



**NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Una propuesta de laboratorio remoto para circuitos eléctricos

Jaiber Evelio Cardona Aristizábal, Alexander López Parrado, Alexander Vera Tasamá, Jorge Alejandro Aldana Gutiérrez, Juan David Arias Gómez, Carlos Andrés Mazo Valencia, Ómar Alberto Bañol Gómez

**Universidad del Quindío
Armenia, Colombia**

Resumen

En este trabajo se expone el diseño de una plataforma de experimentación remota, con didácticas activas, como apoyo en la enseñanza de circuitos eléctricos de corriente directa (DC), bajo el marco CDIO (Concepción, Diseño, Implementación, Operación) para el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío.

Los laboratorios de experimentación han tenido un rol central en la formación de los ingenieros y tecnólogos, siendo las prácticas de laboratorio un recurso fundamental para la modalidad educativa presencial. En todo caso, los laboratorios virtuales/simulados y los de experimentación remota continúan teniendo un papel importante, estableciendo canales alternativos y complementarios para el entrenamiento y desarrollo de habilidades. Además, los laboratorios remotos tienen la ventaja de permitir acceso a sistemas reales sin la necesidad de presencia física y con una mayor flexibilidad de horarios.

En ese sentido, las didácticas activas permiten al estudiante ser protagonista de su propio aprendizaje como lo sugieren las tendencias de educación del siglo XXI. En este sentido, la evolución de las TIC ha sido un factor determinante en la expansión de la cobertura educativa, debido a la adaptación de ambientes de enseñanza semipresencial que integran estos recursos tecnológicos, cobrando gran importancia con los retos impuestos como consecuencia de la pandemia por COVID-19. La vinculación de laboratorios remotos a las didácticas activas, permitirán un aprendizaje con flexibilidad para el acceso a los laboratorios.

Por otro lado, los circuitos eléctricos hacen referencia a componentes que son interconectados y por los cuales circula corriente eléctrica; el conocimiento y experimentación en este tipo de circuitos son esenciales en programas afines a la ingeniería eléctrica y electrónica, siendo los circuitos eléctricos de DC la base para la construcción de los conocimientos disciplinares. Por su importancia, cobra relevancia la incorporación de didácticas activas durante la enseñanza de estos temas y la flexibilidad del acceso a laboratorios remotos.

La iniciativa CDIO promueve el establecimiento de unos modelos y lineamientos, con base en 12 estándares, para la educación en ingeniería en todo el mundo, y surge del distanciamiento entre las competencias de los ingenieros y las demandas en la práctica de la ingeniería en contexto. Entre las más de 120 instituciones alrededor del mundo que han adoptado esta iniciativa, está la Universidad del Quindío; en particular, el programa de Ingeniería Electrónica es el primero en implementarla en esta Institución.

Finalmente, en el trabajo se exponen seis circuitos eléctricos diseñados para ser manipulados tanto de forma presencial como de forma remota, conservando la similitud entre la manipulación física y la remota, en los cuales se vincula aprendizaje activo enmarcado en la iniciativa CDIO. El primer laboratorio trata sobre las leyes de Kirchhoff, el segundo sobre divisores de corriente y voltaje, el tercero trata sobre mallas, nodos y resistencias equivalentes, el cuarto sobre principios de linealidad y superposición, el quinto sobre el teorema de Thevenin y la máxima transferencia de potencia, y el sexto sobre Amplificadores operacionales en configuración inversor.

Palabras clave: Laboratorios remotos; circuitos eléctricos; enseñanza de ingeniería

Abstract

In this work we present the design process for a remote experimentation platform, which uses active learning strategies, as support to teaching of direct current electrical circuits, by using the Conceive, Design, Implement, and Operate (CDIO) framework for the Electronics Engineering Program of Universidad del Quindío.

Remote experimentation laboratories have played a fundamental role in the formation of engineers and technicians, where laboratory work represents a fundamental resource for face-to-face educational modality. Nevertheless, simulated and remote laboratories still have an important role, establishing complementary and alternative channels for training and skills generation. In addition, remote laboratories have an advantage, they allow access to actual systems with no need of physical attendance plus a greater schedule flexibility.

