

INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES PARA EL DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE CIRCUITOS RESISTIVOS

EDGAR SERRANO PÉREZ

<https://orcid.org/0000-0003-4012-9709>

eserranop_s@uaemex.mx

Centro Universitario - UAEMEX Valle de Chalco, México

ANABELEM SOBERANES MARTIN

<https://orcid.org/0000-0002-1101-8279>

asoberanesm@uaemex.mx

Centro Universitario - UAEMEX Valle de Chalco, México

MARISOL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

<https://orcid.org/0000-0002-9100-1775>

mhernandezh@uaemex.mx

Centro Universitario - UAEMEX Valle de Chalco, México

JOSE LUIS CASTILLO MENDOZA

<https://orcid.org/0000-0002-5668-0602>

jlcastillom@uaemex.mx

Centro Universitario - UAEMEX Valle de Chalco, México

Recibido: 13 de febrero del 2026 / Aceptado: 23 de junio del 2026

doi: <https://doi.org/10.26439/interfases2026.n023.8612>

RESUMEN. En este artículo se presenta la implementación de un conjunto de ejercicios prácticos sobre circuitos resistivos en configuración serie, paralela y mixta mediante el uso de una *protoboard*. Este compendio de ejercicios se ha desarrollado como parte introductoria del curso de Circuitos Eléctricos del área de Ingeniería en Computación. Por ello, se analizan en detalle los resultados más relevantes de la experiencia obtenida por los estudiantes. Asimismo, se ofrecen comentarios útiles para quienes se inician en el uso de la *protoboard*, con el propósito de reducir la curva de aprendizaje y evitar los errores más comunes durante su utilización. También se describen las características físicas más relevantes de la *protoboard* y su influencia en la aparición de problemas de conexión entre los dispositivos eléctricos y sus contactos internos. De este modo, este trabajo, que comienza con una descripción teórica y simbólica de los circuitos resistivos, se complementa con la verificación mediante un sistema de simulación virtual y con una guía práctica de conexión

física, apoyada en descripciones gráficas que facilitan la visualización de los aspectos clave durante su implementación.

PALABRAS CLAVE: circuitos / simulación / aprendizaje activo / *protoboard*

INTEGRATION OF DIGITAL TOOLS FOR THE DESIGN, SIMULATION, AND IMPLEMENTATION OF RESISTIVE CIRCUITS

ABSTRACT. It is presented the implementation of a set of practical exercises on resistive circuits in series, parallel, and mixed configurations using a breadboard. The exercises were developed as an introductory component of an Electrical Circuits course within the Computer Engineering program, and the most relevant results from the students' experience are discussed in detail. Useful and important feedback is provided for novice students using breadboards, aiming to reduce the learning curve and avoid common errors. A description of the relevant physical characteristics of the breadboard is provided, as well as their influence on the origin of connection problems between electrical devices and the breadboard's internal contacts. Thus, this work, which begins with a theoretical and symbolic description of resistive circuits, is complemented by verification through a virtual simulation system and provides a practical guide for physical connections through graphical descriptions that facilitate the visualization of key details during implementation.

KEYWORDS: circuits / simulation / learning / *protoboard*

INTRODUCCIÓN

La síntesis de circuitos eléctricos y electrónicos constituye una parte fundamental de diversas ramas de la ingeniería. Con frecuencia, estos circuitos permiten solucionar distintas problemáticas de la vida cotidiana mediante el uso de dispositivos conectados en configuraciones en serie, paralela o mixta. Por su parte, los circuitos lógicos digitales y los microcontroladores hacen posible el desarrollo de soluciones a medida que, por lo general, se orientan a resolver problemas que requieren una mayor capacidad de cómputo, lo que genera sistemas embebidos (Han, 2024). Tanto en el caso de circuitos simples como en el de circuitos complejos, durante las primeras etapas de diseño, en las que se materializa la integración y conexión de múltiples dispositivos sobre una base de montaje, la tablilla de prototipos, más conocida como *protoboard*, constituye una herramienta fundamental para su desarrollo (Alessandrini, 2023; Sáenz et al., 2024; Xu, 2021). De esta manera, durante el proceso de aprendizaje y entrenamiento de los estudiantes en la síntesis de circuitos, la *protoboard* facilita la implementación de circuitos eléctricos sin necesidad de realizar operaciones de montaje y soldadura sobre una tablilla de circuito impreso, lo que permite reutilizar el material en otras prácticas y aplicaciones (Fox, 2023; Saiz-Vela et al., 2020).

Una de las principales ventajas de la *protoboard* es que permite montar y desmontar los dispositivos de forma rápida y sencilla. Sin embargo, su uso adecuado requiere el desarrollo de múltiples habilidades, tanto técnicas como cognitivas, las cuales demandan dedicación y paciencia. Por ejemplo, técnicamente, es necesario identificar e insertar correctamente los dispositivos que se van a utilizar. Entre las habilidades cognitivas, destaca el razonamiento lógico y secuencial, que permite al estudiante comprender el funcionamiento del circuito y desarrollar una secuencia ordenada de pasos para organizar su implementación. Asimismo, el uso de la *protoboard* en la síntesis de circuitos eléctricos y electrónicos requiere de una estrecha coordinación entre el tacto y la vista. El circuito resultante, con sus dimensiones, distribución y geometrías, es único e irrepetible, ya que el resultado final depende tanto de las características de los materiales y dispositivos utilizados como de las habilidades, destrezas y experiencia del usuario que lo implementa.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para los estudiantes que recién se inician en el prototipado de circuitos, la síntesis física de circuitos resistivos constituye un gran desafío, debido a la falta de una guía que les permita agilizar el proceso de aprendizaje y a la existencia de múltiples factores y detalles a considerar durante el uso de la *protoboard*. Esta situación acentúa la brecha existente entre la teoría y la práctica. En la literatura, los estudiantes pueden consultar las ecuaciones que permiten obtener las resistencias equivalentes de los circuitos resistivos; sin embargo, generalmente se abordan casos de estudio desde un punto de vista teórico y con un enfoque general (Christensen, 2022; Urone & Hinrichs, 2016). Cabe destacar que

en los casos de estudio que se presentan, se utilizan valores ideales de resistores que no pueden adquirirse comercialmente en las tiendas de electrónica, con el propósito de analizarlos de acuerdo con los modelos teóricos y contrastarlos posteriormente con los resultados obtenidos mediante su implementación física.

