

Aplicación AR Interactiva para el Análisis en Tiempo Real de Circuitos Resistivos

Alejandro Álvarez-Marín, *Member, IEEE*, J. Ángel Velázquez-Iturbide, *Senior Member, IEEE* y Ricardo Campos-Villarroel

Title—Interactive AR App for Real-Time Analysis of Resistive Circuits

Abstract—An augmented reality app for real-time analysis of direct current in resistive circuits is presented. The app allows the manipulation of circuit elements and computes the values of voltage and current intensity using the loop method and applying the Kirchhoff's voltage law. The app can be used in theoretical classes and laboratories. The contributions of this paper are two-fold. First, the app has higher levels of interactivity than other apps in the same domain since it allows defining the configuration and the parameters of the circuit. Second, the app performs more complex computations than similar apps in real-time.

Index Terms—Augmented reality, resistive circuits, laboratories, DC analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología de realidad aumentada (AR, por sus siglas en inglés), integra en tiempo real objetos virtuales, frecuentemente en modelos de tres dimensiones, con escenarios reales [1]. Permite al usuario observar objetos en el mundo real, entregando simultáneamente información adicional, tales como objetos virtuales superpuestos [2], o instrucciones explicativas [3]. AR se utiliza cada vez más en diferentes áreas, incluida la educación [4]. El uso de AR en el aula puede contribuir a mejorar las experiencias de los estudiantes. Su implementación en procesos educativos ha logrado una participación más activa por parte de estudiantes [5], aumentado su interés y motivación para aprender [6], [7], [8]. Esta tecnología, también ha demostrado aumentar el desempeño académico de los estudiantes, debido a su capacidad de permitir un rápido entendimiento de problemas espaciales y relaciones complejas [9], [10], [11].

A. Álvarez-Marín, Universidad de La Serena, Benavente 980, 1720170, La Serena, Chile (e-mail: aalvarez@userena.cl). (<https://orcid.org/0000-0001-7151-3717>)

J.Á. Velázquez-Iturbide, Universidad Rey Juan Carlos, 28933 Móstoles, Madrid, Spain (e-mail: angel.velazquez@urjc.es). (<https://orcid.org/0000-0002-9486-8526>)

R. Campos-Villarroel, Universidad de La Serena, Benavente 980, 1720170, La Serena, Chile (e-mail: rcampos@userena.cl). (<https://orcid.org/0000-0002-4698-6616>)

Una de las áreas donde se han utilizado aplicaciones educativas de AR es la electrónica. La mayoría de las experiencias en esta área se llevan a cabo en laboratorios y permite la interacción con placas electrónicas reales. Utilizando *targets* (elemento o marcador, que debe reconocer un dispositivo como un *smartphone* o *tablet*, para identificar la posición de un objeto virtual que debe ser proyectado), es posible visualizar, no solo componentes electrónicos reales en las placas, sino también componentes virtuales adicionales. En algunos casos, es posible simular el comportamiento de una placa electrónica con interruptores como elementos de AR [12], [13], [14] o conocer el cableado interior de un componente electrónico, al seleccionarlo con un puntero de lápiz [15]. En otros casos, la reparación de una placa electrónica puede guiarse mediante el análisis de sus componentes y posteriormente a través de la orientación de pasos a seguir [16].

Además, hay experiencias con circuitos eléctricos diseñados con símbolos. Este enfoque, más simple, permite interpretar símbolos eléctricos estándar como *targets*, mostrando sus componentes en tres dimensiones y dando una nota explicativa para cada uno de ellos [17]. Una característica más avanzada consiste en incluir interruptores para analizar el comportamiento del circuito al habilitarlos [18]. Además, se pueden configurar circuitos eléctricos a través de *targets* que representan diferentes componentes, para permitir al usuario observar el funcionamiento resultante [5], [17], [18].

Algunas aplicaciones admiten el análisis de equipos electrónicos, donde se identifican componentes eléctricos y electrónicos y proporcionan diferentes tipos de información, tales como datos de monitoreo, visualización de la estructura interna, diseño técnico de circuitos e instrucciones, entre otros [19].

Por lo general, el instructor desempeña un rol orientador en las clases de laboratorio [20], ya sea apoyando el aprendizaje, como guía entre pares [21], o proporcionando las condiciones para realizar simulaciones [13], [14], [16], [18].

Analizamos el grado de interactividad en estas aplicaciones AR. Aqel [22] propone cuatro niveles para analizar el grado de interactividad.

Nivel I: Pasivo. La interacción es muy simple y unidireccional. El estudiante sólo es un receptor de información, al leer texto en pantalla, ver gráficos o ilustraciones, entre otros.

Nivel II: Interacción limitada. Considera una interacción bidireccional simple con el estudiante. Como ejemplo, se pueden incorporar preguntas sencillas para que el estudiante responda.

Nivel III: Interacción compleja. El estudiante puede manipular objetos gráficos para analizar su comportamiento.

Nivel IV: Interacción en tiempo real. El estudiante puede interactuar en una simulación donde estímulos generan respuestas complejas.

Descubrimos que solo cuatro aplicaciones tenían interactividad. Las placas electrónicas se pueden manipular a través de interruptores en realidad aumentada para ver su funcionamiento [13], [14] o para ensamblar circuitos eléctricos básicos, para analizar así, si se configuraron correctamente [5], [17]. Sin embargo, el grado de interactividad de estas aplicaciones solo alcanza el nivel III, dejando poco espacio para un uso educativo más flexible. En consecuencia, es importante abordar el desarrollo de aplicaciones AR con un mayor grado de interactividad.

En el caso específico de la electrónica, la tecnología AR tiene una alta aceptación para abordarla, debido a que los estudiantes lo consideran un tema complejo [17]. Los conceptos de electricidad son difíciles de entender, porque no pueden visualizar qué es la electricidad ni cómo funciona [5]. Por ejemplo, no entienden el flujo de la corriente dentro del circuito o las diferencias entre circuitos en serie y en paralelo. En consecuencia, hacer que la electricidad sea visible a través de aplicaciones AR, hace que el tema sea más intuitivo para ellos [18].