In the same way, active learning strategies allow students to be protagonists of their own learning as suggested by XXI century education teaching tendencies. Therefore, ICT has been a determinant factor for the growth of educational coverage, thanks to the arrangement of blended teaching environments integrating these technological resources, which obtained great importance with the imposed challenges as a consequence of the COVID-19 pandemic. Linking active learning strategies to remote laboratories allow flexible learning when accessing laboratory facilities.



On the other hand, electrical circuits refer to components which are interconnected and through which flow an electrical current; knowledge and experimentation on this kind of circuits are essential in educational programs related to engineering, where DC electrical circuits are the base for building disciplinary knowledge. It is important to incorporate active learning strategies when teaching these topics and to ease access to remote laboratories.

The CDIO initiative promotes the establishment of some models and guidelines based on 12 standards, targeting engineering education worldwide; it originates from the estrangement between the engineers' competencies and the engineering exercise in context. Universidad del Quindío has adopted this initiative among 120 institutions around the world; and the Electronics Engineering Program is the first implementing the initiative in this institution.

Finally, in this work we present six electrical circuits designed to be manipulated both face-to-face and remotely, by keeping the similarities between physical and remote manipulation, for which we linked active learning strategies according to the CDIO initiative. First laboratory deals with Kirchhoff laws, second laboratory deals with voltage and current dividers, third laboratory deals with mesh and node analysis and equivalent resistance, fourth laboratory deals with linearity and superposition principles, fifth laboratory deals with Thevenin theorem and maximum power transfer and sixth laboratory deals with operational amplifiers in inverting configuration.

Keywords: remote laboratories; electrical circuits; engineering education

1. Introducción

Es innegable la necesidad de realizar prácticas de laboratorio para una apropiación de conocimientos en la enseñanza de temas de circuitos eléctricos, donde se puedan contrastar los resultados teóricos con mediciones reales. En este propósito, se debe contar con la disponibilidad de equipos, de espacios de laboratorio, de horario de los estudiantes y de horarios de docentes o auxiliares que supervisen los montajes realizados. La congruencia de estos elementos hace que el acceso a prácticas de laboratorios sea limitado. En el mejor de los casos, con una instrucción previa de realización de montajes y manejo de equipos, los estudiantes pueden realizar prácticas sin la asistencia de un docente, pero se requieren los otros elementos.

En ese sentido, los Instrumentos Virtuales en la Realidad (*Virtual Instrument Systems in Reality VISIR*) es uno de los enfoques más conocidos para diseñar laboratorios remotos de circuitos eléctricos y electrónicos (Tawfik, et al., 2013), cuya arquitectura ha sido adoptada por diferentes proyectos alrededor del mundo (Schlichting, et al., 2016), (Viegas, et al., 2017), (Tawfik, et al., 2014).

Los laboratorios remotos que se adhieren a la arquitectura VISIR generalmente se basan en matrices de conmutación de relés (Lamza & Sučić, 2014), (Gustavsson, 2016), que brindan una gran flexibilidad y confiabilidad. Sin embargo, a través de este enfoque, los circuitos se muestran al usuario final como una placa virtual en una aplicación WEB, por lo que los circuitos reales permanecen ocultos detrás de las conexiones en la matriz de conmutación de relés, donde al final, la experiencia del usuario es comparable a la de usar un simulador.



Considerando lo anterior, y para una mayor flexibilidad en la realización de las prácticas, se propone la implementación de unos módulos que puedan ser usados tanto para prácticas presenciales como para prácticas remotas, siendo la presencialidad una forma de conocer y aprender a operar los módulos, y el acceso remoto un complemento para terminar las prácticas o realizar experimentos adicionales en horarios diferentes a los formalmente planteados para las asignaturas. Por lo tanto, el proyecto se enfocó en hacer que los circuitos físicos fueran claramente visibles para los usuarios, junto con las mediciones de voltaje y corriente que se muestran en dispositivos de visualización reales. De esta manera, toda la escena del laboratorio se puede transmitir mediante una cámara de Protocolo de Internet (IP), donde el módulo se puede manipular de forma remota haciendo clic en los botones que se muestran en la escena real. Como ventaja adicional, los módulos diseñados también se pueden usar de manera presencial.

