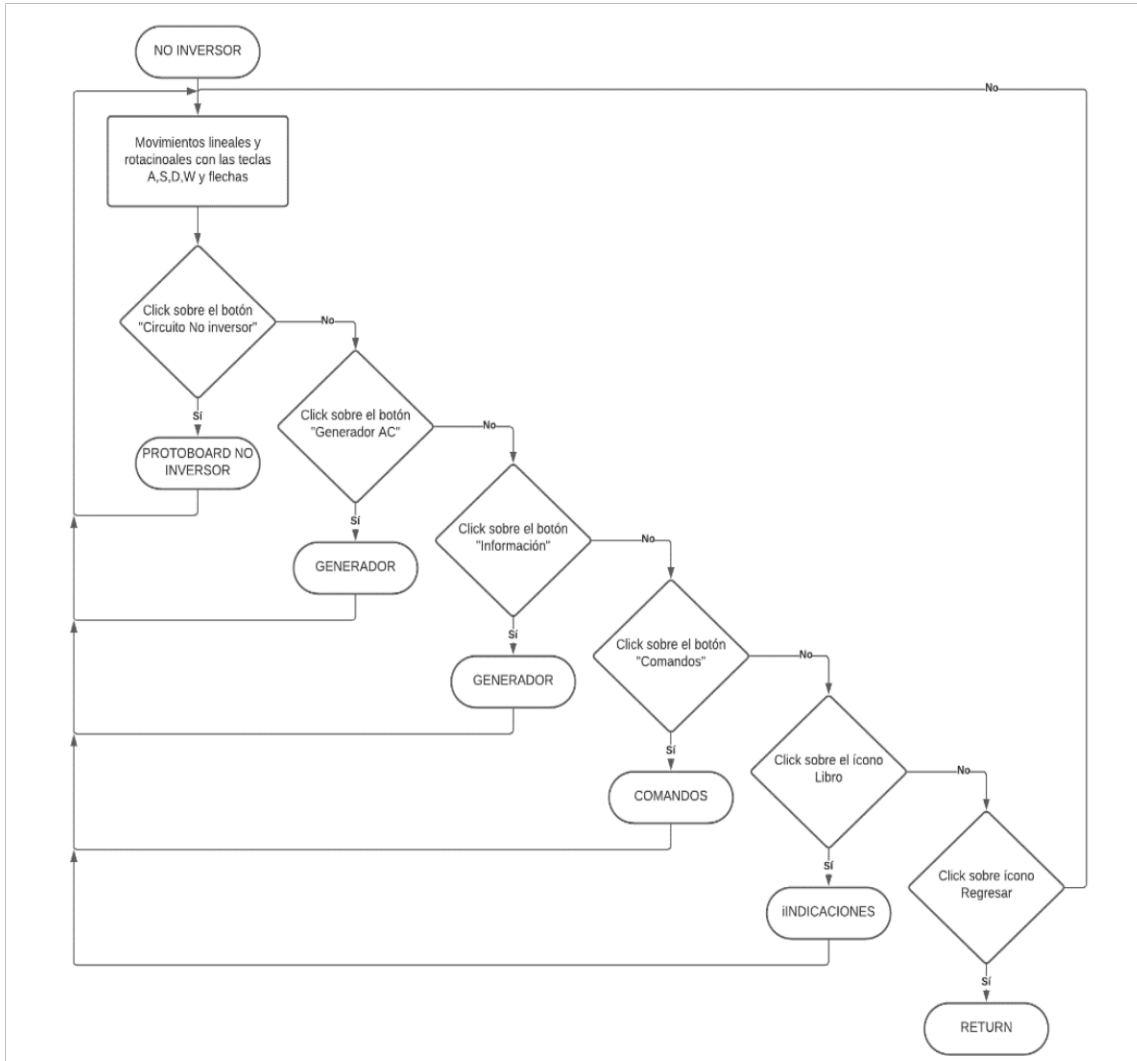
Dentro de la práctica del circuito amplificador no inversor se puede hacer movimientos lineales y rotacionales para tener una mejor visualización de las conexiones, valores del multímetro y los demás elementos que comprenden la práctica.



**Figura 39.** Instrucciones de la práctica del circuito amplificador no inversor

Al ingresar al ícono del libro como se lo muestra en la parte superior derecha de la figura 34; se visualiza a detalle lo que se puede realizar dentro de la práctica, en este caso la modificación de variables del generador AC/DC como: el voltaje pico, voltaje AC/DC y la resistencia interna del generador; así también se tiene la posibilidad de modificar las resistencias de ganancia en el protoboard.

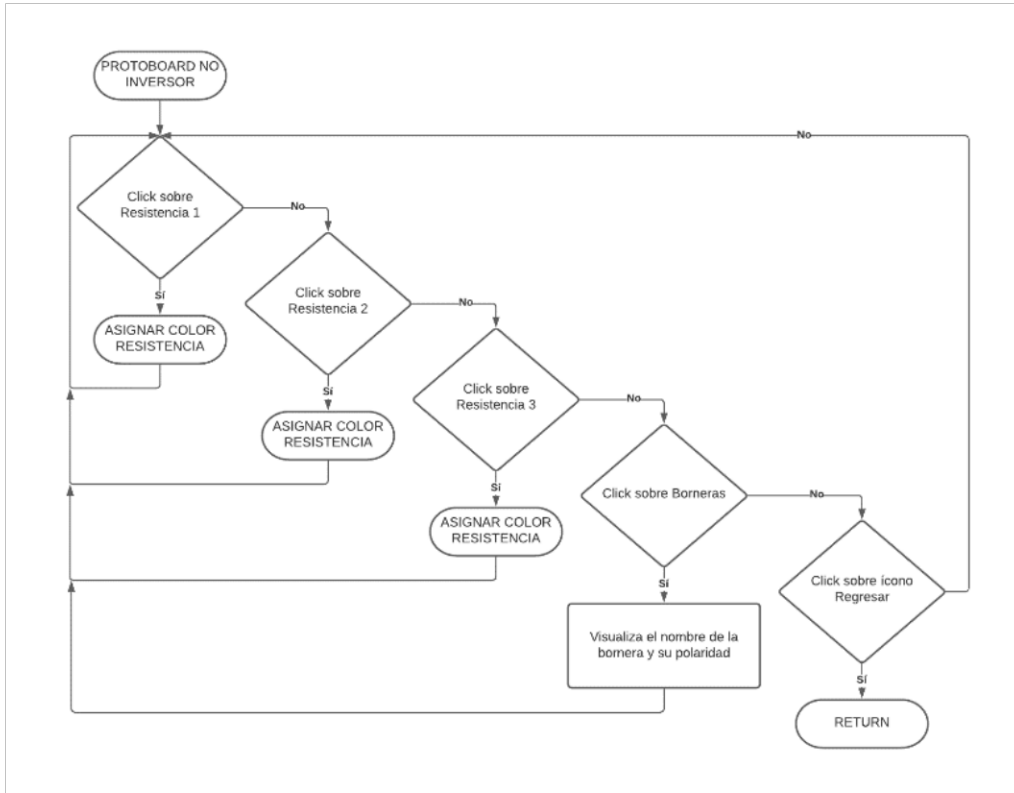
El diagrama de flujo correspondiente a la práctica se muestra en la figura 40