Además, aunque en la literatura pueden encontrarse las ecuaciones y los métodos de análisis de circuitos, los estudiantes suelen presentar dificultades para sintetizarlos físicamente. Esto se debe a que la implementación de un circuito resistivo a partir de un diagrama o esquema, se requiere el desarrollo de habilidades espaciales y de interpretación de símbolos y representaciones esquemáticas, aspectos que, por lo general, no son descritos en los trabajos publicados. Con el propósito de reducir la brecha entre los modelos teóricos y la implementación práctica, se han reportado trabajos relacionados con el desarrollo de un kit experimental (Schiavon et al., 2022) y de un laboratorio virtual de aprendizaje (Da Silva et al., 2021), ambos enfocados en la temática de circuitos resistivos.

Con los avances tecnológicos actuales, se identifica la necesidad de incorporar herramientas modernas de diseño y simulación, como EasyEda, Fritzing y TinkerCad, con el fin de abordar la temática de circuitos resistivos desde una perspectiva computacional, lo que favorece tanto la visualización de los diagramas eléctricos como sus múltiples representaciones y conexiones. De esta manera, se busca establecer un puente entre la teoría y la implementación práctica mediante el uso de tecnologías computacionales para la visualización de circuitos resistivos.

Asimismo, se considera importante brindar una guía con detalles y consideraciones relevantes para los estudiantes que se inician en el prototipado de circuitos resistivos utilizando una *protoboard*. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en el análisis, la simulación y la implementación de circuitos resistivos a través de herramientas digitales, además de ofrecer una guía práctica de implementación con *protoboard* que describe diversos aspectos de conexión que deben considerarse al iniciar el prototipado de estos circuitos. También se presentan los errores más comunes que suelen cometerse y se proponen recomendaciones para lograr conexiones satisfactorias.

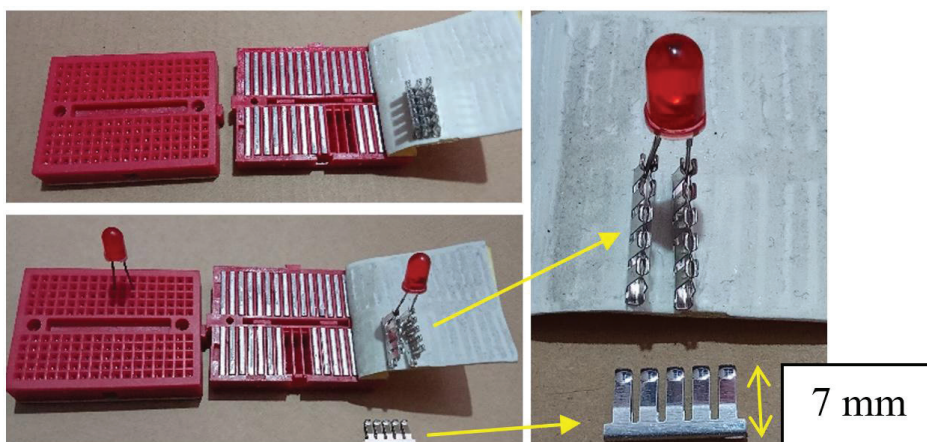
MATERIALES Y MÉTODOS

La parte externa de la *protoboard* está constituida por una estructura aislante de material polimérico que proporciona aislamiento, protección y soporte a los elementos conductores ubicados en su interior. Existen múltiples tamaños y configuraciones (Harrold, 2020), por lo que es posible encontrar modelos con rieles de alimentación o bornes de conexión externa, característica común en las versiones de mayor tamaño. La mayoría de las *protoboards* cuenta en sus extremos con pestañas que facilitan la unión de dos o más unidades en forma paralela, lo que incrementa el área disponible para la conexión de múltiples dispositivos.

Independientemente de su tamaño, la gran mayoría dispone de un canal central que la divide en dos secciones. Esta característica es importante, ya que facilita el montaje de circuitos integrados con encapsulado de tipo dual (*dual in line package*, DIP). Asimismo, en cada sección, se distribuyen filas con cinco perforaciones en cada una. Cada perforación de la superficie superior coincide con la ubicación de un contacto metálico perteneciente a un riel conductor alojado en el interior de la estructura polimérica. De esta manera, es posible insertar la terminal de un dispositivo electrónico en cualquiera de estas perforaciones para establecer la conexión eléctrica, dado que cada fila está integrada internamente por un riel conductor que interconecta sus cinco contactos, como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Vista en detalle de la estructura interna y externa de una protoboard



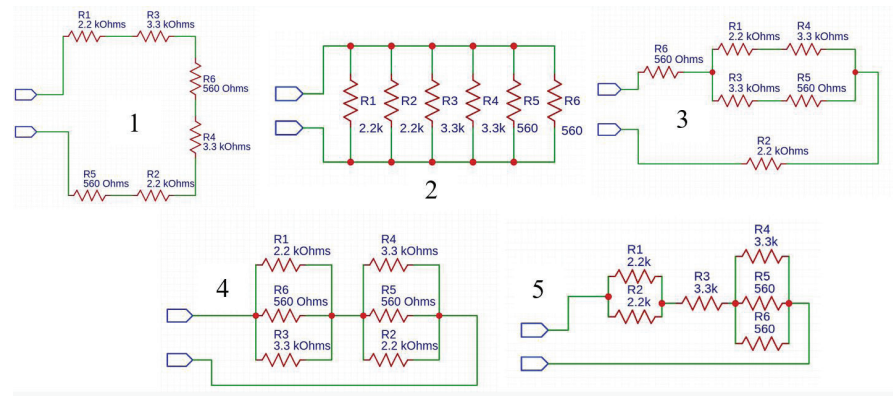
Los rieles conductores, conformados por cinco contactos eléctricos interconectados, presentan diversas particularidades que deben considerarse al utilizar la *protoboard* en la síntesis de circuitos eléctricos. Por ejemplo, la altura de cada contacto es de alrededor de 7 mm, mientras que el espesor de la estructura exterior de plástico es de aproximadamente 8 mm. Asimismo, la separación entre rieles conductores adyacentes es de 2,54 mm. Es importante tomar en cuenta que las reducidas dimensiones de las *protoboards* comerciales dificultan la visualización de las conexiones (Scott, 2004), por lo que se debe prestar particular atención y cuidado durante la síntesis de los circuitos.