En lo que resta del artículo se muestra la propuesta de laboratorios remotos para circuitos eléctricos, se explica el esquema general y la forma de uso. Posteriormente se muestran los resultados alcanzados hasta el momento y por último se muestran las conclusiones.

2. Propuesta de laboratorios

A partir de las guías de laboratorio usadas por los profesores de circuitos I, se realizó un proceso de selección de las prácticas susceptibles de ser realizadas por una plataforma remota y se realizaron ajustes de forma que las prácticas remotas se pudieran desarrollar de manera similar a las desarrolladas en presencialidad. Después de este proceso se propusieron los módulos que serían conectados al sistema remoto.

El sistema propuesto se muestra en la figura 1, donde se tienen los módulos para prácticas de laboratorio, dichos módulos pueden ser usados de forma presencial o también pueden ser operados de forma remota.

Para la operación presencial cada módulo consiste de una pantalla y un conjunto de pulsadores. En la pantalla se muestra información de corriente o voltaje, la información mostrada está relacionada con el último pulsador presionado según la función asociada a dicho pulsador.

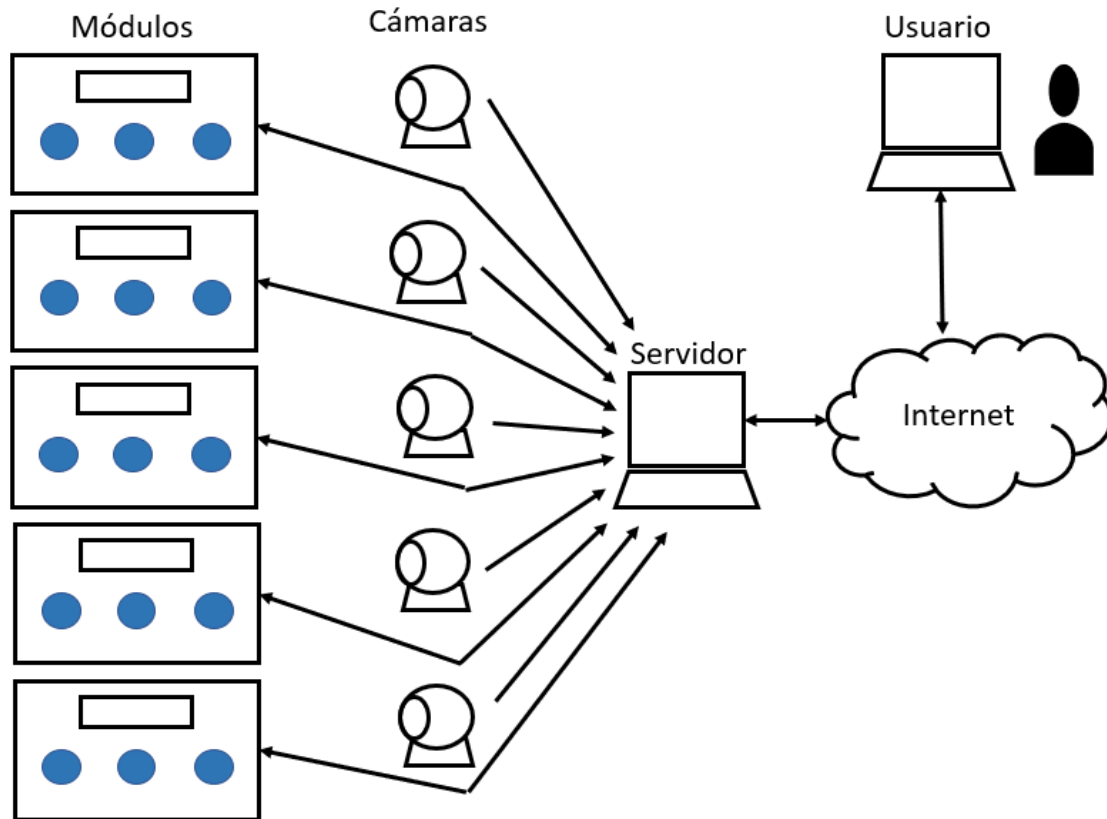


Figura 01 Sistema de laboratorio remoto de circuitos DC

Los módulos son conectados a un servidor para el uso de forma remota, cada módulo tiene asociada una cámara que enfoca el módulo y que también está conectada a un servidor. El servidor se comunica a través de internet con los usuarios interesados. Los usuarios, con un navegador, se deben comunicar con el laboratorio remoto para pedir una cita, disponible en horarios donde no se están usando los módulos en forma presencial, incluyendo noches y días no hábiles. Una vez se inicia el horario de la cita, el usuario puede visualizar el módulo con la imagen de la cámara, la pantalla del módulo mostrará la información de voltaje o corriente correspondiente al último pulsador presionado, pero en este caso, en lugar de presionar el botón físicamente, se realiza un click en la imagen sobre el pulsador deseado.