**Figura 40.** Diagrama de flujo del circuito amplificador no inversor

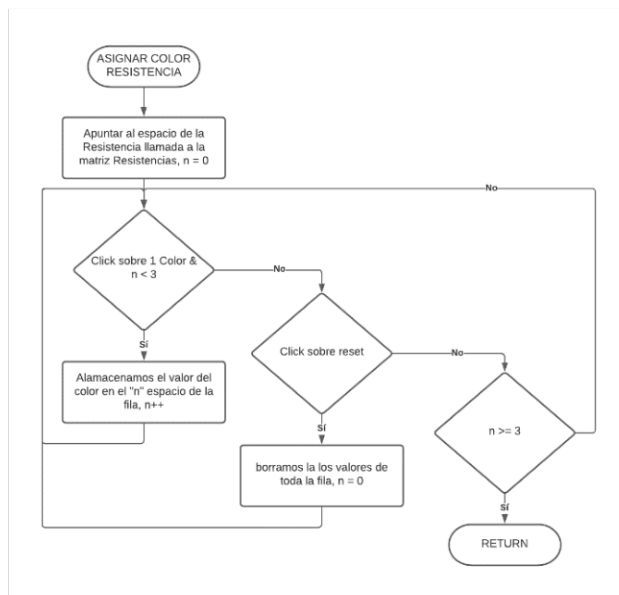
El circuito amplificador no inversor cuenta con varios botones como: “No inversor”, “Generador AC”, “Información” y “Comandos”, además cuenta varios íconos como el de retorno a la pantalla anterior y las instrucciones en forma de un libro. La lógica de programación consiste en que, si se da click en algún botón o ícono se redirecciona a una subrutina caso contrario sigue mostrando la pantalla del circuito amplificador no inversor.





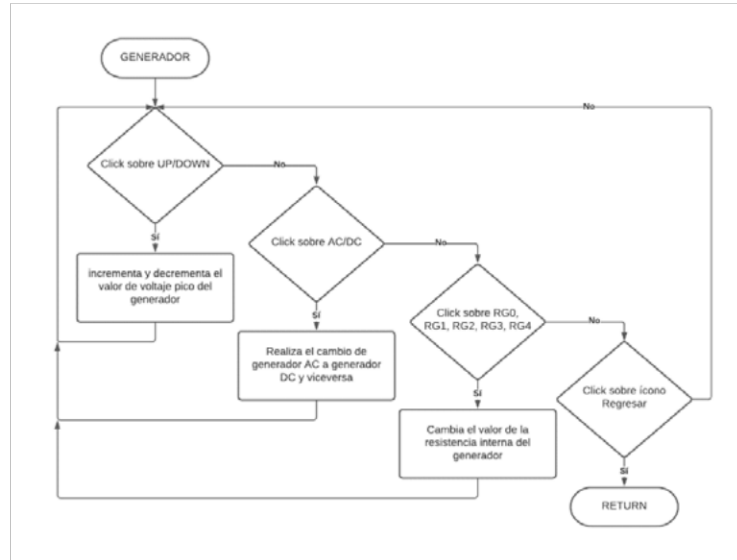
**Figura 41.** Protoboard del circuito amplificador no inversor

La lógica de programación para el protoboard consiste en que, al presionar una de las resistencias se desplegará una franja de colores que por medio de una subrutina se puede realizar el cambio de los colores de las resistencias, además cuenta con un botón para ver el circuito esquemático y un ícono de retorno a la pantalla anterior.



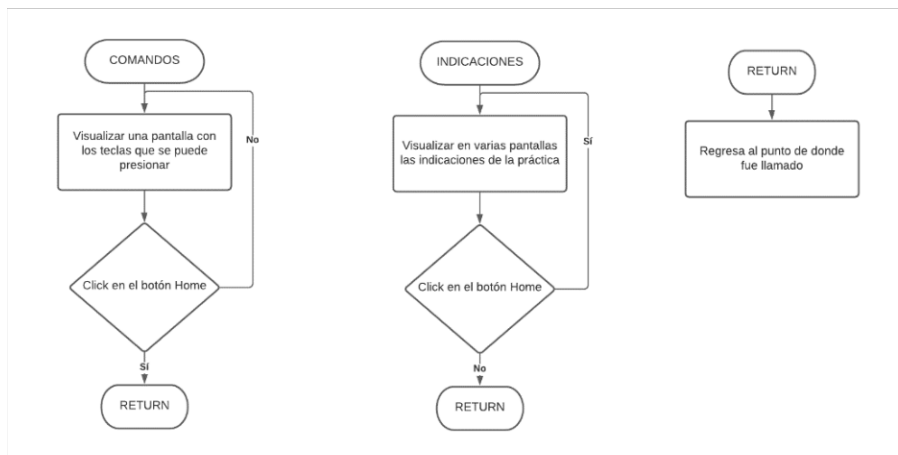
**Figura 42.** Protoboard del circuito amplificador no inversor

Se creó un script global el cual por medio de variables globales se apunta a una fila de una matriz a esta variable la llamaremos m, dentro del lazo se crea una variable n que cuenta de 0 hasta 2 y cada vez que se presiona un color la variable incrementa en una unidad, también se asigna el valor numérico a la columna n de la fila m. Si se presiona el botón “reset” la variable n se reinicia en 0.



**Figura 43.** Generador AC/DC

Para la modificación de las variables en el generador se debe presionar los botones UP/DOWN, AC/DC y RGx; cada botón realiza la modificación de las variables como el voltaje pico, voltaje entregado en continua o alterna y por último la resistencia interna del generador respectivamente; si no se da click sobre los botones no se realiza ninguna acción y se muestra la misma pantalla.

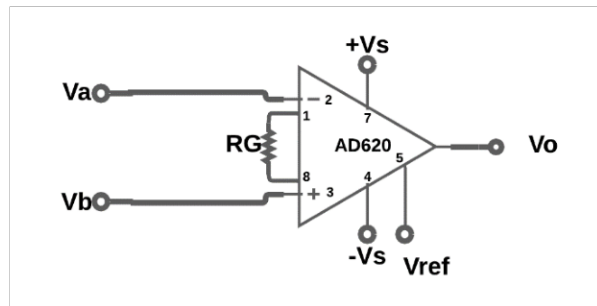


**Figura 44.** Comandos, indicaciones y regreso

La funcionalidad de los scripts para comandos e indicaciones son los mismos porque son netamente informativos, además se tiene la función return la cual se encarga de regresar a la rutina o interfaz anterior.

## 2.2.6 CIRCUITO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620

Este amplificador cuenta con dos entradas: una inversora y otra no inversora, además tiene un gran rechazo al modo común y tiene ganancia controlada simplificada.



**Figura 45.** Circuito amplificador de instrumentación

Su ganancia:

$$A_v = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1$$

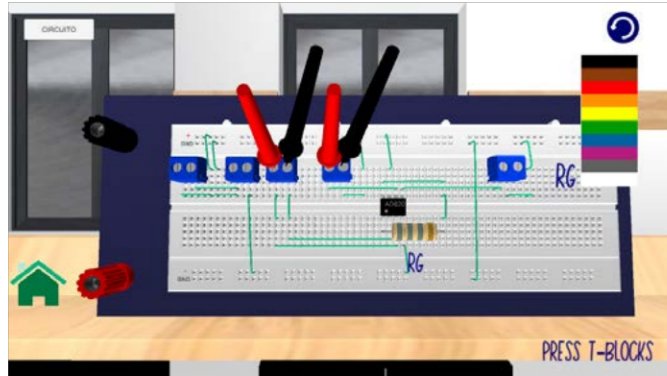
(2.20)



**Figura 46.** Práctica circuito amplificador de instrumentación AD620

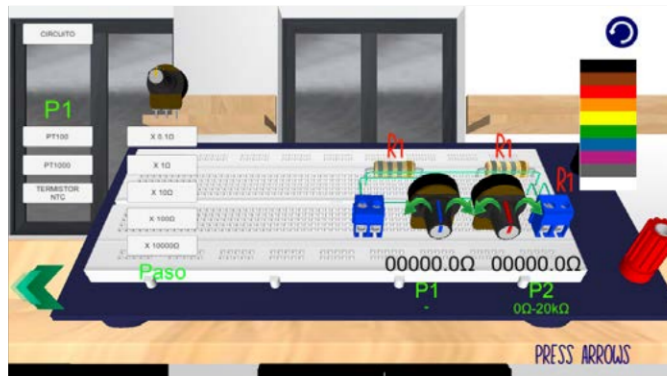
Esta práctica tiene dos protoboards: en la parte de adelante se encuentra el amplificador y en la parte de atrás el acondicionamiento del puente de Wheatstone, además tiene dos fuentes con las cuales se alimenta al amplificador AD620, el offset y el puente; por último, se tiene dos multímetros que permiten visualizar el voltaje de entrada y el voltaje de salida amplificada por el operacional AD620.