Por otra parte, los contactos están formados por dos láminas metálicas delgadas ubicadas de manera paralela, que adoptan la forma de una pinza y se abren al introducir los terminales o los cables conductores entre sus superficies internas. Dependiendo de los materiales y de la geometría empleada en su fabricación, la fuerza de sujeción que ejercen

sobre las terminales de los dispositivos puede variar de un fabricante a otro, de modo que algunas *protoboards* ofrecen una mayor firmeza, mientras que otras presentan una mayor holgura. Por supuesto, este comportamiento también se encuentra influenciado por el espesor de las terminales de los componentes utilizados. Este aspecto es de suma importancia, ya que algunos componentes electrónicos poseen terminales de espesor delgado, como ciertas resistencias o cables de reducida sección transversal, que al insertarse en contactos con holgura pueden deslizarse y desprenden con facilidad, lo que da lugar a falsos contactos y a la pérdida de continuidad en las conexiones. Por otro lado, cuando los contactos son demasiado firmes y los terminales son de pequeña sección transversal, es común que estas se doblen o deformen sin lograr introducirse entre las láminas que conforman el contacto interno de la *protoboard*. Así, es de suma importancia evitar insertar terminales de cables o dispositivos con una longitud superior a 7 mm, ya que, al exceder esta longitud, el cable puede sobrepasar el riel conductor y entrar en contacto con alguno de los rieles adyacentes, lo que da lugar a conexiones no deseadas.

En el curso de Circuitos Eléctricos y Electrónicos, impartido en el quinto semestre de la carrera de Ingeniería en Computación, se abordó el tema de las conexiones en serie, en paralelo y mixtas de circuitos resistivos utilizando la *protoboard*. El objetivo fue que los estudiantes iniciaran el análisis de circuitos resistivos, inicialmente de forma teórica y matemática; luego, verificar dicho análisis mediante simulación virtual; y, posteriormente, validarlo físicamente a través de la implementación de los circuitos en una *protoboard*. De esta manera, para la asignatura, se diseñaron cinco circuitos resistivos utilizando seis resistencias de valores comerciales. El primer circuito representa una conexión en serie, el segundo una conexión en paralelo, y los circuitos 3, 4 y 5 corresponden a configuraciones mixtas, con el fin de que los estudiantes puedan observar las distintas resistencias equivalentes que se obtienen al realizar diferentes combinaciones entre ellas. El diseño de los diagramas de conexión se realizó con el editor en línea EasyEDA, tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2
Diagramas de conexión de los circuitos resistivos

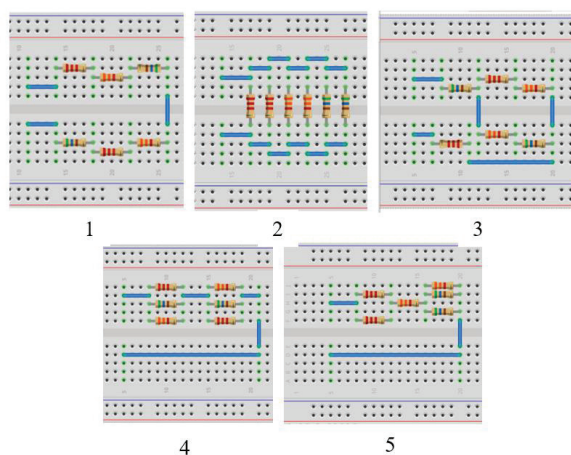


Cabe señalar que existen múltiples formas de obtener la conexión de los circuitos resistivos presentados en la *protoboard*, dado que las resistencias eléctricas pueden colocarse y distribuirse en distintas filas o regiones, con lo que se obtiene la misma resistencia equivalente. Un resultado satisfactorio se obtiene siempre que se ejecuten y mantengan correctamente las conexiones eléctricas del circuito, las cuales incluyen, por un lado, las conexiones internas con los contactos de la *protoboard* y, por otro lado, la conexión con los cables o dispositivos externos. Sin embargo, con el fin de favorecer la visualización física de las conexiones en la *protoboard* para los estudiantes, se diseñaron los esquemas de conexión en dos dimensiones mediante el *software* Fritzing (versión 0.9.3), para que sean utilizados como guía de conexión.

Esta herramienta resulta particularmente útil para los estudiantes que no han tenido experiencia previa en la conexión de circuitos eléctricos o en la implementación física con *protoboard*. Además, es importante resaltar que en el sistema de Fritzing se puede visualizar de forma gráfica una línea punteada de color verde en cada fila de perforaciones que cuenta con una conexión activa. De esta manera, una vez que se conecta algún dispositivo o cable, dicha fila se ilumina en color verde, como indicativo de la conexión interna entre todos los puntos de contacto de esa fila (cinco), lo que facilita la visualización de las conexiones eléctricas entre los distintos componentes que se utilizan (Fox, 2023), tal como se observa en los diagramas de la Figura 3.

Figura 3

Diagramas de conexión en la protoboard utilizando la aplicación Fritzing



De esta forma, es posible utilizar el *software* para enfatizar aspectos relevantes en las conexiones realizadas en la *protoboard*. Por ejemplo, permite ejemplificar de manera gráfica y visual las situaciones en las que no existe conexión entre las terminales de los dispositivos —es decir, cuando se encuentran sin continuidad—, así como aquellas en

las que sí existe la conexión o continuidad entre las terminales. Otros aspectos importantes que amerita resaltar desde un enfoque didáctico son la posibilidad de visualizar la orientación, ubicación y distribución de los componentes, lo que facilita la planificación de la conexión del circuito. Además, se favorece la visualización de las características intrínsecas de los componentes (forma, color y tamaño), por lo que se han preparado diagramas de conexión que contribuyen a la comprensión de los escenarios en los que existe o no conexión entre los dispositivos, tal como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Dispositivo presentado a los estudiantes en el que se observa desconexión (rojo) y conexión (verde) entre las terminales de las resistencias