Este trabajo presenta una aplicación AR diseñada para facilitar el aprendizaje de circuitos eléctricos, basado en un mayor grado de interactividad que las aplicaciones existentes.

La aplicación presentada fue desarrollada para analizar la corriente continua (DC, por sus siglas en inglés) en circuitos resistivos. Un circuito resistivo puede incluir baterías, bombillas y resistores. La aplicación permite al usuario cambiar los valores de voltaje de las baterías, así como el valor de resistencia de las bombillas y resistores, en unas condiciones de seguridad controlada. Aunque las bombillas son resistencias, fueron creadas para mostrar el efecto de la intensidad de corriente en su luminosidad. Además, la aplicación calcula en tiempo real y muestra los valores resultantes de intensidad de corriente y voltaje.

Así, los estudiantes, podrán experimentar con diferentes tipos de circuitos, combinando diferentes elementos (baterías, bombillas y resistores), creando una gran cantidad de configuraciones. Así, podrán comprender diferentes tipos de comportamientos de intensidad de corriente mientras practican con circuitos en serie y en paralelo, al modificar los valores de resistencia o voltaje de sus elementos.

Es poco común que aplicaciones similares realicen este tipo de cálculo considerando las condiciones del circuito. Estas características permiten a académicos y estudiantes practicar y experimentar con una amplia gama de ejercicios. Por todo lo anterior, la aplicación propuesta alcanza el máximo nivel de interactividad (nivel IV), correspondiente a una interacción en tiempo real, con respuestas complejas por parte de la aplicación [22]. Aplicaciones AR existentes, como la propuesta de Restivo et al. [18], alcanzan un nivel III de interactividad, correspondiente a una interacción compleja,

debido a que solo permiten colocar elementos en posiciones predefinidas en un circuito eléctrico y no realiza el cálculo de intensidad de corriente en tiempo real.

A continuación, la sección II señala la teoría utilizada para el desarrollo de la aplicación; la sección III presenta detalles de desarrollo relevantes y explica eventos relacionados con los objetos AR; la sección IV un caso para mostrar funcionalidades de la aplicación; y la sección V su validación como herramienta educacional, donde muestra los resultados de una encuesta de percepción aplicada a estudiantes de ingeniería.

II. MODELO SUBYACENTE PARA ANALIZAR CIRCUITOS RESISTIVOS

La aplicación resuelve ejercicios de análisis de circuitos resistivos con el método de la corriente de lazo [23]. Se utilizará la malla de circuito mostrada en la Figura 1, como ejemplo para abordar el desarrollo de cálculos de intensidad de corriente y voltajes, además de mostrar cómo la aplicación

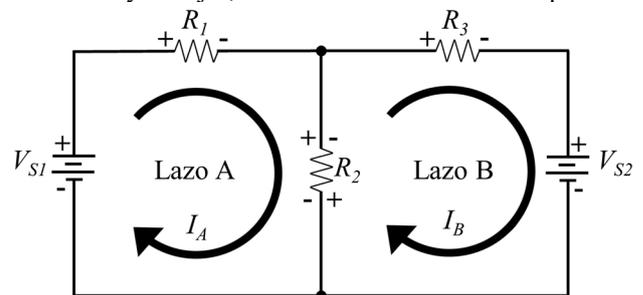


Fig. 1. Circuito resistivo con método de lazo

funciona.

Este método consiste en los siguientes pasos.

Paso 1: Aunque la dirección asignada a una corriente de lazo es arbitraria, se le asigna una corriente en el sentido de las agujas del reloj. En cada lazo sólo debe tener solo una corriente asignada, para evitar redundancia. Esta podría no ser la dirección de la corriente real, pero esto no importa en una primera instancia. El número de asignaciones de corriente de lazo debería ser suficiente para incluir corrientes circulantes a través de todos los componentes del circuito.

Paso 2. Las polaridades de la caída de voltaje en cada lazo se indican de acuerdo con las direcciones de corriente asignadas.

Paso 3. La ley de voltaje de *Kirchhoff* se aplica alrededor de cada lazo. Cuando pasa más de una intensidad de corriente a través de un componente (ej. R_2 en Figura 1), se debe incluir la caída de voltaje correspondiente. De esta forma, se obtiene una ecuación para cada lazo.

La ley de voltaje de *Kirchhoff* aplicada a los dos lazos de la figura 1, produce las siguientes ecuaciones:

$$R_1 I_A + R_2 (I_A - I_B) = V_{S1} \quad \text{para el lazo A} \quad (1)$$

$$R_3 I_B + R_2 (I_B - I_A) = V_{S2} \quad \text{para el lazo B} \quad (2)$$

Términos similares presentes en las ecuaciones se agrupan y reordenan de la manera estándar. Cada incógnita correspondiente a las corrientes debe tener la misma posición en cada ecuación, es decir, el término I_A va primero e I_B se coloca en segundo lugar. Las ecuaciones (1) y (2) se reordenan de la siguiente forma:

$$(R_1 + R_2) I_A - R_2 I_B = V_{S1} \quad \text{para el lazo A} \quad (3)$$

$$-R_2 I_A + (R_2 + R_3) I_B = -V_{S2} \quad \text{para el lazo B} \quad (4)$$

Con las ecuaciones (3) y (4), se obtiene la siguiente estructura de sistema de ecuaciones:

$$a_{1,1} x_1 + a_{1,2} x_2 = b_1 \quad (5)$$

$$a_{2,1} x_1 + a_{2,2} x_2 = b_2 \quad (6)$$

Paso 4. Las ecuaciones resultantes (5) y (6) para las corrientes de lazo se resuelven usando determinantes. Los coeficientes $a_{1,1}$, $a_{1,2}$, $a_{2,1}$, $a_{2,2}$, V_{S1} y V_{S2} , se reemplazan en las ecuaciones (7), (8) y (9) para obtener los valores de I_A , I_B e I_C .