Dentro de la interfaz se cuenta con botones: Circuito AD620, Puente de Wheatstone, fuente, ruido, información, comandos; cada uno de ellos cuenta con una funcionalidad ya sea para redireccionar a una escena o una acción en el caso del ruido, también se tiene íconos como: retorno a la interfaz anterior e instrucciones de la práctica en operación.



**Figura 47.** Protoboard circuito amplificador AD620

La configuración del circuito amplificador de instrumentación AD620 cuenta con una sola resistencia la cual se puede modificar sus colores por medio de la franja que se tiene en la parte superior derecha, además al dar clic sobre las borneras se indicará el nombre y polaridad correspondiente.



**Figura 48.** Circuito puente de wheatstone

Cuando se tiene un sensor con una señal resistiva se debe acondicionar para transformar esa señal a eléctrica, una alternativa para ello es el puente de Wheatstone. Dentro de la interfaz se tiene la opción de seleccionar al potenciómetro 1 como un sensor PT100 (19-390.1 $\Omega$ ), PT1000 (800-2000 $\Omega$ ) y termistor NTC (190953-858.3 $\Omega$ ), también se cuenta con un potenciómetro 2 que tiene un valor de 0 a 20 k $\Omega$  que nos servirá para el enceramiento de la salida diferencial del puente. Los potenciómetros tienen flechas que sirven para el cambio de resistencia de acuerdo con el paso seleccionado (0.1  $\Omega$ , 1  $\Omega$ , 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 10000 $\Omega$ ) y por último se puede realizar el cambio de resistencia R1 con la franja de colores.

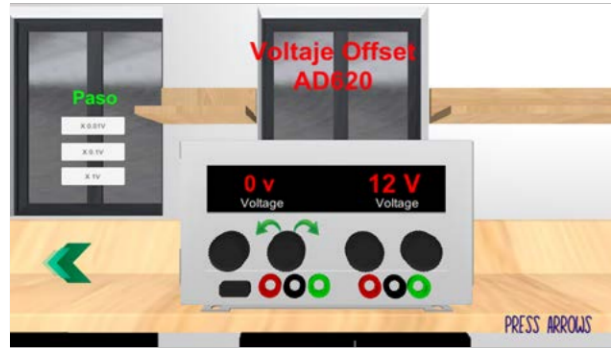


Figura 49. Voltaje offset

El amplificador AD620 cuenta con un pin al cual se lo alimenta con un voltaje de offset para obtener una salida con una referencia desplazada, para ello la interfaz tiene flechas para incrementar y decrementar el voltaje de acuerdo con los pasos seleccionados (0.01V, 0.1V, 1V).

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

1. OBJETIVOS

- IDENTIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE UN AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN
- CONOCER LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE ESTE CIRCUITO

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

3. CARACTERÍSTICAS DE UN AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

- GANANCIA VARIABLE, ESTABLE, LINEAL
- ENTRADA CON CMRR ALTO
- ERROR DESPRECIABLE DEBIDO AL VOLTAJE Y CORRIENTE DE OFFSET
- ALTA IMPEDANCIA DE ENTRADA
- BAJA IMPEDANCIA DE SALIDA
- MODO DIFERENCIAL

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

5. ¿QUÉ ES UN AD620?

ES UN AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN DE GRAN PRECISION Y ALTO RENDIMIENTO QUE REQUIERE DE UNA RESISTENCIA EXTERNA PARA AJUSTAR LA GANANCIA.

6. VENTAJAS DE UN AD620

- PROTEGE AL CIRCUITO DE CONFLICTOS CON EL RUIDO
- SE TIENEN GANANCIAS ALTAS

ECUACIONES:

$$A_v = (4R_1 R_2) / (R_G) - 1$$

$$V_o = (V_B - V_A) \cdot A_v$$

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

2. ¿QUÉ ES UN AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN?

- ES UN DISPOSITIVO ÚTIL, PRECISO Y VERSÁTIL, SE ENCUENTRA COMPUESTO DE VARIOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES DANDO COMO RESULTADO UN CIRCUITO ESTABLE.
- UN AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN POSEE 2 ENTRADAS: UNA INVERSORA (-) Y OTRA NO INVERSORA (+), UNA SALIDA Y UNA TIERRA COMÚN. ESTE ELEMENTO DE DISEÑO PARA TENER UNA ALTA IMPEDANCIA DE ENTRADA Y UN ALTO RECHAZO AL MODO COMÚN.

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

4. VENTAJAS DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

- RECHAZO DEL RUIDO EN MODO COMÚN
- GANANCIA CONTROLADA, SIMPLIFICADA
- LA GANANCIA ES CONSTANTE SOBRE UNA AMPLIA BANDA DE FRECUENCIAS
- ALTA IMPEDANCIA DE ENTRADA (IDEALMENTE INFINITO)
- BAJA IMPEDANCIA DE SALIDA

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

7. DESVENTAJAS DEL RUIDO

- ES UNA SEÑAL NO DESEADA
- SE GENERAN PERTURBACIONES EN LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN O AMPLIFICACIÓN

EL RUIDO A LA SALIDA DE LOS AMPLIFICADORES DE SEÑAL USUALMENTE AUMENTA AL CRECER EL ANCHO DE BANDA.

**SENSOR ZONE** AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

8. EJERCICIO

UTILIZANDO LA INTERFAZ SIMULE EL SIGUIENTE EJERCICIO:

SE TIENE UN CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO CON UN AD620 ALIMENTADO CON 12VDC CUYA SALIDA ES DE 1 A 10 V. PI ES UN SENSOR PT100 Y P2 SIRVE PARA ENCERAR EL CIRCUITO. CALCULE LA GANANCIA Y VOLTAJE OFFSET NECESARIO.

Figura 50. Información de la práctica circuito amplificador de instrumentación AD620

Cuando se ingresa a la parte de información del circuito amplificador AD620 se muestran los objetivos, definiciones, características, ventajas, desventajas y un ejercicio propuesto para que el usuario lo pueda implantar, la forma de interactuar entre escenas es por medio de las flechas y el ícono “home” para retorno a la escena de la práctica en ejecución.