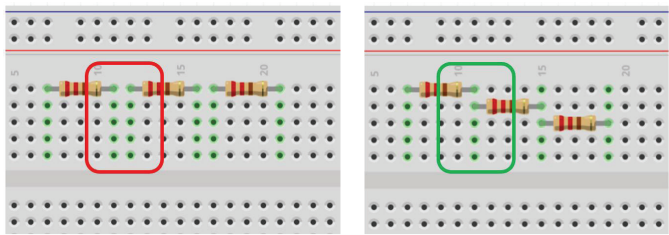
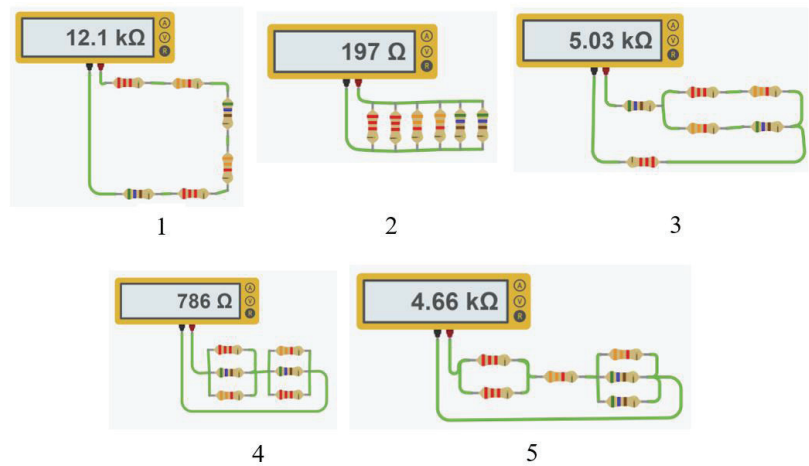


Figura 5

Obtención de la resistencia equivalente mediante un multímetro para cada uno de los circuitos resistivos utilizados



Dado que la temática de los circuitos resistivos incluye la obtención de la resistencia equivalente, se desarrollaron modelos de simulación utilizando el *software* Tinkercad. Los resultados obtenidos con el simulador permiten contrastarlos y relacionarlos con

aquellos obtenidos a partir de los cálculos matemáticos desarrollados en los modelos teóricos. Se siguió una estructura de conexión similar a la observada en el diagrama eléctrico con representación simbólica, lo que permite al estudiante correlacionar el símbolo eléctrico de la resistencia con el elemento resistivo representado de forma virtual en el simulador. De esta manera, la simulación virtual es una herramienta que facilita la comprensión de la relación entre la representación abstracta y simbólica del resistor y el dispositivo físico con sus características intrínsecas, como sus dimensiones y su código de bandas de colores (véase la Figura 5).

Como se observa en la Figura 5, es posible agregar un multímetro en la modalidad de medición de resistencia, con el fin de verificar la resistencia equivalente del circuito. En la actualidad, el *software* Tinkercad puede utilizarse a través de un navegador con conexión a internet, por lo que es accesible para los estudiantes dentro y fuera del aula de clases, lo que facilita la verificación de los resultados teóricos con aquellos obtenidos en el modelo de simulación, prácticamente desde cualquier lugar con acceso a internet.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

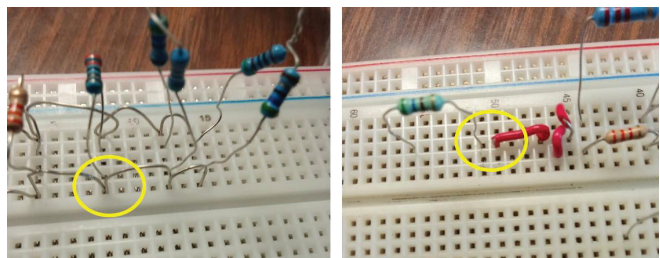
Una vez que los estudiantes contaron con los diagramas de conexión, se procedió a la implementación utilizando la *protoboard*. Al finalizar las conexiones necesarias, se utilizó el multímetro en su modalidad de óhmetro, con la finalidad de verificar los resultados teóricos, de simulación y experimentales. Durante la etapa de revisión, se observó que, en algunos casos, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, pues no se encontró correspondencia entre los valores numéricos teóricos y los indicados en la pantalla del multímetro. Por ello, se llevó a cabo una etapa de detección de fallas en el armado de los circuitos. Asimismo, es importante resaltar que, al implementar un circuito y verificar su funcionamiento, es común que no se obtengan resultados satisfactorios en el primer intento, lo que puede generar molestia y frustración entre los estudiantes. Esta dificultad para encontrar una solución rápida es una situación habitual en la resolución de problemas en el ámbito de la ingeniería, por lo que debe prevalecer la perseverancia y paciencia en la búsqueda de la solución.

En este sentido, se indicó a los estudiantes que deben evitar colocar más de un cable o terminal en cada una de las perforaciones individuales de la *protoboard*, ya que este procedimiento puede provocar deformaciones en los contactos internos, lo que reduce la fuerza de sujeción y ocasiona posibles desconexiones debido a fuerzas o movimientos externos. Cabe señalar que esta situación es una práctica común durante las primeras sesiones de uso de la *protoboard*. Además, se ha observado que algunos estudiantes colocan las terminales de los dispositivos en filas paralelas entre sí, lo cual no genera una conexión eléctrica entre ellos; por ello, es importante representar de forma clara la manera en que dos elementos deben conectarse, asegurando que compartan la misma fila de conexión.

Otra situación relevante observada es que los dispositivos adquiridos por los estudiantes en tiendas de electrónica no siempre son verificados previamente. Por ejemplo, se identificó el uso de resistencias con valores diferentes a los solicitados, por lo que los estudiantes intentan ajustar el valor requerido mediante la conexión de resistencias en serie. Este tipo de comportamiento ya ha sido reportado en la literatura y se basa en la adición de componentes que pueden alterar la dinámica del sistema (Booth et al., 2016), añadiendo fuentes de error y ruido innecesarios al circuito, tal como se observa en la Figura 6.