$$I_A = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & a_{1,2} \\ b_2 & a_{2,2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{vmatrix}} \quad (7)$$

$$I_B = \frac{\begin{vmatrix} a_{1,1} & b_1 \\ a_{2,1} & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{vmatrix}} \quad (8)$$

$$I_C = I_A - I_B \quad (9)$$

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN

En esta sección, se presentan detalles de desarrollo que son relevantes para la programación y explican eventos relacionados con objetos AR. La aplicación, denominada “*INGAR DC Analysis*”, opera cinco mallas diferentes de circuitos resistivos, que se pueden seleccionar en la pantalla de inicio. Una malla corresponde a un circuito en serie, mientras que cuatro corresponden a circuitos en paralelo, las cuales pueden interactuar hasta con cuatro baterías, bombillas y/o resistores simultáneamente.

La arquitectura de la aplicación consta de tres entornos de desarrollo: *Vuforia* que reconoce y gestiona los targets, *Blender* para el modelado de objetos y *Unity* como motor gráfico. Este último sincroniza los *targets* y los modelos 3D para obtener los objetos AR. Además, es el encargado de capturar eventos desencadenadores (*Triggers*) y establecer comportamientos. También se encarga de gestionar el orden

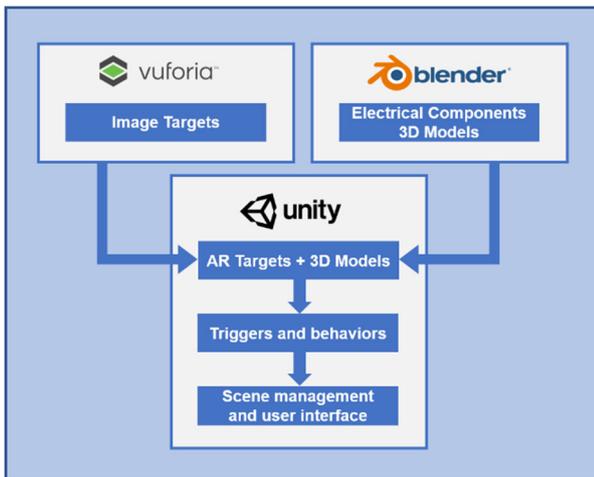


Fig. 2. Arquitectura de la aplicación

de escenas y la interfaz de usuario de la aplicación (Figura 2).

El desarrollo de la aplicación se facilita utilizando prefabs (elementos predefinidos), que se obtienen del *Vuforia SDK*. La aplicación utiliza un *tracker* óptico en su funcionamiento. Esta tecnología permite determinar con precisión, la posición de un elemento virtual en un entorno real. Los circuitos, baterías, bombillas y resistores utilizan un código QR como

target, para posicionar cada objeto AR asociado en el espacio.

Los objetos tridimensionales se crearon con *Blender*. Se creó un modelo correspondiente al circuito resistivo, compuesto por siete ramas enumeradas del 1 al 7 (Figura 3). Una rama es una ruta entre dos nodos donde se pueden incluir

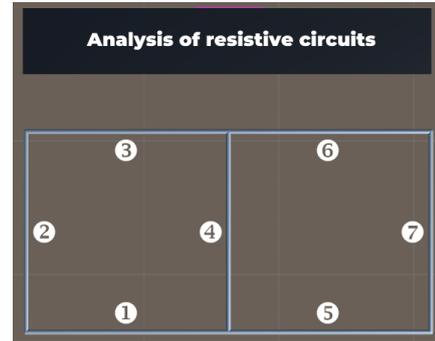


Fig. 3. Circuito en *Unity* compuesto por siete ramas

los objetos AR que interactuarán con ella.

A las baterías, se les asignó un valor de voltaje predeterminado de 10 V. Esta puede cambiar su polaridad.

A las bombillas se le asignó una resistencia óhmica predeterminada de 10 Ω . La intensidad luminosa de la bombilla depende de la intensidad de corriente que circula a través de ella.

Se crearon dos tipos de resistores, uno de cuatro y otro de cinco bandas. Se les asignó una resistencia óhmica predeterminada de 10 Ω para resistores de 4 bandas y 100 Ω para resistores de 5 bandas.

Se incorporó un componente colisionador en cada uno de los elementos (circuito, baterías, bombillas y resistores). Un componente colisionador, que puede ser de cápsula, caja, esfera o malla, proporciona un volumen a un objeto digital, con el propósito de detectar si se producen colisiones físicas entre elementos. A cada una de las siete ramas del circuito se le asignó un colisionador de cápsulas, mientras que a baterías, bombillas y resistores se asignó un colisionador de caja

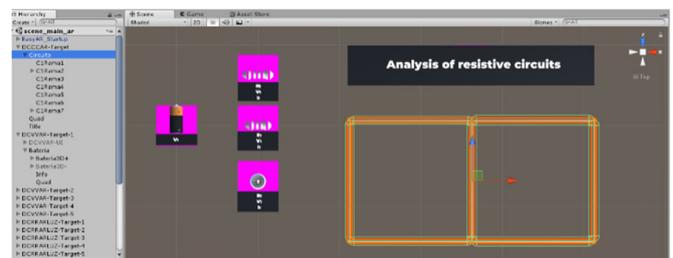


Fig. 4. Objetos AR con sus respectivos colisionadores

(Figura 4).