**Figura 51.** Instrucciones

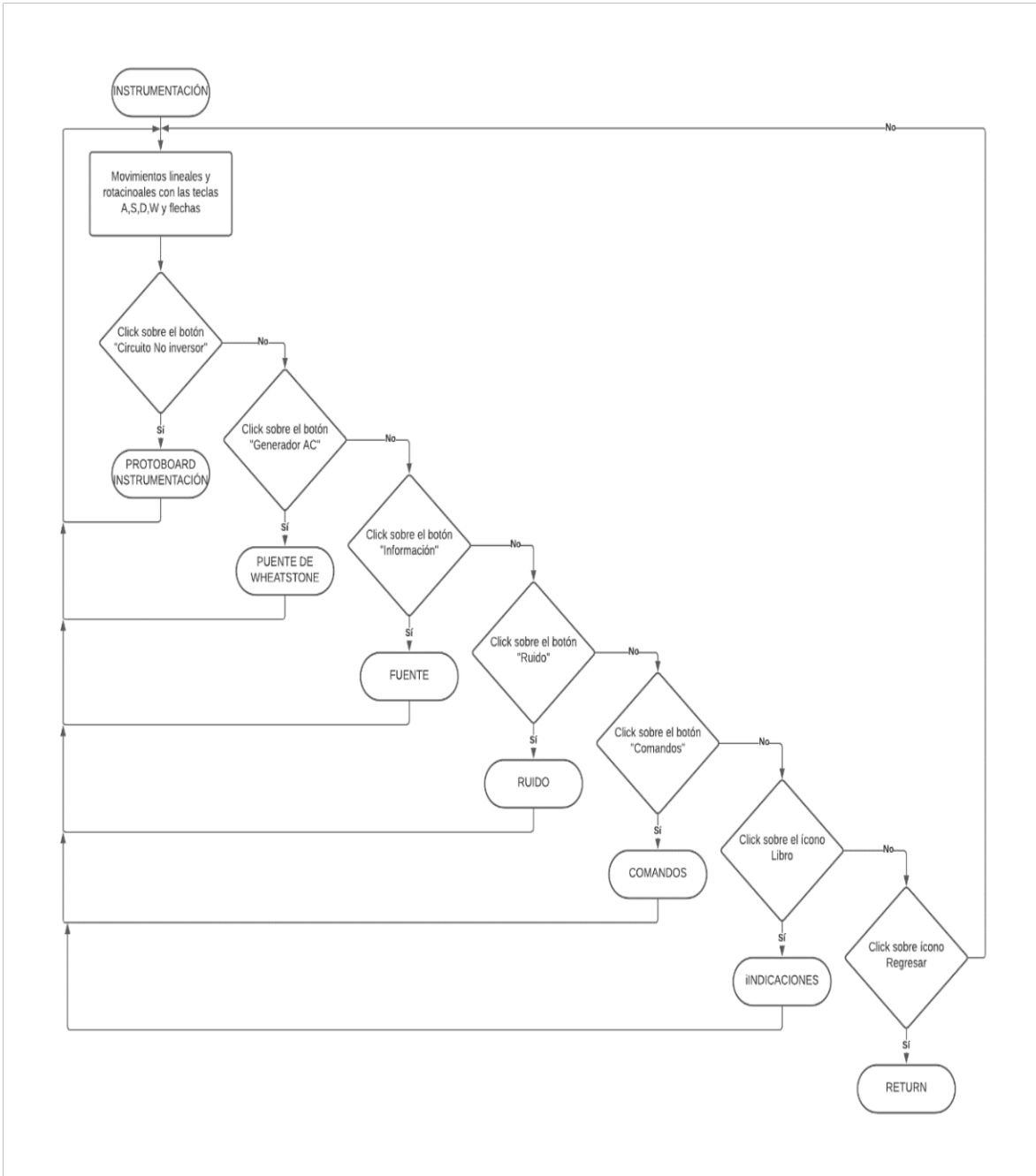
Así mismo, cómo en la práctica anterior se tiene la visualización de los comandos y se puede hacer uso de los movimientos lineales y rotacionales para tener una mejor visualización de las fuentes, protoboards y multímetros.



**Figura 52.** Instrucciones de la práctica del circuito amplificador de instrumentación AD620

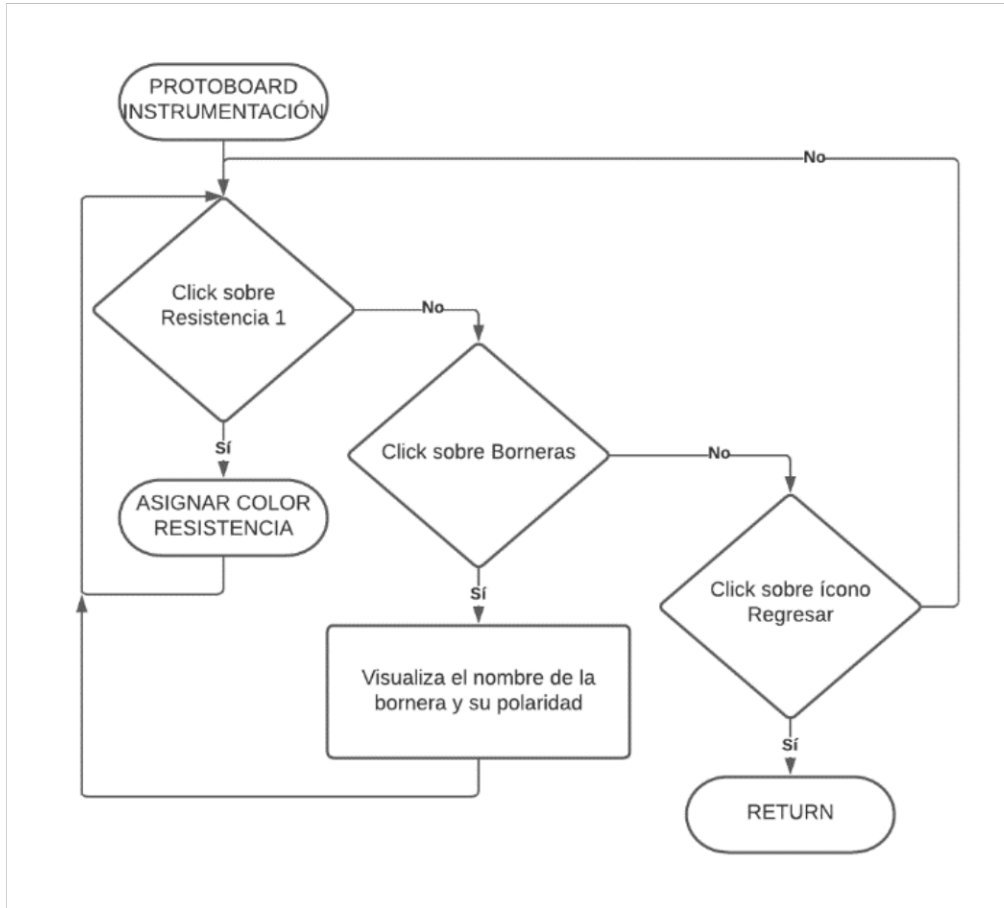
Al ingresar al ícono del libro se tiene una ayuda en dónde se indica las instrucciones del puente de Wheatstone, del protoboard del circuito amplificador AD620 y la fuente de voltaje offset. Para la interacción entre pantallas se tiene las flechas que permiten ir a la siguiente o anterior pantalla y también un ícono adicional que redirecciona a la interfaz principal de la práctica.

En la Figura 53 se puede apreciar el diagrama de bloques de la programación correspondiente.