Figura 6

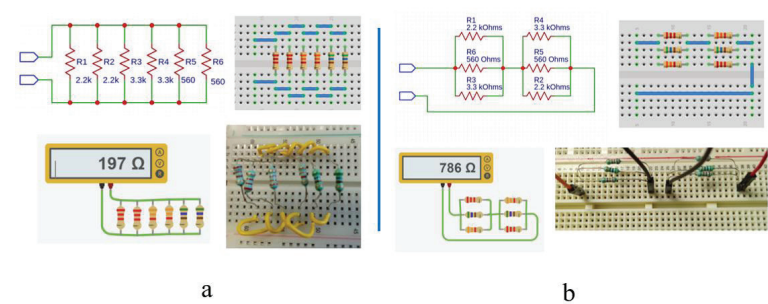
Procedimientos más comunes que realizan los estudiantes al iniciar el uso de la protoboard



Durante la síntesis de los circuitos eléctricos, es importante resaltar una de las ventajas de la *protoboard*, la cual permite corregir errores de forma rápida una vez que han sido detectados, ya sea verificando la correcta conexión en un punto o reemplazando un cable o dispositivo defectuoso. De este modo, al realizar los ajustes necesarios y utilizar los diagramas de conexión en Fritzing, los estudiantes comenzaron a realizar la síntesis de los circuitos de manera más fluida, lo que les permitió contar con una referencia de conexión para los dispositivos en una representación cercana a los dispositivos físicos, como se observa en los circuitos eléctricos resultantes en la Figura 7.

Figura 7

Resultados de conexión obtenidos por algunos equipos de la asignatura



Nota. Se observan las conexiones físicas correspondientes a los circuitos 2 (a) y 4 (b).

En concordancia con la literatura, las principales fallas identificadas se atribuyen, por una parte, a un deficiente montaje de los dispositivos y a su conexión con los contactos internos de la *protoboard* y, por otra, a la ausencia o a la mala conexión de los cables auxiliares (Booth et al., 2016; Lee et al, 2021). El origen de los problemas en un circuito eléctrico es amplio, y cabe resaltar que la mayoría de ellos son difíciles de identificar o detectar, ya que, por lo general, la causa puede encontrarse fuera del alcance de la vista humana o derivarse de una conexión incorrecta como resultado de algún descuido. Por ello, es importante señalar, como guía para los estudiantes, las siguientes consideraciones:

- Evitar el uso de *protoboards* cuyos materiales de fabricación sean de baja calidad, ya que los contactos internos tienden a doblarse, debilitarse y desgastarse con mayor rapidez.
- Evitar usar dispositivos o cables con una excesiva longitud de inserción en los contactos internos, pues puede provocar falsos contactos o cortocircuitos con otros elementos en el interior de la tablilla y, al encontrarse fuera del campo visual, estos son difíciles de identificar o detectar.
- Es posible que los cables o *jumpers* utilizados en prácticas pasadas no tengan continuidad; es decir, que se encuentren cortados o dañados en el interior del recubrimiento plástico, lo cual tampoco es visible desde el exterior de la *protoboard*.
- Es posible que los dispositivos utilizados presenten defectos de fabricación o hayan sido dañados durante manipulaciones previas, lo cual también es difícil de determinar únicamente mediante inspección visual.
- Es importante evitar doblar y deformar las terminales de los dispositivos, ya que esto impide obtener una conexión estable con los contactos internos de la tablilla.
- Utilizar los componentes con las características requeridas y especificaciones requeridas para el circuito.
- Planificar la distribución, orientación y ubicación de los componentes en la superficie de la *protoboard* antes de iniciar el montaje de los dispositivos.
- Realizar la conexión de los dispositivos por etapas, verificando el correcto funcionamiento de cada nuevo elemento a medida que se incorpora, así como su adecuada interacción con los componentes previamente conectados.

Adicionalmente, al realizar una consulta en el *chatbot* ChatGPT, basado en GPT-5.2, mediante el *prompt* “los principales fallos de estudiantes principiantes en nivel universitario al comenzar a utilizar la *protoboard*”, se obtuvo la información que se detalla a continuación.

Principales fallos al usar la protoboard

Estudiantes principiantes - Nivel universitario

1. No comprender la estructura interna de la protoboard
Desconocer cómo se conectan internamente las filas centrales y las líneas de alimentación laterales.
2. Interpretar mal el esquema eléctrico
No traducir correctamente el diagrama al montaje físico en la protoboard.
3. Colocar incorrectamente los circuitos integrados
Ignorar la ranura central o la orientación del pin 1 del IC.
4. Errores en la alimentación del circuito
 - Invertir Vcc y GND
 - No alimentar ambos rieles laterales
 - Aplicar un voltaje incorrecto
5. Omitir componentes esenciales
Como resistencias limitadoras, pull-up/pull-down o capacitores de desacoplo.
6. No respetar la polaridad de los componentes
Especialmente LEDs, diodos y capacitores electrolíticos.
7. Cableado largo, desordenado o sin criterio
Uso excesivo de jumpers que introduce ruido y dificulta la depuración.
8. No verificar conexiones antes de energizar
No comprobar continuidad ni posibles cortocircuitos con el multímetro.
9. Exceder las limitaciones de la protoboard
Intentar trabajar con corrientes altas o señales de alta frecuencia.
10. Depender del ensayo-error sin análisis previo
No contrastar el montaje con el esquema ni con valores teóricos esperados.

Se observa que existen puntos de concordancia entre la interacción con el *chatbot* y los problemas identificados en este proyecto. En relación con el primer punto, se coincide en que es fundamental que los estudiantes conozcan la estructura interna de la *protoboard*, la cual en este trabajo ha sido descrita de forma gráfica en la Figura 1. El segundo punto, que implica una posible malinterpretación del esquema eléctrico, puede abordarse mediante los diagramas de conexión física en la *protoboard*, como los mostrados en la

Figura 3, los cuales favorecen la relación entre el esquema simbólico y el montaje físico. Los puntos 4, 5 y 6, aunque son importantes, por el momento quedan fuera del análisis, dado que, en esta propuesta, no se emplean circuitos integrados, tampoco se energizan los circuitos con fuentes de alimentación ni se utilizan arreglos auxiliares; además, las resistencias no presentan polaridad. Sin embargo, sí es importante considerar la mención del canal divisorio de la *proto-board*.