El sistema de secuencias de comandos de Unity puede detectar cuándo ocurren colisiones e instanciar acciones utilizando la función *OnCollisionEnter*. Sin embargo, también puede usar el motor de física simplemente para detectar cuándo un colisionador ingresa al espacio de otro colisionador, sin crear una colisión. Un colisionador configurado como *Trigger* (usando la propiedad “*Is Trigger*”) no se comporta como un objeto sólido y simplemente permitirá que otros colisionadores lo atraviesen. Cuando un colisionador ingresa al espacio de otro colisionador de tipo *Trigger*, se llamará a las funciones *OnTriggerEnter*, *OnTriggerStay* y *OnTriggerExit* en las secuencias de

comandos de *Trigger* del objeto [24].

Durante el desarrollo de la aplicación, todos los colisionadores de los objetos se configuraron como *Trigger*. A cada una de las ramas del circuito se le asigna la etiqueta "circuito" para identificar cuándo existe una interacción con otro elemento con etiqueta "batería", "bombilla" o "resistor".

Se creó un *script* llamado "*calculator*", asignado a baterías, bombillas y resistores, y se ejecuta cuando alguno de estos componentes entra en contacto con el "circuito".

Cuando los objetos AR entran en contacto con el circuito, se activan los eventos *OnTriggerEnter*, *OnTriggerStay* y *OnTriggerExit*.

La aplicación identifica los valores de los objetos tipo bombilla y resistor presente en las ramas mediante la función *GameObject.Find* ("número de rama"). *GetComponent* <*FindComponent*> (). *Coef*.

Así mismo, la aplicación identifica los valores de voltaje de las baterías mediante la función *GameObject.Find* ("número de rama "). *GetComponent* <*FindComponent*> (). *Cons*.

El *script* "*calculator*" resuelve las ecuaciones de la ley de voltaje de *Kirchhoff* mediante las ecuaciones (7), (8) y (9) utilizando la función *m.GetDeterminant* ().

La aplicación también asigna un color de acuerdo con el valor de la intensidad de corriente que circula en cada rama del circuito. El gris indica que no hay corriente circulando por la rama, el amarillo corresponde a que circula una intensidad de corriente baja, el naranja a una intensidad de corriente media y el rojo a una intensidad de corriente alta (Figura 5).

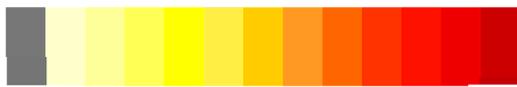


Fig. 5. Escala de valores de intensidades de corriente

Se realizaron pruebas de la aplicación y dos problemas fueron evidenciados.

Primero, la visualización de varios objetos AR era inestable. Al incorporar varios *targets*, algunos de los objetos AR dejaban de visualizarse. Esto dio como resultado la inestabilidad en el desarrollo de la experiencia. Al comienzo del diseño de la aplicación, se consideró el uso de dos *tracker*, el primero exclusivo para el circuito y el segundo para los otros elementos. Sin embargo, la solución a este problema fue utilizar un solo *tracker*. La mayoría de los dispositivos móviles tienen una cámara y utilizan un solo *tracker*; por lo tanto, estos dispositivos móviles causaron conflictos en la detección de los *targets* al trabajar con una aplicación que intentaba acceder con dos *tracker*.

Después de haber resuelto el problema anterior, se detectaron dificultades en el cálculo de ecuaciones en tiempo real. Al principio, cada tipo de objeto AR tenía un único código *QR* en común como *target*. Por ejemplo, tres bombillas en un circuito utilizaban el mismo código *QR*. La aplicación, al detectar varios *targets* del mismo tipo, instanciaba la misma cantidad de elementos prefabricados de objetos AR. Cuando un *target* perdía foco por un momento, se generaba un nuevo objeto AR. Esto hizo que los valores predeterminados en los objetos AR se restablecieran. Esto también provocaba que valores duplicados permanecieran en el proceso de cálculo de la aplicación, los que también afectaban los resultados. La solución a estos problemas fue

asignar un *target* individual para cada objeto AR. Por ejemplo, al visualizar tres bombillas en un circuito, se utilizan tres *targets* diferentes.

Resolver ambos problemas, permitió a la aplicación lograr niveles de estabilidad esperada, al corregir los problemas de visualización y cálculo de ecuaciones en tiempo real. No obstante, la aplicación presenta limitaciones propias de la tecnología: pequeños grados de inestabilidad y parpadeo de los objetos virtuales [25]; [26]; [27].

IV. UN CASO DE APLICACIÓN

Para ilustrar cómo funciona la aplicación, se resolverá un ejercicio que incluye un circuito con dos baterías (10 V y 5 V) y tres resistores (470 Ω, 820 Ω y 220 Ω). Se requiere que la aplicación calcule la corriente que pasa a través de cada rama del circuito. En la aplicación, las corrientes de lazo I_A e I_B se asignan en sentido horario. El lazo A está compuesto por las ramas 1, 2, 3 y 4, mientras que el lazo B está compuesto por las ramas 4, 5, 6 y 7 (Figura 6).

Primero, los objetos AR se incorporan al circuito (Figura 7). Los valores predeterminados de cada uno de los objetos se configuran acorde al ejercicio.