**Figura 53.** Diagrama de flujo Circuito amplificador de instrumentación

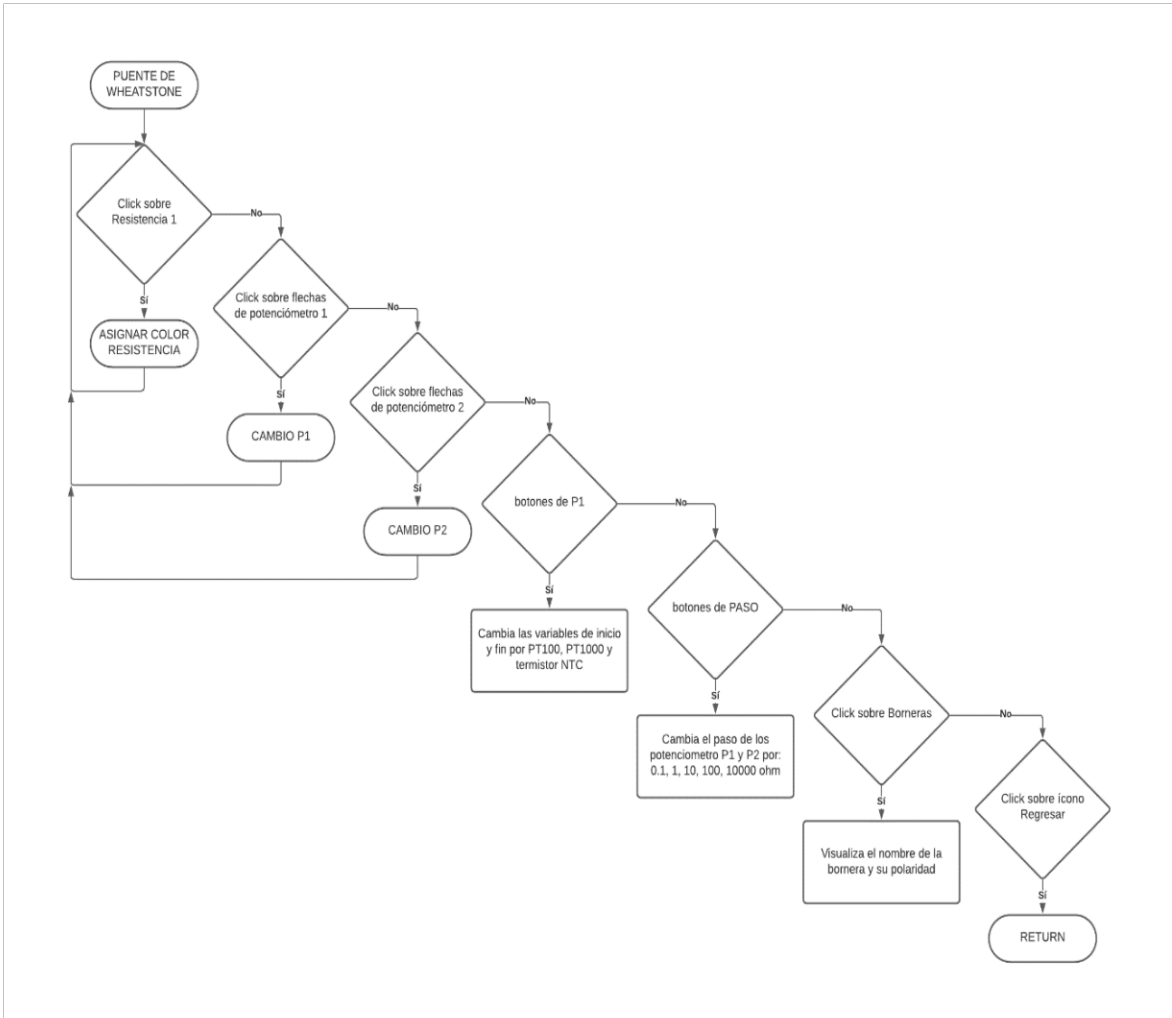
La lógica de programación cuenta con un lazo en el cual, si se llega a presionar algún botón: “Circuito no Inversor”, “Puente de Wheatstone”, “Información”, “Ruido”, “Comandos” o ícono: “Libro”, “Regresar”, redireccionara a la subrutina correspondiente.



**Figura 54.** Protoboard circuito de instrumentación

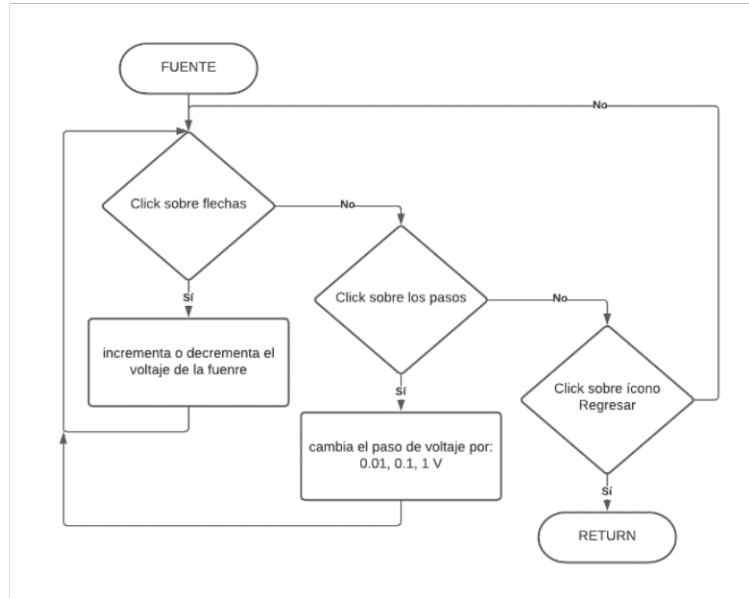
La lógica de programación del “Protoboard”, mostrado en la Figura 54 permite manejar la ganancia del amplificador de instrumentación AD620 mediante el cambio de una sola resistencia. La lógica de programación permite que, al presionar la resistencia se muestre la opción “Asignar color resistencia”. Si se presiona las borneras se visualizará el nombre y polaridad de estas, y si da clic en “Regresar” se vuelve al diagrama de flujo anterior.





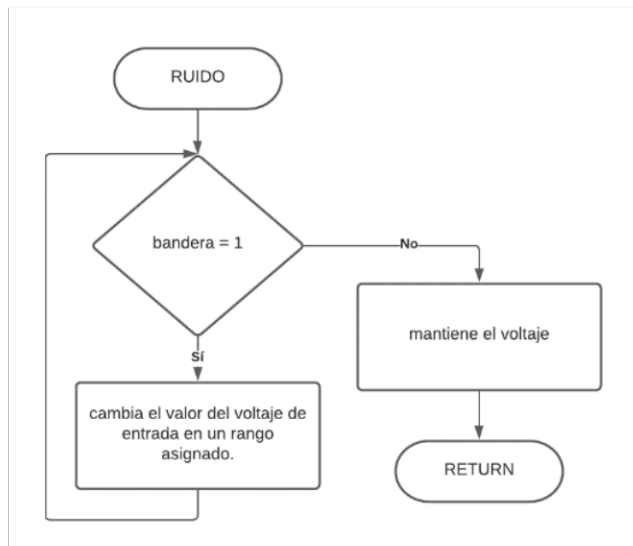
**Figura 55.** Puente de wheatstone

En la Figura 55 se indica la lógica de programación para el manejo y operación del “Puente de Wheatstone”. Esta lógica cuenta con varias funcionalidades, empezando por el cambio de la resistencia R1 con la función “Asignar color resistencia”, las flechas en los potenciómetros que controlan una variable global para modificar los valores de potenciómetro 1 y 2, los botones de P1 para hacer el cambio de valores de PT100, PT1000 y termistor NTC, por último, la visualización de los nombres de las borneras y el botón “Regresar”.