El punto 7, que implica el cableado largo y desordenado, también ha sido abordado en este proyecto y se vincula con las características dimensionales de los contactos internos de la *proto-board*, los cuales miden aproximadamente 7 mm, por lo que el cable que se inserta en las perforaciones no debería exceder dicha dimensión. El punto 8 es particularmente uno de los más útiles e importantes, ya que implica la verificación de continuidad mediante el uso del multímetro, con el fin de comprobar el buen estado de los cables auxiliares o de las conexiones internas de la *proto-board*. Con respecto al punto 9, es importante señalar que no deben excederse corrientes superiores a 1 amperio, con el fin de evitar el sobrecalentamiento de los contactos internos. Por su parte, el décimo punto menciona la importancia de contar con diagramas y esquemas de conexión que faciliten el montaje, así como una referencia de los valores esperados, a los que se puede acceder mediante simuladores virtuales, como los diagramas mostrados en la Figura 5.

Dado que gran parte de las fallas son difíciles de detectar mediante una inspección visual, el multímetro constituye una herramienta fundamental para detectar y localizar posibles fallas en los circuitos resistivos. Por ejemplo, permite determinar directamente el valor nominal de una resistencia. Además, es posible medir el valor de la resistencia equivalente en un circuito en serie, paralelo o mixto, y la función de continuidad permite verificar si los cables o los contactos se encuentran en buen estado. Esto facilita el descarte sistemático de posibles fallas durante la búsqueda de la causa que origina el funcionamiento inadecuado del circuito.

Una vez que los circuitos resistivos se encuentran correctamente conectados, en las siguientes temáticas se analizan los circuitos resistivos conectados a una fuente de alimentación, iniciando con fuentes de corriente continua. En este sentido, para abordar las siguientes prácticas, se sugiere la adquisición de una tarjeta tipo Arduino Uno, la cual ofrece la ventaja de integrar en la misma placa una fuente de alimentación de 5 voltios. Adicionalmente, también proporciona una salida de 3,3 voltios para alimentar otros dispositivos. Es importante señalar que se trata de una fuente de alimentación regulada, característica fundamental para energizar distintos dispositivos eléctricos y electrónicos, así como circuitos integrados y sensores que requieren distintos voltajes de alimentación.

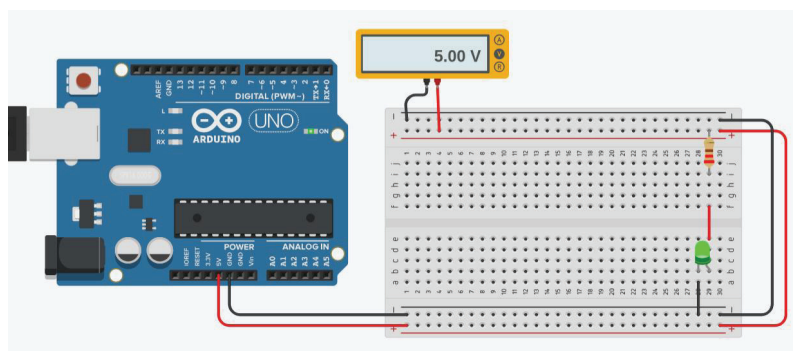
El suministro de energía a la tarjeta tipo Arduino Uno puede realizarse mediante la conexión a un puerto USB de una computadora personal o portátil. Además, es posible

alimentarla con una batería de 9 voltios, por lo que constituye una fuente de alimentación compacta y portátil que puede utilizarse prácticamente en cualquier lugar, tanto dentro como fuera del laboratorio. En este sentido, su uso resulta especialmente útil en situaciones que requieren sesiones a distancia o en línea, en los que el acceso al equipo de laboratorio de las instituciones es limitado. En estos casos, la fuente de alimentación integrada en la tarjeta con microcontrolador representa una alternativa práctica y conveniente. Asimismo, debe considerarse que la adquisición de una tarjeta con microcontrolador constituye una inversión a corto y mediano plazo, ya que puede utilizarse en diversas asignaturas posteriores de la carrera de Ingeniería en Computación, como Sistemas Digitales, Robótica y Sistemas Embebidos.

En relación con la conexión de la tarjeta tipo Arduino Uno con la *protoboard*, se sugiere utilizar cables de cobre o *jumpers*. Así, como buena práctica para identificar las conexiones, se recomienda emplear un cable de color rojo para la conexión al positivo de la fuente —es decir, a la terminal de +5 voltios—. En contraste, para la conexión al pin GND de la placa, se utilizar un cable de color negro. En la tarjeta con microcontrolador, el pin GND constituye la referencia de 0 voltios del circuito. Así, se establece una convención de colores en los conductores, en la que el rojo y el negro identifican las líneas de alimentación eléctrica de los circuitos, tal como se observa en la Figura 8.

Figura 8

Conexión de la fuente de alimentación de una tarjeta tipo Arduino Uno con una protoboard



Es importante señalar que, por lo general, la *protoboard* cuenta con dos rieles de alimentación ubicados en los extremos laterales de la tablilla, los cuales, en algunos casos, son desmontables, a fin de permitir la unión de dos o más *protoboards*. Para facilitar su identificación visual, algunos fabricantes incorporan un marcado mediante líneas continuas de color rojo y negro, sugiriendo al usuario que las utilice como líneas de alimentación de los circuitos, lo que facilita su posterior identificación y uso para la distribución de la energía eléctrica. Asimismo, algunas cuentan con un indicativo del signo

positivo (+) y otro del signo negativo (-) en sus esquinas, lo que facilita la identificación de las líneas de conexión destinadas a la fuente de alimentación. Por lo general, los rieles de alimentación ubicados en los laterales de la *proto-board* se encuentran eléctricamente aislados entre sí. Por ello, para obtener una continuidad entre ambos, es necesario realizar conexiones adicionales, como las que se observan en la parte derecha de la Figura 9.

En algunos otros modelos, los rieles laterales de la *proto-board* se encuentran divididos en secciones, por lo que también es necesario realizar conexiones adicionales si se requiere garantizar la continuidad de los rieles de alimentación y energizar otras regiones de la *proto-board*. Asimismo, existen modelos pequeños y compactos que incluso no cuentan con rieles destinados a líneas de alimentación, por lo que se utilizan para arreglos más particulares y específicos. En el contexto de prácticas de laboratorio educativas, se recomienda adquirir una *proto-board* de mayor tamaño, que permita desarrollar los circuitos necesarios de acuerdo con su dimensión proyectada y el número de componentes a utilizar, los cuales en algunos casos pueden llegar a ser bastante extensos, especialmente en asignaturas como Circuitos Digitales. De esta manera, cuando se requiere la alimentación de circuitos integrados, es necesario utilizar una *proto-board* con rieles destinados a energizar las distintas regiones de la placa, así como los múltiples dispositivos que pueden utilizarse como entradas o salidas del sistema.