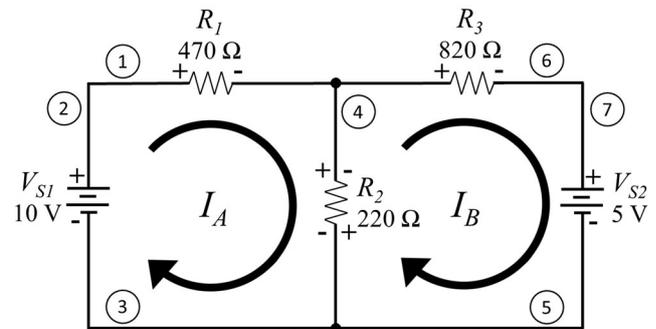


Fig. 6. Ejercicio propuesto. Círculos identifican número de cada rama

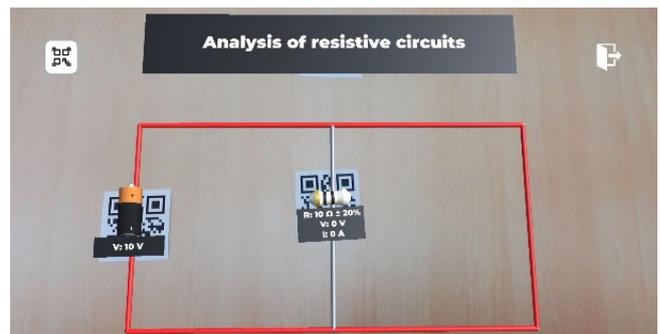


Fig. 7. Circuito con los primeros objetos, con valores predeterminados

Como ejemplo, se muestra el cambio en el valor de resistencia óhmica del resistor de la rama 4. En la pantalla del dispositivo móvil, se toca el resistor y aparecerá una interfaz donde se le puede cambiar el valor de resistencia óhmica (Figura 8). Una vez que el valor de la resistencia ha cambiado, muestra su nuevo valor correspondiente a 220 Ω en el circuito y sus anillos cambian de color de acuerdo con el estándar internacional.

Se incorporan los demás elementos correspondientes al ejercicio, configurando cada uno de sus valores. En la aplicación, el circuito identifica cuándo las dos baterías y los tres resistores entran en contacto con él.

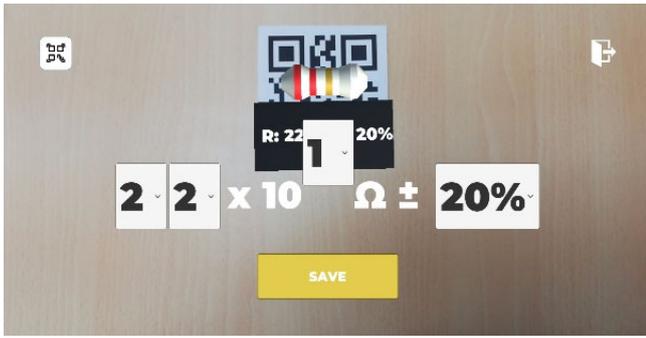


Fig. 8. Cambio de valor de resistencia óhmica de resistor

La aplicación identifica los resistores posicionados en las ramas 1, 2 y 3 y asigna la suma de sus valores a R_1 (en este caso 470). Identifica los resistores posicionados en la rama 4 y asigna la suma de sus valores a R_2 (en este caso 220). Identifica los resistores posicionados en las ramas 5, 6 y 7 y asigna la suma de sus valores a R_3 (en este caso 820).

Los valores identificados por la aplicación se reemplazan en las ecuaciones (3) y (4) para obtener las ecuaciones (11) y (12).

$$690 I_A - 220 I_B = 10 \quad \text{para el lazo A} \quad (11)$$

$$-220 I_A + 1040 I_B = -5 \quad \text{para el lazo B} \quad (12)$$

La aplicación, utilizando los valores obtenidos de las ecuaciones (11) y (12), construye matrices para las corrientes I_1 e I_2 .

La aplicación calcula los determinantes de las matrices y obtiene los valores de I_1 , I_2 e I_3 . Los valores resultantes son los siguientes: $I_1 = 13,9$ mA; $I_2 = -1,87$ mA; $I_3 = 15,8$ mA (Figura 9). El valor de I_2 es negativo, lo que indica que va en la dirección opuesta a la solución propuesta.

La aplicación “INGAR DC Analysis” se encuentra disponible para descargar en el siguiente enlace: www.ingarlabs.com/dcanalisis

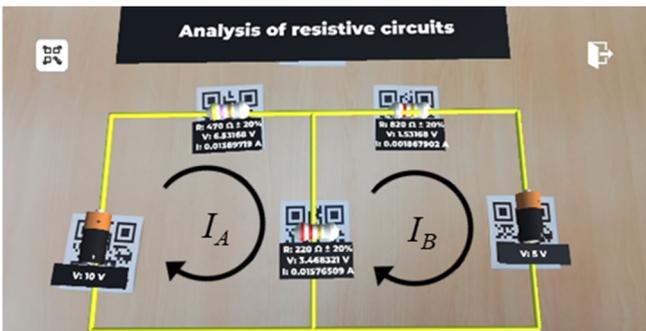


Fig. 9. Circuito completo con objetos AR valores del ejercicio propuesto

V. VALIDACIÓN COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA

A. Encuesta de Percepción

Se buscó medir variables que pudieran explicar las actitudes de estudiantes hacia la aplicación, y determinar su uso potencial en sus estudios.

Para tal efecto, las variables “Actitud de Uso” e “Intención de Uso” fueron incorporadas en una encuesta para medir la percepción en estudiantes de Ingeniería. La actitud hacia el uso se refiere a la evaluación realizada por el usuario con respecto a la conveniencia de usar una tecnología determinada [28], mientras que, la intención de uso es

definida como la probabilidad subjetiva que una persona utilice un sistema [29]. Estas variables fueron elegidas, debido a su presencia en modelos propuestos para predecir el comportamiento en la adopción de tecnologías de la información, [30]; [31]; [32]; [33]; [34]; [35].

Se realizó una revisión de la literatura para adaptar las preguntas de las variables seleccionadas. Cinco preguntas se utilizaron para la actitud hacia el uso [36] y tres para la intención de uso [37]. Ninguna pregunta en las respectivas variables fue descartada, respecto a los estudios originales. Una escala *Likert* de 5 puntos fue utilizada (1-totalmente en desacuerdo; 2-en desacuerdo; 3-ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4-de acuerdo; 5-totalmente de acuerdo).

La aplicación desarrollada fue evaluada por estudiantes de la Universidad de La Serena que cursan tercer y cuarto año en Ingeniería, ya que sus programas académicos incluyen una asignatura de electromagnetismo, donde se enseñan circuitos eléctricos. La asignatura consta de ocho secciones de laboratorio y es impartida por cuatro académicos.