El profesor que usa los módulos de forma presencial debe retornar los módulos a su respectiva posición en frente de una cámara, para que puedan ser usados de forma remota; para generar flexibilidad en este aspecto, cualquier módulo puede ser colocado en frente de cualquier cámara, respetando únicamente la ubicación de la pantalla. Para que el sistema reconozca el módulo que está en frente de una determinada cámara se estableció un código binario que está presente en cada módulo y que indica a cuál de los laboratorios corresponde, dicho código binario reproduce los números del 1 al 5 y se dibuja en la parte superior con la ausencia o presencia de un conjunto de 4 bloques, como se muestra en la figura 2. Se debe notar que todos los módulos tienen un borde negro, que permite detectar el límite del módulo y la ubicación del código binario

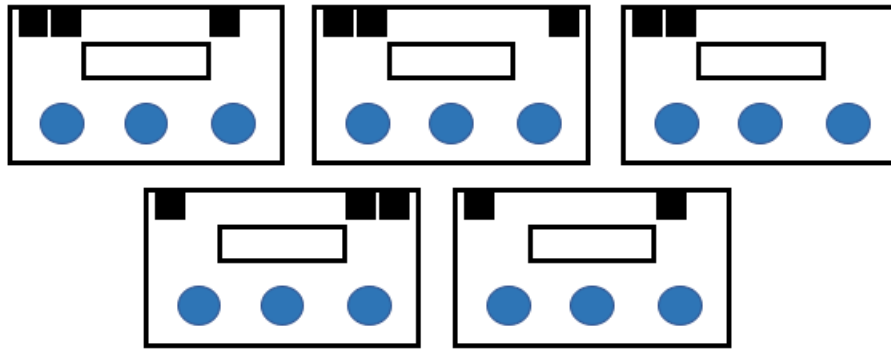


Figura 02 Identificación de los módulos con código binario

Cada módulo cuenta con pulsadores que permiten seleccionar las acciones que se deben desarrollar en el laboratorio, como modificar voltajes o medir voltajes o corrientes. Por ejemplo, en la figura 3 se muestra la configuración del módulo relacionada con el laboratorio de análisis de nodos y mallas.

En este módulo se encuentra la pantalla en la parte superior, que en este caso está mostrando el voltaje en el nodo 2, se tienen 5 pulsadores marcados de color azul, que permiten mostrar voltaje en los nodos $v1$ a $v5$, se tienen 2 pulsadores de color rojo, que permite medir la corriente en las mallas $i1$ e $i2$, y se tienen 4 pulsadores, dos por cada fuente $f1$ y $f2$, marcados con los signos más y menos, que permiten subir o bajar el voltaje presente en cada fuente.

Si la práctica es presencial los pulsadores serán presionados físicamente por los usuarios según la acción que requieran, si la práctica es remota los usuarios darán click sobre el pulsador cuya acción correspondiente se requiera.