El uso de los colores rojo y negro para los cables de alimentación es prácticamente una convención generalizada, ya que resulta visualmente intuitiva para los usuarios. De hecho, se utiliza en muchos aparatos y dispositivos eléctricos; por ejemplo, puede observarse en los cables de las baterías de la mayoría de los automóviles, con el fin de evitar errores de conexión que podrían derivar en la quema de fusibles, daños en componentes eléctricos críticos y, en algunos casos graves, en el sobrecalentamiento de los conductores, lo que podría llegar a provocar un incendio, dada la alta capacidad energética de las baterías que los alimentan.

También resulta importante mencionar que, en algunas áreas de la ingeniería, como la neumática, se utiliza el color azul para identificar cables que transportan señales eléctricas, situación que también se observa en diversos sectores industriales en los que se manejan distintas señales eléctricas y se requiere diferenciarlas de los conductores de alimentación. De esta manera, los colores negro y rojo facilitan tanto la identificación de la polaridad correcta en un circuito que se energiza como la verificación de las conexiones en caso de que se presente algún fallo y se requiera realizar un mantenimiento correctivo. Se considera, entonces, que el uso de esta convención de colores permite prevenir errores y agilizar la revisión o el mantenimiento del circuito eléctrico.

Otro aspecto que amerita mencionarse es el calibre de los conductores utilizados en las conexiones. Aunque para el trabajo con *proto-board* se recomienda un calibre 22 AWG, es necesario seleccionar un calibre que brinde un buen equilibrio entre firmeza y

facilidad de inserción en las perforaciones de la placa. El uso de un calibre mayor, como 24 AWG, aunque funcional, puede resultar flojo y propenso a desconexiones accidentales durante la manipulación o el traslado del circuito. Por el contrario, un calibre menor, como 20 AWG, aunque ofrece un ajuste más firme, con el tiempo tiende a desgastar y aflojar los contactos internos de la *proto-board*, lo que reduce la capacidad de sujeción del conector y dificulta la estabilidad de la conexión, situación que además es muy difícil de identificar visualmente dada la limitada visibilidad del interior de la mayoría de las *proto-boards*.

El calibre de los conductores también determina la capacidad de corriente eléctrica que pueden soportar: a menor calibre numérico, mayor es la corriente que pueden conducir. En este sentido, para fines prácticos educativos en la *proto-board*, los circuitos de baja potencia no deben superar 1 amperio, por lo que el calibre 22 AWG resulta adecuado para esta aplicación. Para verificar que los rieles de alimentación de una *proto-board* se encuentran en funcionamiento y correctamente conectados, se puede utilizar un multímetro para medir el voltaje suministrado desde la tarjeta tipo Arduino Uno. En este sentido, es importante mantener la misma polaridad del instrumento, es decir, conectar el terminal positivo del multímetro con el positivo de la fuente de alimentación de la tarjeta tipo Arduino Uno, a fin de obtener una lectura correcta.

Con frecuencia, se inscribe una gran cantidad de alumnos en la asignatura, lo que dificulta proveer la cantidad suficiente de instrumentos de medición para cada uno de los equipos formados. Por ello, se sugiere colocar un LED con una resistencia en conexión serie, a fin de verificar visualmente que la fuente de alimentación se encuentra en funcionamiento y que provee la energía necesaria para el circuito que se va a energizar. Incluso, puede utilizarse uno de los seis pines analógicos de la tarjeta tipo Arduino Uno (A0-A5) para monitorear el voltaje de la fuente de alimentación, mediante una conversión analógico-digital y su visualización a través del monitor serial del entorno de programación; sin embargo, su descripción queda fuera del alcance del presente trabajo.

Es importante resaltar que los cables de conexión deben ser lo más cortos posible, por lo que resulta necesario proyectar la mínima distancia entre los componentes sobre la superficie de la *proto-board*. Los cables largos tienden a captar mayor cantidad de ruido electromagnético, lo que en algunos casos puede provocar modificaciones en la señal que transportan. Además, dificultan el seguimiento visual de la continuidad del circuito, ya que pueden enredarse y generar confusión con el seguimiento en la identificación de las trayectorias de conexión, lo que dificulta la detección de errores. En este sentido, al utilizar una *proto-board* se busca que las conexiones externas sean lo más cortas y ordenadas posibles, a fin de facilitar el mantenimiento y la identificación de fallos de conexión en el circuito. Dadas las bondades del multímetro como instrumento de medición para la verificación de características eléctricas de los circuitos, en sesiones posteriores se diseñaron recursos educativos destinados a favorecer su comprensión y uso, los cuales serán reportados en una siguiente comunicación.

CONCLUSIONES

Como parte de las actividades iniciales de la asignatura de Circuitos Eléctricos y Electrónicos de la carrera de Ingeniería en Computación, se presentó a los estudiantes una serie de ejercicios de circuitos resistivos en configuración serie, paralela y mixta. El análisis incluyó el cálculo de la resistencia equivalente mediante fórmulas y procedimientos teóricos. Se utilizaron programas de simulación electrónica como Tinkercad y Fritzing, los cuales permiten al estudiante visualizar una forma adecuada de interconexión entre los componentes utilizando una *protoboard*. En concordancia con la literatura, se resalta su papel en la facilitación del reconocimiento e identificación de los componentes electrónicos (Knörig et al., 2009; Pedersen et al., 2021; Watkiss, 2016), y en el caso de este proyecto con resistores, se favorece la visualización de las dimensiones, geometría y las bandas de colores, características fundamentales que determinan los valores nominales de las resistencias. Además, la iluminación en color verde que se activa al colocar las terminales de las resistencias en la *protoboard* permite al estudiante observar la distribución de las conexiones en el riel de contactos, lo que favorece la comprensión de la conexión o el aislamiento de las conexiones.