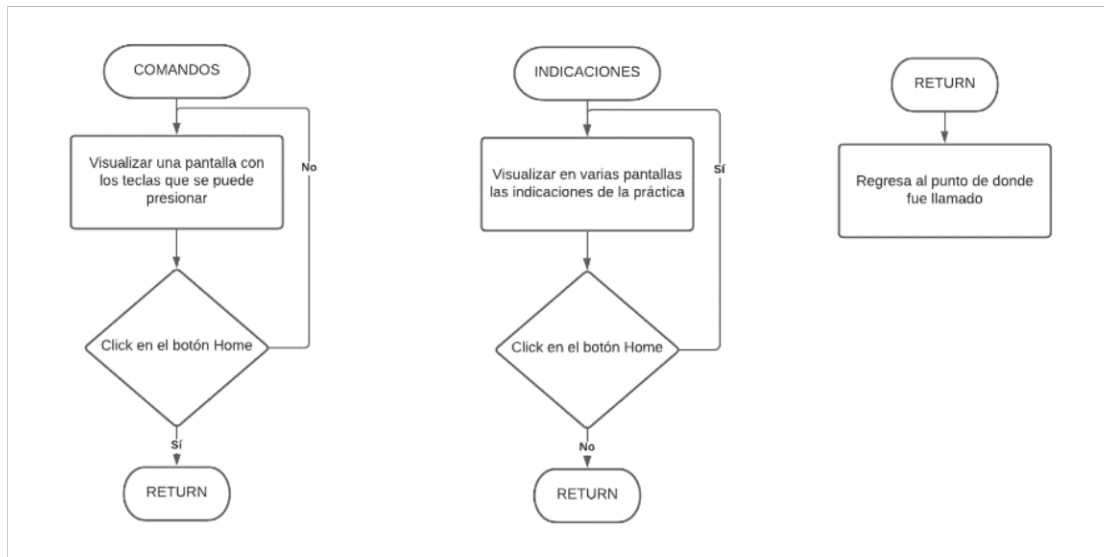
**Figura 56.** Fuente de voltaje OFFSET

La programación de la fuente de voltaje offset indicada en la Figura 56 permite modificar el valor del voltaje por medio de las flechas en incremento o decremento de acuerdo con el paso seleccionado; al entrar al lazo de regresar nos redirige al diagrama de flujo principal de la práctica.



**Figura 57.** Ruido

Para demostrar el ruido a la entrada del circuito amplificador de instrumentación se trabajó con una variable a la cual se le asignó un rango superior y uno inferior, como se puede visualizar en la Figura 57.



**Figura 58.** Comandos, indicaciones

La lógica de programación para los comandos e indicaciones, indicada en la Figura 58 permite retornar o avanzar mediante los botones correspondientes.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 RESULTADOS

Al culminar el desarrollo del software se generó un ejecutable con la versión 0.1 la cual fue puesta a prueba por el desarrollador y se encontraron errores de visualización que fueron solucionados luego de algunos cambios en la programación inicial. La siguiente revisión versión 0.2 fue asistida por parte de profesores del área quienes dieron sus comentarios de forma y contexto las cuales fueron también corregidas. Luego de ello se realizaron las pruebas de la versión 0.3 con los estudiantes de la materia Sensores y Transductores y se encontró un error de visualización. Finalmente, luego de haber corregido todos los errores se obtuvo el ejecutable final de la versión 0.4 para su uso por parte de los profesores de la asignatura Sensores y Transductores.

A continuación, se muestra la operación de la plataforma.

### 3.1.1. CIRCUITO AMPLIFICADOR NO INVERSOR

Para el circuito no inversor se establece una resistencia  $R_1$  de  $220\Omega$  y  $R_2$  de  $2.2k\Omega$ , una señal DC de  $0.5V$  con una resistencia de generador de  $0\Omega$ .



**Figura 59.** Ejercicio propuesto circuito amplificador no inversor

Al aplicar la fórmula del circuito no inversor con los datos antes mencionados se puede observar que se tiene una ganancia de 11, por lo que, si la entrada es de  $0.5V$ , la salida debería ser de  $5.5V$ , como lo muestra la Figura 59.

### 3.1.2. CIRCUITO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620

Para el circuito de instrumentación se consideró un ejercicio con los siguientes datos:

- $R_G = 1k\Omega$
- Sensor PT100 con un valor de  $59\Omega$
- Potenciómetro 2 =  $19\Omega$
- $R_1 = 10k\Omega$
- Voltaje de offset =  $1V$ .

Al resolver el problema matemáticamente aplicando la fórmula de la ganancia del amplificador de instrumentación con los datos propuestos se calcula una ganancia de 50.4.

Cálculo del Puento de Wheatstone:	
$V_a = V_{cc} \frac{Sensor}{R_1 + Sensor} = 12V \cdot \frac{59\Omega}{10000\Omega + 59\Omega} = 0.07038473V$	(2.13)
$V_b = V_{cc} \frac{Pot2}{R_1 + Pot2} = 12V \cdot \frac{19\Omega}{10000\Omega + 19\Omega} = 0.02275676V$	(2.14)
$V_{ab} = V_a - V_b = 0.04762797V = 47.6mV$	(2.15)
Cálculo de ganancia	
$A_v = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 = 50.4$	(2.16)
$V_{out} = (V_{ab} \cdot A_v) + V_{offset} = (47.6mV \cdot 50.4) + 1V = 2.39904V + 1 = 3.4V$	(2.17)

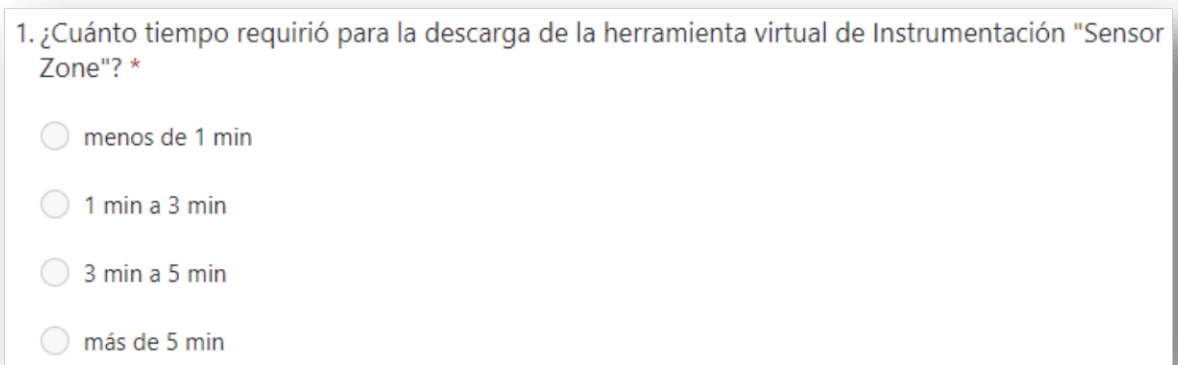
En la Figura 60 se puede observar el desarrollo de la práctica: en la primera imagen se ve la resistencia  $R_G$  que da la ganancia del AD620 con el código de colores (en la parte derecha). En la segunda imagen se ve el puente de wheatstone en dónde se configura la resistencia, el sensor y el potenciómetro de enceramiento, la tercera imagen corresponde a la fuente en donde se regula el voltaje offset del amplificador.