Se utilizó una encuesta *online* para la recolección de datos. La encuesta contenía, al comienzo, un video de tres minutos que muestra el funcionamiento de la aplicación “INGAR DC Analysis”. El video muestra un ejemplo de cada tipo de circuito soportado por la aplicación: un circuito con malla en serie, y cuatro circuitos con mallas en paralelo. El video se encuentra disponible en: youtu.be/2BEOJ2n2E3w

Al final de la encuesta se incluía un *link* donde los estudiantes podían descargar la aplicación en *Google Play* (para sistemas *Android*) y *APP Store* (para sistemas *IOS*). La aplicación tuvo un total de 158 descargas. Los estudiantes pudieron practicar en sus dispositivos móviles fuera de clases, los ejercicios que se mostraron en el video, y otros con libre disposición.

Un total de 124 estudiantes respondieron la encuesta. 83 de ellos correspondieron al sexo masculino, mientras que 41 al sexo femenino. 40 estudiantes pertenecían al programa de Ingeniería Industrial, 31 a Ingeniería Mecánica, 26 a Ingeniería en Minas, 11 a Ingeniería Civil, y 16 a otras ingenierías. La Tabla I muestra las respuestas promedio de los estudiantes al responder la encuesta de percepción.

TABLA I: RESULTADOS DE ENCUESTA DE PERCEPCIÓN

Variables	Prom	Desv
Actitud hacia el Uso		
Pienso que utilizar la aplicación en clases sería positivo	4.55	0.82
La aplicación es tan interesante que quieres saber más sobre ella	4.19	0.8
Tiene sentido utilizar esta aplicación para estudiar circuitos eléctricos	4.69	0.69
La aplicación es una buena idea	4.64	0.71
Otras personas deberían utilizar la aplicación	4.24	0.81
Promedio para variable Actitud hacia el Uso	4.46	0.79
Intención de Uso		
Quisiera tener esta aplicación si tuviera que estudiar circuitos eléctricos	4.6	0.7
Tendría la intención de utilizar esta aplicación para estudiar circuitos eléctricos	4.5	0.7
Recomendaría a otros estudiantes utilizar esta aplicación para estudiar circuitos eléctricos	4.5	0.7
Promedio para variable Intención de Uso	4.5	0.7

B. Discusión de Resultados

Resultados preliminares establecen una actitud positiva hacia la aplicación “*INGAR DC Analysis*”. La variable *Actitud hacia el Uso* obtuvo un promedio de 4.46, mientras que la *Intención de Uso*, obtuvo un 4.5. A través de estos altos puntajes, los estudiantes confirman la conveniencia de usar la aplicación en sus estudios.

Dentro de las respuestas destacan que los estudiantes encuentran que la aplicación es una buena idea y que tiene sentido utilizarla como una herramienta de apoyo en el aprendizaje de circuitos eléctricos. Así, los estudiantes encuentran positivo la incorporación de esta aplicación en el aprendizaje de circuitos eléctricos y quisieran saber más sobre cómo funciona. Además, al creer que otros estudiantes también deberían utilizar esta aplicación, puede significar que sea altamente recomendada. Lo anterior demuestra una actitud positiva para utilizar la aplicación para sus estudios en el caso de que pudieran disponer de ella.

La *Intención de Uso* también obtuvo un alto puntaje. Destaca que los estudiantes quisieran tener esta aplicación para estudiar circuitos eléctricos. Esto demuestra que existe más que una buena disposición hacia la herramienta, sino que existe una voluntad real de utilizarla. Lo anterior se complementa con una intención real de recomendar el uso de esta aplicación a otros estudiantes. Por sí sola, esta variable, debería ser suficiente para predecir el uso de esta tecnología [38]. Por lo tanto, se puede inferir que existe una intención real por parte de los estudiantes, de utilizar esta aplicación para el aprendizaje de circuitos eléctricos.

VI. CONCLUSIONES

Se ha presentado *INGAR DC Analysis*, una aplicación AR para el análisis de corriente continua en circuitos resistivos. Permite interactuar con baterías, bombillas y resistores con un circuito. Muestra en tiempo real intensidades de corriente y voltajes en cada uno de los elementos que interactúan con el circuito.

La aplicación se puede utilizar en clases teóricas para que académicos puedan enseñar conceptos y comportamientos de circuitos eléctricos. También se puede usar en entornos de laboratorio, donde los estudiantes pueden practicar conceptos aprendidos. La aplicación puede fomentar el aprendizaje kinestésico ya que los estudiantes deben mover objetos AR en la aplicación para desarrollar los ejercicios.

La aplicación tiene dos características destacadas que no se encuentran en aplicaciones similares. Primero, el usuario puede personalizar la malla y los parámetros del circuito. Por lo tanto, hay una amplia gama de ejercicios disponibles para que los estudiantes experimenten y aprendan activamente. Además, la aplicación resuelve cada problema haciendo cálculos no triviales en tiempo real.

Se realizó una encuesta de percepción a estudiantes de programas de ingeniería. Los resultados indican una positiva actitud hacia el uso y una elevada intención de uso de la aplicación. Esta última variable debería ser suficiente para predecir que los estudiantes utilizarán esta aplicación para estudiar circuitos eléctricos.

En el futuro, se propone medir la usabilidad de la aplicación [39], así como realizar estudios más complejos para determinar otras variables que permitan explicar la intención de uso de la aplicación. Un ejemplo de lo anterior

es determinar un modelo de aceptación de esta tecnología mediante ecuaciones estructurales, incorporando las variables *Facilidad de Uso Percibida* y *Utilidad Percibida* [30], al utilizar esta aplicación en una actividad académica en condiciones controladas.