Es importante destacar el papel de la simulación de circuitos mediante simuladores virtuales en la web, ya que permite cometer errores sin dañar los componentes físicos (Faiña, 2023), lo que facilita que los estudiantes aprendan a partir de dichas fallas y realicen las correcciones necesarias. Este proceso contribuye a una mejor comprensión de la dinámica de los circuitos una vez que han sido correctamente conectados. La implementación física de los circuitos presentados se llevó a cabo utilizando resistencias de valores comerciales, cables de conexión y una *protoboard*, todos ellos de bajo costo y accesibles para la comunidad estudiantil. Durante la etapa de verificación de resultados experimentales utilizando un multímetro en su modalidad de ohmímetro, se identificaron diversos errores de conexión, así como distintas causas que originan falsos contactos, los cuales pueden deberse a la mala calidad de los componentes utilizados o una deficiente interconexión entre los dispositivos y las pistas conductoras de la *protoboard*.

Ante esta situación, se presentó un listado de consideraciones útiles para estudiantes principiantes en la implementación de circuitos físicos, con el fin de favorecer el desarrollo de habilidades técnicas y cognitivas. Dentro de la guía se incluyen una serie de recomendaciones para realizar conexiones físicas de manera satisfactoria, así como la descripción de características físicas de la *protoboard*, a fin de considerar sus detalles dimensionales y de fabricación. Se incluye además una sección destinada al tema de las conexiones con una fuente de alimentación, la cual se sugiere realizar a través de una tarjeta con microcontrolador. Asimismo, se recomienda utilizar la codificación de colores rojo y negro para facilitar su identificación, así como para distinguir las señales eléctricas de los dispositivos que se conectan en un circuito.

La integración del conjunto de herramientas digitales presentadas, de carácter tecnológicamente innovador, tiene un impacto positivo en el estado de ánimo del estudiante, al reducir la frustración y el enfado que algunos experimentan al no obtener resultados satisfactorios inmediatos o al enfrentar dificultades para lograr conexiones adecuadas entre los componentes. De esta manera, la ruta de análisis teórico, verificación virtual y validación experimental, junto con la integración de las herramientas digitales presentadas, permite a los estudiantes consolidar gradualmente la comprensión de la dinámica de los circuitos eléctricos, su interconexión y el desempeño del sistema en el mundo real.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) a través del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII).

REFERENCIAS

- Alessandrini, A. (2023). A study of students engaged in electronic circuit wiring in an undergraduate course. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 78-95. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09994-9>
- Booth, T., Stumpf, S., Bird, J., & Jones, S. (2016). Crossed wires: Investigating the problems of end-user developers in a physical computing task. En *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)* (pp. 3485-3497). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858533>
- Christensen, D. A. (2022). *Introduction to biomedical engineering: Biomechanics and bioelectricity - Part II*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01638-7_5
- Da Silva, J. B., Machado, L. R., Bilessimo, S. M. S., & Da Silva, I. N. (2021, November). Remote teaching of electrical circuits: Proposal for the use of online laboratories in secondary education. En *2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC)* (pp. 594-600). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WEEF/GEDC53299.2021.9657239>
- Faiña, A. (2023). Learning hands-on electronics from home: A simulator for Fritzing. En J. M. Cascalho, M. O. Tokhi, M. F. Silva, A. Mendes, K. Goher & M. Funk, M. (Eds.), *Robotics in natural settings (CLAWAR2022)* (Lecture notes in networks and systems, Vol. 530, pp. 483-492). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15226-9_38
- Fox, J. (2023). *Beginning breadboarding: Physical computing and the basic building blocks of computers*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9218-1_3

- Han, W. P. (2024). *A trilogy for teaching and learning digital electronics and microprocessors* [Ponencia]. 2024 ASEE Annual Conference & Exposition, Portland, Oregon. <https://doi.org/10.18260/1-2-46504>
- Harrold, C. (2020). *Practical smart device design and construction: Understanding smart technologies and how to build them yourself*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5614-5_11
- Knörig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009). Fritzing: A tool for advancing electronic prototyping for designers. En N. Villar, S. Izadi, M. Fraser & S. Benford (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '09)* (pp. 351-358). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1517664.1517735>
- Lee, W., Prasad, R., Je, S., Kim, Y., Oakley, I., Ashbrook, D., & Bianchi, A. (2021). VirtualWire: Supporting rapid prototyping with instant reconfigurations of wires in breadboarded circuits. En *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '21)* (pp. 1-12). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3430524.3440623>
- Pedersen, B. K. M. K., Larsen, J. C., & Nielsen, J. (2021). From diagram to breadboard: Limiting the gap and strengthening the understanding. En W. Lepuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh & D. Obdržálek (Eds.), *Robotics in Education (RiE 2020)* (pp. 339-353). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67411-3_31
- Sáenz, J., De la Torre, L., Chaos, D., & Dormido, S. (2024). Hands-on lab practices on control in a distance education university. *IFAC-PapersOnLine*, 58(26), 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.10.267>
- Saiz-Vela, A., Fontova, P., Pallejà, T., Tresanchez, M., Garriga, J. A., & Roig, C. (2020). Plataforma de desarrollo de bajo coste para implementar circuitos digitales en FPGAs mediante hardware y software libre. En *Actas del XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE 2020)* (pp. 419-428). Instituto Superior de Engenharia do Porto. <https://doi.org/10.1109/TAEE46915.2020.9163730>
- Schiavon, G. J., Santos, O. R., Batista, M. C., Braga, W. S., & Bratti, V. M. (2022). Experimental didactic kit for teaching resistors, capacitors and RC timing circuits. *Physics Education*, 57(5), 055019. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac7cb3>
- Scott, T. C. (2004, 20-23 de junio). *Versatile, low cost electronics lab protoboard* [Ponencia]. ASEE Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, UT, United States. <https://doi.org/10.18260/1-2-13627>
- Urone, P. P., & Hinrichs, R. (2016). 21.1 *College physics*. OpenStax. <https://openstax.org/books/college-physics/pages/21-1-resistors-in-series-and-parallel>

- Watkiss, S. (2016). Let the innovation begin: Designing your own circuits. En S. Watkiss (Ed.), *Learn electronics with Raspberry Pi: Physical computing with circuits, sensors, outputs, and projects* (pp. 247-261). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1898-3_11
- Xu, C. (2021, julio). *Redesigned electrical circuit lab course to face the challenges of remote learning* [Ponencia]. 2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access. <https://doi.org/10.18260/1-2-37645>