Figura 60. Ejercicio propuesto circuito amplificador de instrumentación

### 3.1.3. PRUEBAS REALIZADAS CON ESTUDIANTES DEL LABORATORIO DE SENSORES Y TRANSDUCTORES

El software "Sensor Zone" fue instalado y usado por 18 estudiantes del Componente Práctico de la materia Sensores y Transductores. Posteriormente se tomó una encuesta desarrollada en Forms, para que, de forma totalmente anónima se contesten las siguientes preguntas realizadas con el fin de poder cuantificar la efectividad de la herramienta virtual. A continuación, se muestra las preguntas planteadas y los resultados obtenidos:



1. ¿Cuánto tiempo requirió para la descarga de la herramienta virtual de Instrumentación "Sensor Zone"? \*

menos de 1 min

1 min a 3 min

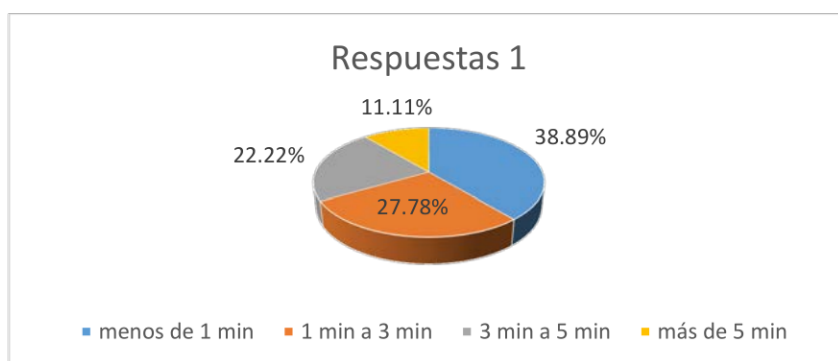
3 min a 5 min

más de 5 min

**Figura 61.** Pregunta 1 de Forms

**Tabla 5.** Tabla de respuestas de la pregunta 1

Respuestas 1	Valoración	Porcentaje
menos de 1 min	7	38,89%
1 min a 3 min	5	27,78%
3 min a 5 min	4	22,22%
más de 5 min	2	11,11%



**Figura 62.** Gráfica de las respuestas de la pregunta 1

Las respuestas a esta pregunta dependen directamente de la velocidad de internet que tienen los estudiantes en sus hogares. Se observa que más del 60% de los encuestados pudo descargar el software en menos de 3 minutos lo cual indica que la muestra tiene una velocidad de descarga rápida. Un poco más del 20% tiene un internet relativamente aceptable y el 11.11% de la muestra tiene un internet deficiente. Al hablar de una enseñanza virtual, la conectividad se vuelve en un aspecto importante ya que no todos los estudiantes tienen las mismas facilidades en el ámbito económico y esto es un limitante para nuestro desarrollo.

2. ¿Tuvo algún problema con la descarga de la herramienta virtual de Instrumentación "Sensor Zone"? \*

Sí

No

**Figura 63.** Pregunta 2 de Forms

**Tabla 6.** Tabla de respuestas de la pregunta 2

Respuestas 2	Valoración	Porcentaje
Sí	1	5,56%
No	17	94,44%





**Figura 64.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 2

La segunda pregunta se correlaciona con la primera, ya que al tener un internet deficiente se puede tener problemas de desconexión y detener la descarga. Más del 90% de los encuestados no tuvieron problema alguno con la descarga y sólo un 5.56% los presentó.

3. ¿Tuvo algún problema con la ejecución de la herramienta virtual de Instrumentación "Sensor Zone"? \*

Sí

No

**Figura 65.** Pregunta 3 de Forms

**Tabla 7.** Tabla de respuestas de la pregunta 3

Respuestas 3	Valoración	Porcentaje
Sí	6	33,33%
No	12	66,67%



**Figura 66.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 3

Los estudiantes probaron la versión 0.3 de la interfaz; las versiones anteriores fueron revisadas por parte de profesores del área y se corrigió errores cómo conceptualización e información. Los problemas que tuvieron los estudiantes fueron de visualización de cierto texto y eso se debía a un cierto tipo de texto utilizado que no se admitía en algunas computadoras. Por ello se corrigió y entregó la versión 0.4.

Se puede observar en la gráfica que más del 60% no tuvieron problema alguno con la herramienta, y un 33.33% tuvo el problema que con las correcciones realizadas se solventó.

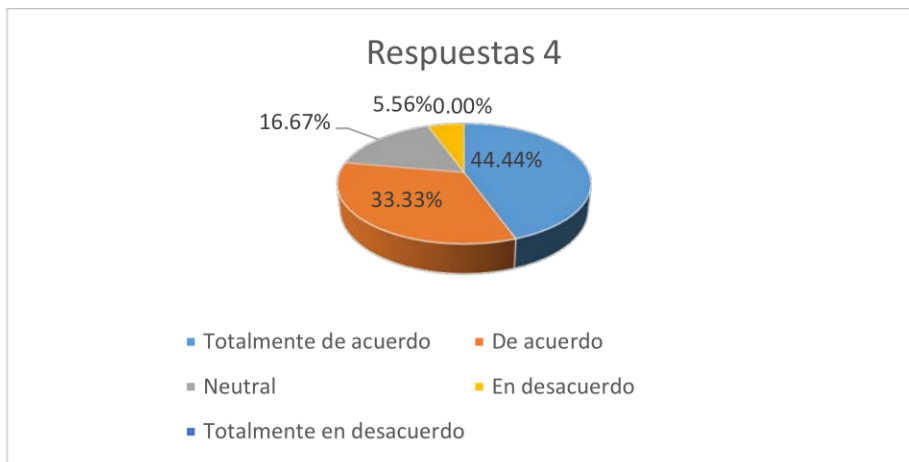
4. ¿Las instrucciones de la herramienta virtual de Instrumentación "Sensor Zone" son claras? \*

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

**Figura 67.** Pregunta 4 de Forms

**Tabla 8.** Tabla de respuestas de la pregunta 4

Respuestas 4	Valoración	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	8	44,44%
De acuerdo	6	33,33%
Neutral	3	16,67%
En desacuerdo	1	5,56%
Totalmente en desacuerdo	0	0,00%



**Figura 68.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 4

Para la pregunta 4 pretendía conocer si las instrucciones descritas dentro de la interfaz son claras. Más del 70% de los encuestados estuvieron totalmente de acuerdo o de acuerdo en que las instrucciones eran claras. Cerca del 17% indicó como respuesta “neutral” lo que indica que entendió las instrucciones, pero no de forma total, lo cual es comprensible ya que en un documento escrito no todos los que lo leen lo entienden de igual manera. Únicamente cerca de un 6% manifestó no entender las instrucciones.

5. ¿La simulación de los circuitos de acondicionamientos presentados en la interfaz es clara? \*

Sí

No

**Figura 69.** Pregunta 5 de Forms

**Tabla 9.** Tabla de respuestas de la pregunta 5

Respuestas 5	Valoración	Porcentaje
Sí	16	88,89%
No	2	11,11%



**Figura 70.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 5

De la muestra de estudiantes encuestados, un poco menos del 90% indicó que la simulación visualizada en la herramienta virtual de instrumentación fue lo suficientemente claro y solamente el 11.11% dijo que no lo era. Por lo cual se puede determinar que la interfaz realizada puede utilizarse en futuras prácticas del componente práctico.

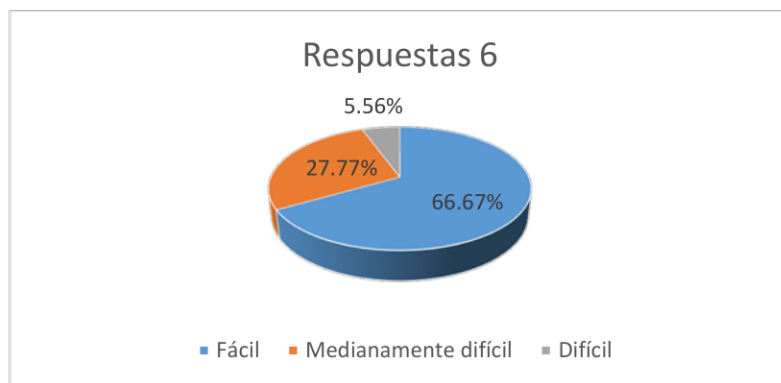
6. El manejo de la herramienta virtual de Instrumentación Sensor Zone es: \*

- Fácil
- Medianamente difícil
- Difícil

**Figura 71.** Pregunta 6 de Forms

**Tabla 10.** Tabla de respuestas de la pregunta 6

Respuestas 6	Valoración	Porcentaje
Fácil	12	66,67%
Medianamente difícil	5	27,77%
Difícil	1	5,56%



**Figura 72.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 6

Al hablar del manejo se refiere a la operabilidad dentro de la interfaz cómo son los movimientos del personaje en el laboratorio y los redireccionamientos hacia las subinterfaces por medio de los botones. Más del 60% de los estudiantes indicaron que era fácil su uso, un pequeño porcentaje con el 27.77% indicó que era un poco difícil y una fracción del 5.56% señaló que su uso era difícil. Más del 90% pudo usar la interfaz sin mayor problema lo cual es un buen indicador para su futuro uso como herramienta de aprendizaje.