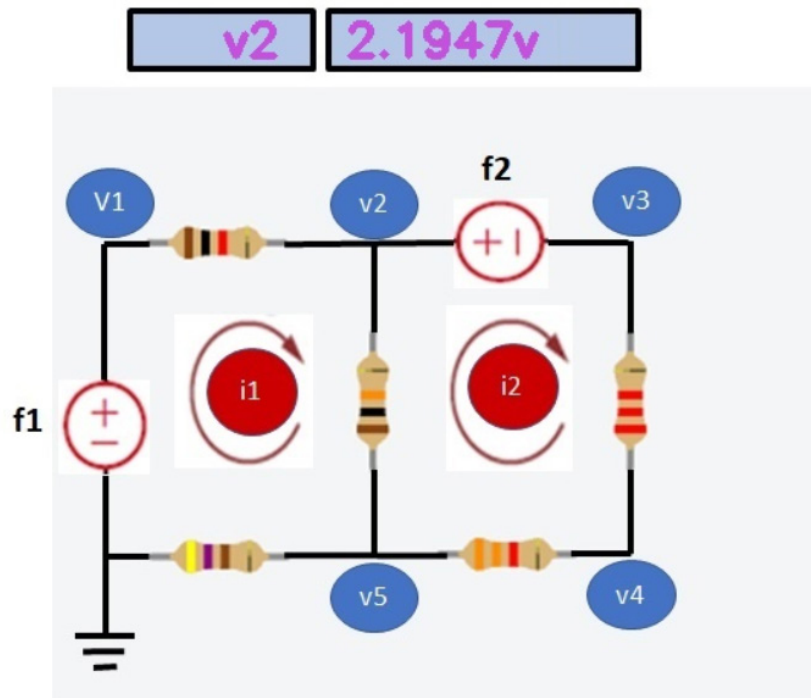


Figura 03 Módulo de análisis de nodos y mallas.

También se tiene establecido que los módulos permitan al docente cambiar las resistencias dentro de unos intervalos permitidos, el docente puede entonces usar valores diferentes de resistencias, con lo que a su vez se varían los respectivos valores de corriente y voltaje esperados.

Los estudiantes que usan el laboratorio remoto pueden, a través de un aumento de la imagen, verificar los colores que tienen las resistencias presentes en el circuito, con lo cual determinan su valor teórico y pueden realizar los cálculos de los valores esperados y contrastarlos por los valores arrojados por el módulo.

3. Resultados

Los módulos y el laboratorio remoto están en construcción, en todo, se han desarrollado mecanismos de prueba para la verificación a nivel de prototipo. Entre estos mecanismos, se ha establecido la factibilidad de presionar los pulsadores de forma virtual a través de realizar un click sobre la imagen de la cámara, se han diseñado las fuentes necesarias para alimentar los módulos, y se ha definido la configuración de cada uno de los módulos.

Los módulos contienen laboratorios para los temas de leyes de Kirchhoff (figura 4), divisores de corriente y voltaje (figura 5), mallas (figura 6), nodos y principios de linealidad y superposición (figura 7), resistencias equivalentes, el teorema de Thevenin y la máxima transferencia de potencia (figura 8), y sobre Amplificadores operacionales en configuración inversor (figura 9).