Además, se pueden incorporar variables propias de los estudiantes y de su relación con las tecnologías, tales como su *Optimismo Tecnológico* y su tendencia a la *Adopción Temprana de Tecnologías* [40]. También se propone determinar el impacto de su utilización sobre el desempeño académico de los estudiantes, así como determinar la percepción de su valor educativo por parte de los docentes.

Para finalizar, se sugiere analizar el potencial integrador de este tipo de herramientas interactivas con un sistema de gestión de aprendizaje centralizado y con disponibilidad en tiempo real para el docente. Así, se podrían integrar nuevos contenidos relacionados, y realizar un seguimiento de los ejercicios resueltos y las dificultades experimentadas por los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Unidad de Mejoramiento Docente y el Departamento de Investigación y Desarrollo de la Universidad de La Serena (PR18362), y el proyecto de investigación S2018/TCS-4307 de la Comunidad Autónoma de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] M. Billinghurst, and A. Duenser, “Augmented reality in the classroom,” *Comput.*, vol. 45, no. 7, pp. 56-63, July 2012, doi: 10.1109/MC.2012.111
- [2] R. Azuma, “A survey of augmented reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environ.*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, August 1997, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355
- [3] S. Feiner, B. Macintyre, and D. Seligmann, “Knowledge-based augmented reality,” *Commun. of the ACM*, vol. 36, no. 7, pp. 53-62, July 1993, doi: 10.1145/159544.159587
- [4] A. Dey, M. Billinghurst, R. Lindeman, and J. Swan, “A systematic review of 10 years of augmented reality usability studies: 2005 to 2014,” *Frontiers in Robot. and AI*, vol. 5, no. 37, April 2018, doi: 10.3389/frobt.2018.00037
- [5] W. Matcha, and D. Awang, “User preference in collaborative science learning through the use of Augmented Reality,” *Int. Congress on Eng. Educ.*, pp. 64-68, December 2012, doi: 10.1109/ICEED.2012.6779271
- [6] F. Ayala, E. Blázquez, and F. Montes-Tubío, “Incorporation of 3D ICT elements into class,” *Comput. Appl. in Eng. Educ.*, vol. 25, no. 3, pp. 542-549, March 2017, doi: 10.1002/cae.21802
- [7] F. Dinis, A. Guimarães, B. Carvalho, and J. Martins, “Virtual and augmented reality game-based applications to civil engineering education,” in *IEEE Global Eng. Educ. Conf.*, pp. 1683-1688, April 2017, doi: 10.1109/EDUCON.2017.7943075
- [8] C. Sahin et al., “Wireless communications engineering education via Augmented Reality,” in *IEEE Frontiers in Educ. Conf.*, pp. 1-7, October 2016, doi: 10.1109/FIE.2016.7757366
- [9] M. Bergamaschi, and I. Silveira, “Enhancing the understanding of 3d objects for engineering students: A mixed methodology of AR application and traditional educational materials,” in *Symp. on Virtual and Augmented Reality*, pp. 127-130, May 2014, doi: 10.1109/SVR.2014.44
- [10] M. Contero, J. Gomis, F. Naya, F. Albert, and J. Martin-Gutierrez, “Development of an augmented reality based remedial course to improve the spatial ability of engineering students,” *Frontiers in Educ. Conf. Proc.*, pp. 1-5, October 2012, doi: 10.1109/FIE.2012.6462312
- [11] J. Cheng, Y. Wang, D. Tjondronegoro, and W. Song, “Construction of Interactive Teaching System for Course of Mechanical Drawing Based on Mobile Augmented Reality Technology,” *Int. J. of Emerging Technol. in Learn.*, vol. 13, no. 2, pp. 126-139, February 2018, doi: 10.3991/ijet.v13i02.7847
- [12] M. Akçayır, G. Akçayır, H. Pektaş, and M. Ocak, “Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students’ laboratory skills and attitudes toward science laboratories,”