7. ¿Cuánto tiempo interactuó con la herramienta virtual de Instrumentación "Sensor Zone"? \*

menos de 5 min

5 min a 15 min

15 min a 30 min

más de 30 min

**Figura 73.** Pregunta 7 de Forms

**Tabla 11.** Tabla de respuestas de la pregunta 7

Respuestas 7	Valoración	Porcentaje
menos de 5 min	3	16,66%
5 min a 15 min	1	5,56%
15 min a 30 min	1	5,56%
más de 30 min	13	72,22%



**Figura 74.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 7

El tiempo de estancia es fundamental ya que gracias a ello se puede identificar cuan aceptable es la interfaz por parte de los estudiantes. Un gran porcentaje (72.22%) se mantuvo un tiempo mayor a 30 minutos dentro de la herramienta virtual, pequeñas fracciones como: el 5.56% con tiempo de intervalo de 5 a 15 minutos, 5.56% de 15 a 30 minutos y el 16.66% con un tiempo inferior a 5 minutos. Esto indica que la herramienta es amigable y promueve su uso

8. Recomendaría usted el uso de la Herramienta "Sensor Zone" en las prácticas de Sensores y Transductores: \*

Sí

No

**Figura 75.** Pregunta 8 de Forms

**Tabla 12.** Tabla de respuestas de la pregunta 8

Respuestas 8	Valoración	Porcentaje
Sí	16	88,89%
No	2	11,11%



**Figura 76.** Gráfico de las respuestas de la pregunta 8

Para la última pregunta se tiene casi el 90% de aceptación y recomendación para el uso de la herramienta virtual por los estudiantes de la materia Sensores y Transductores. Un pequeño porcentaje 11.11% que no está de acuerdo en compartir este software.

### 3.2 CONCLUSIONES

- Al realizar una comparación entre los diferentes softwares especializados y el estudio de las temáticas implementadas en las prácticas se estableció el uso de Inventor 3D, Unity 3D y Microsoft Visual Studio por sus amplias prestaciones y compatibilidades entre sí.
- Al implementar los elementos 3D de instrumentación se conoció de las grandes funcionalidades y facilidades de Inventor 3D para el modelado y exportado al formato admitido por Unity 3D.
- Para la programación de scripts en Microsoft Visual Studio se simplificó códigos y se dedujo que el uso recursivo de funciones permite un mejor orden y menor procesamiento en la ejecución de la herramienta virtual
- El software permite dar un acercamiento real a las prácticas de laboratorio por medio de elementos 3D en un ambiente similar al que se tendría en un laboratorio físico
- Para la implementación de las prácticas de la herramienta virtual se diseñó, planificó y desarrolló de acuerdo con el PEA de la materia de Sensores y transductores abarcando los circuitos de amplificación: inversor, no inversor, diferencial y de

instrumentación que se utilizan como base para el acondicionamiento de circuitos de medida.

- Mediante la herramienta se puede verificar como se correlaciona la teoría con la práctica ya que son las ecuaciones de cada uno de los circuitos lo que se programa dentro de las interfaces.
- Al comparar lo implementado en las interfaces de la herramienta de instrumentación virtual con la implementación física se determinó que las diferencias son mínimas y dependen de la tolerancia de las resistencias. El armado físico podría introducir ruido al circuito real más no al circuito virtual.
- A partir de las pruebas y encuestas realizadas a 18 estudiantes se puede concluir que la herramienta virtual desarrollada es útil, fácil de usar, intuitiva y amigable.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que se utilice la herramienta virtual “Sensor Zone” para complementar la formación de los estudiantes de la materia Sensores y Transductores aun cuando se regrese a un ambiente de modalidad presencial en la Universidad.
- Para futuras implementaciones o mejoras de la interfaz de la herramienta virtual se propone el uso de la tecla escape para la visualización de un menú y el ingreso de valores numéricos por el teclado
- Al momento la herramienta de instrumentación virtual se puede ejecutar únicamente en computadores que tengan sistema operativo Windows, Podría desarrollarse otra versión que admita varios sistemas operativos para su ejecución.



## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chancusig, J., Flores, G., Venegas, G., Cadena, J., Guaypatin, O., & Izurieta, E. (2017). Utilización de Recursos Didácticos interactivos a través de las TIC'S en el proceso de enseñanza matemática. Boletín Virtual, 6(4), 116. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6119349.pdf>
- [2] Colabora con otros creadores, obtén ayuda o simplemente informa de un error | Comunidad | Unity. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://unity.com/es/community>
- [3] The Sandbox Game Maker. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from [https://gamemakerdownload.sandbox.game/?gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpfjb6c8XZ55y3l\\_A4BE-ifWJI9kAd5J-aS1ksM2AFoeKWlwNNm1iUIaAt7IEALw\\_wcB](https://gamemakerdownload.sandbox.game/?gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpfjb6c8XZ55y3l_A4BE-ifWJI9kAd5J-aS1ksM2AFoeKWlwNNm1iUIaAt7IEALw_wcB)
- [4] Game Making Software - Construct 3. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.construct.net/en>
- [5] Visual Studio: IDE y Editor de código para desarrolladores de software y Teams. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- [6] MonoDevelop | MonoDevelop. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.monodevelop.com/>
- [7] Student & Education Software | Autodesk Education Community. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.autodesk.com/education/education-software/overview?sorting=featured&filters=individual>
- [8] blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.blender.org/>
- [9] Fusion 360 | Free Software for Students and Educators | Autodesk. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.autodesk.com/campaigns/education/fusion-360>
- [10] Soluciones | SOLIDWORKS. (n.d.). Retrieved January 5, 2022, from <https://www.solidworks.com/es/solutions>

- [11] Breadboard Connections, Features, Circuit Examples & Datasheet. (n.d.). Retrieved January 13, 2022, from <https://components101.com/misc/breadboard-connections-uses-guide>
- [12] DIP8 | Package & Packing Information | Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation | Asia-English. (n.d.). Retrieved January 13, 2022, from <https://toshiba.semicon-storage.com/ap-en/semiconductor/design-development/package/detail.DIP8.html>
- [13] Kit X20 Unid Bornera P/ Pcb Serie 301 Azul 2 Bornes en venta en Capital Federal Capital Federal por sólo \$ 510.70 - Ocompra.com Argentina. (n.d.). Retrieved January 13, 2022, from <https://www.ocompra.com/argentina/item/kit-x20-unid-bornera-p-pcb-serie-301-azul-2-bornes-662136943/>
- [14] VRB-100M500 Potenciómetro Lineal 500K Ohm - Cetronic. (n.d.). Retrieved January 13, 2022, from <https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=451220018&cPath=783>
- [15] Distancia de dos puntos en el espacio. Cálculo vectorial. – Temas de cálculo. (n.d.). Retrieved January 13, 2022, from <https://temasdec calculo.com/2020/02/17/distancia-de-dos-puntos-en-el-espacio-calculo-vectorial/>