- Comput. in Human Behav., vol. 57, pp. 334–342, April 2016, doi: 10.1016/j.chb.2015.12.054
- [13] J. Cubillo, S. Martin, M. Castro, and R. Meier, "Control of a remote laboratory by augmented reality," IEEE Int. Conf. on Teaching, Assessment, and Learn. for Eng., pp. 11-15, August 2012, doi: 10.1109/TALE.2012.6360297
- [14] A. Mejias, and J. Andujar, "A pilot study of the effectiveness of augmented reality to enhance the use of remote labs in electrical engineering education," J. of Sci. Educ. and Technol., vol. 21, no. 5, pp. 540-557, October 2012, doi: 10.1007/s10956-011-9345-9
- [15] N. Frid, D. Hofman, and V. Struk, "Work in progress: Embedded computer engineering learning platform capabilities," Global Eng. Educ. Conf., pp. 751-753, March 2015, doi: 10.1109/EDUCON.2015.7096053
- [16] T. Haramaki, and H. Nishino, "An Engineering Education Support System Using Projection-Based AR," Int. Conf. on Network-Based Inform. Syst., pp. 267-272, September 2016, doi: 10.1109/NBiS.2016.67
- [17] J. Martin-Gutierrez, P. Fabiani, W. Benesova, M. Meneses, and C. Mora, "Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education," Comput. in Human Behav., vol. 51, pp. 752–761, October 2015, doi: 10.1016/j.chb.2014.11.093
- [18] M. Restivo, J. Rodrigues, and M. Chouzal, "Let's work with AR in DC circuits," Int. Conf. on Interactive Collaborative Learn., pp. 884-885, December 2014, doi: 10.1109/ICL.2014.7017890
- [19] I. Oprea, S. Costinaş, C. Ionescu, and D. Nistoran, "Towards augmented reality in power engineering," Int. Symp. on Advanced Topics in Electrical Eng., pp. 39-44, March 2017, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905160
- [20] S. Shanab, S. Odeh, R. Hodrob, and M. Anabtawi, "Augmented reality internet labs versus hands-on and virtual labs: A comparative study," Int. Conf. on Interactive Mobile and Comput. Aided Learn., pp. 17-21, November 2012, doi: 10.1109/IMCL.2012.6396444
- [21] A. Noorasura, and S. Sazilah, "A model of mobile learning object design for concept comprehension using reciprocal teaching strategies and augmented reality," Int. Conf. on Comput. Sci. and Automat. Eng., vol. 2035, pp. 717-720, June 2011, doi: 10.1109/CSAE.2011.5952775
- [22] M. Aquel, "The Effect of Different Interaction Levels on Instructional Design Learners," Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 103, pp. 1035-1043, November 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.429
- [23] T. Floyd, "Principles of electric circuits", Pearson Education, 2007.
- [24] Unity, 2019. <https://docs.unity3d.com/2018.3/Documentation/Manual/CollidersOverview.html>. Accessed Dec. 17.
- [25] J. Camba, M. Contero, and G. Salvador-Herranz, "Desktop vs. mobile: A comparative study of augmented reality systems for engineering visualizations in education," IEEE Frontiers in Educ. Conf. Proc., pp. 1-8, October 2014, doi: 10.1109/FIE.2014.7044138
- [26] D. Fonseca, S. Villagrana, F. Vails, E. Redondo, A. Climent, and L. Vicent, "Engineering teaching methods using hybrid technologies based on the motivation and assessment of student's profiles," in IEEE Frontiers in Educ. Conf. Proc., pp. 1-8, October 2014, doi: 10.1109/FIE.2014.7044209
- [27] F. Ayala, F. Javier, B. Parra, E. Beatriz, M. Tubio, and F. de Paula, "From 2D to 3D: Teaching terrain representation in engineering studies through Augmented reality: Comparative versus 3D pdf," in IEEE Frontiers in Educ. Conf. Proc., pp. 1-4, October 2014, doi: 10.1109/FIE.2014.7044193
- [28] M. Fishbein, and I. Ajzen. Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research. Addison Wesley, 1975.
- [29] F. Davis. User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. International Journal of Man-Machine Studies, vol. 38, no. 3. Pp. 475-487, March 1993. doi: 10.1006/imms.1993.1022
- [30] F. Davis. A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results. PhD thesis. MIT Sloan School of Management, USA, 1985.
- [31] V. Venkatesh, and F. Davis, "A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies," Manage. Sci., vol. 46, no. 2, pp. 186–204, February 2000, doi: 10.1287/mnsc.46.2.186.11926
- [32] V. Venkatesh, and H. Bala, "Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions," Decis. Sci., vol. 39, pp. 273-315, May 2008, doi: 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x
- [33] C. Lin, H. Shih, and P. Sher, "Integrating technology readiness into technology acceptance: The TRAM model," Psychology and Marketing, vol. 24, no. 7, pp. 641–657, July 2007, doi: 10.1002/mar.20177
- [34] J. Oh, and S. Yoon, "Validation of Haptic Enabling Technology Acceptance Model (HE-TAM): Integration of IDT and TAM," Telematics and Inform., vol. 31, no. 4, pp. 585–596, November 2014, doi: 10.1016/j.tele.2014.01.002
- [35] H. Alqahtani, and M. Kavakli, "A theoretical model to measure user's behavioural intention to use iMAP-CampUS app," IEEE Conf. on Industrial Electron. and Applications, pp. 681-686, June 2017, doi: 10.1109/ICIEA.2017.8282928
- [36] E. Pantano, A. Rese, and D. Baier, "Enhancing the online decision-making process by using augmented reality: A two country comparison of youth markets," J. of Retailing and Consum. Services, vol. 38, pp. 81–95, September 2017, doi: 10.1016/j.jretconser.2017.05.011
- [37] A. Balog, and C. Pribeanu, "The Role of Perceived Enjoyment in the Students' Acceptance of an Augmented Reality Teaching Platform: a Structural Equation Modelling Approach," Studies in Inform. and Control, vol. 19, pp. 319-330, 2010, doi: 10.24846/v19i3y201011
- [38] I. Ajzen, "The theory of planned behavior," Organizational Behav. and Human Decis. Processes, vol. 50, no. 2, pp. 179-211, December 1991, doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T
- [39] J. Lewis, B. Utesch, and D. Maher, "UMUX-LITE," Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Comput. Syst, pp. 2099-2102, April 2013, doi: 10.1145/2470654.2481287
- [40] A. Parasuraman, "Technology Readiness Index (TRI) a multiple-item scale to measure readiness to embrace new technologies," Journal of Service Research, vol. 2, no. 4, pp. 307-320, May 2000, doi: 10.1177/109467050024001

Alejandro Álvarez-Marín tiene el título de Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de La Serena, Chile y el grado de Magíster en Tecnologías de la Información de la Universidad Santa María, Valparaíso, Chile, en 2003 y 2008, respectivamente. Actualmente está cursando el Doctorado de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España. Se desempeña como Académico en el Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Serena, Chile. Sus áreas de investigación son tecnologías de la información, innovación y educación, y es miembro de la *IEEE Computer and Education Societies*.

J. Ángel Velázquez-Iturbide tiene los títulos de Licenciado en Informática y Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en 1985 y 1990, respectivamente. Actualmente es Catedrático de la Universidad Rey Juan Carlos, donde es director del *Laboratory of Information Technologies in Education (LITE)*. Sus áreas de investigación incluyen educación en programación y visualización de software. Es miembro senior de la *IEEE Computer Society*, de la *IEEE Education Society* y de ACM, así como Vicepresidente de la Asociación para el Desarrollo de la Informática Educativa (ADIE).

Ricardo Campos-Villaruel tiene el título de Ingeniero Civil Industrial de la Universidad de La Serena, Chile, el 2014. Ha desarrollado varios proyectos de ingeniería de software, en entornos como escritorio, móvil y web. También ha desarrollado aplicaciones con el uso de tecnologías emergentes como lo es la realidad aumentada y realidad virtual.