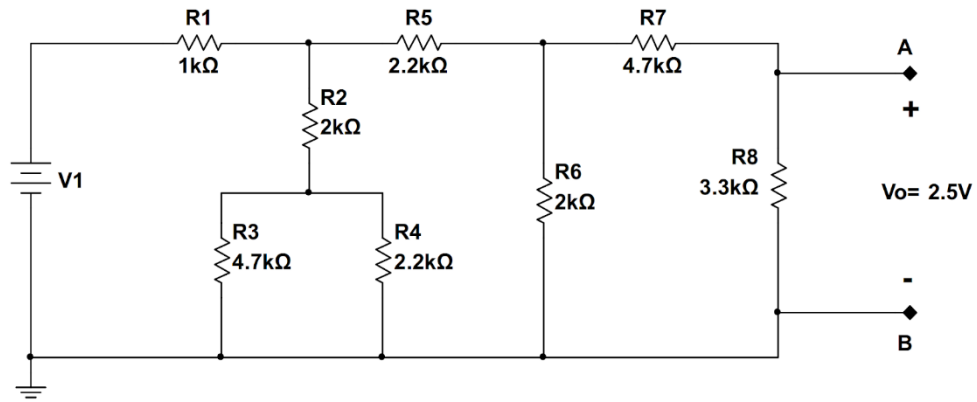


Figura 4. Laboratorio de leyes de Kirchhoff

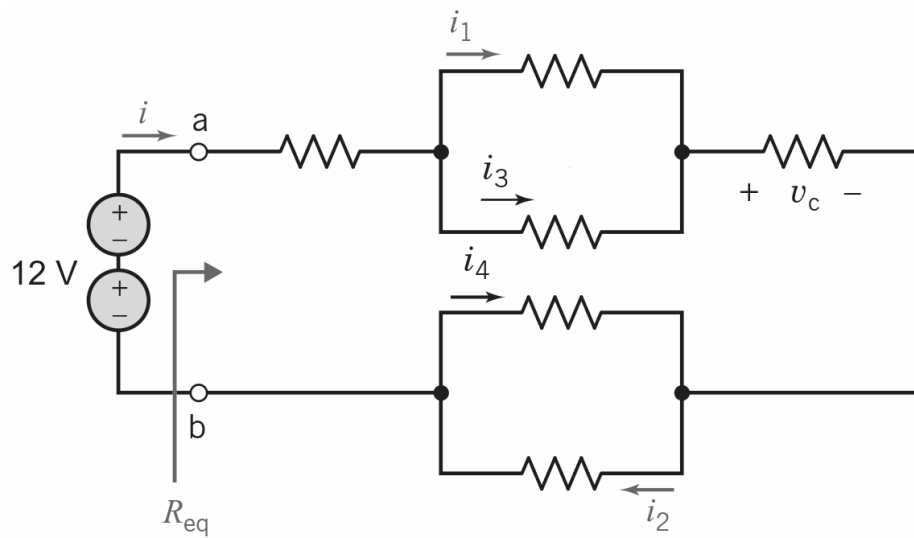


Figura 5. Laboratorio de divisores de corriente y voltaje

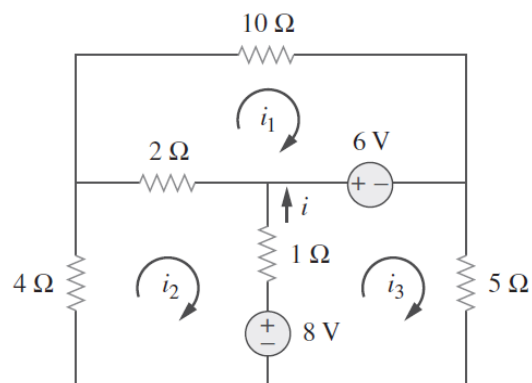


figura 6 Laboratorio de Mallas

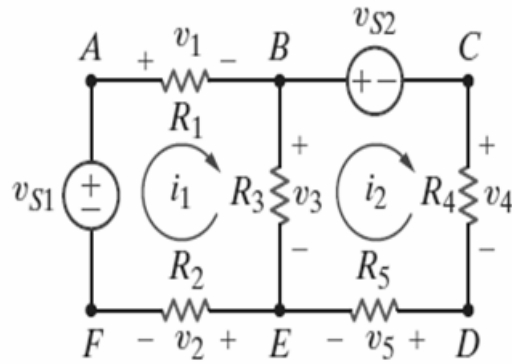


Figura 7 laboratorio de nodos y principios de linealidad y superposición

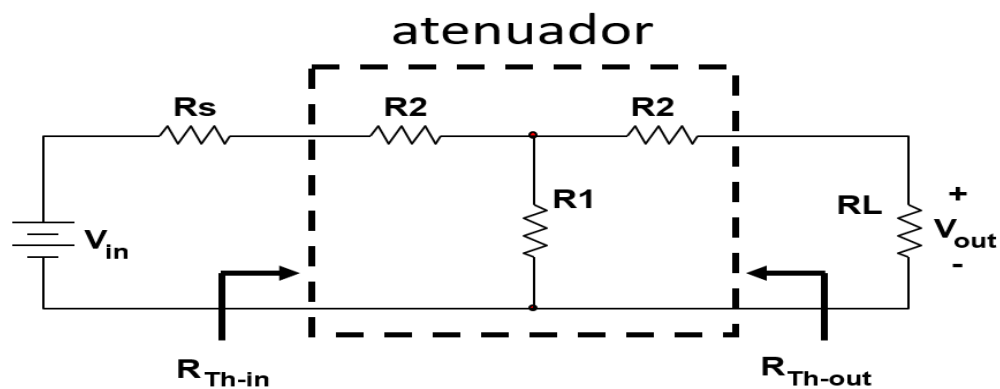


Figura 9 Laboratorio de resistencia equivalente, el teorema de Thevenin y la máxima transferencia de potencia

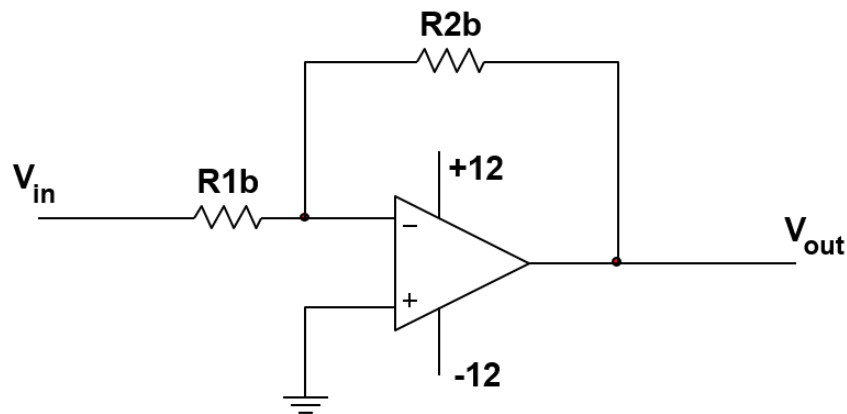


Figura 10 Laboratorio de Amplificadores operacionales en configuración inversor

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó una propuesta de laboratorio que puede ser desarrollada tanto de manera presencial como de manera remota, esta configuración genera flexibilidad de acceso a los

estudiantes, de conformidad con los resultados de aprendizaje y habilidades previstas para el desarrollo de los procesos académicos de los estudiantes.

Aunque el laboratorio aún se encuentra en construcción, las pruebas realizadas evidencian la factibilidad y conveniencia de su implementación. Toda vez que se han realizado algunas pruebas de concepto y se han realizado simulaciones rigurosas de algunos circuitos, por ejemplo, los que serán usados como fuentes de voltaje y para la medición de los voltajes y las corrientes.

Además de la propuesta que representa el laboratorio remoto, los autores llevaron a cabo una revisión detallada de las guías de laboratorio existentes, para las cuales se realizaron los ajustes necesarios que permitieran su uso en experimentación tanto de forma presencial como de manera remota conservando las estrategias del aprendizaje activo.

5. Referencias

- M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martin, R. Gil, G. Diaz, A. Colmenar, J. Peire, M. Castro, K. Nilsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, and I. Gustavsson, "Virtual instrument systems in reality (visir) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard," *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 60–72, 2013.
- L. C. M. Schlichting, G. de S. Ferreira, D. D. de Bona, F. de Faveri, J. A. Anderson, and G. R. Alves, "Remote laboratory: Application and usability," in *2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAE)*, 2016, pp. 1–7.
- M. C. Viegas, G. R. Alves, A. Marques, N. Lima, M. C. Felgueiras, R. J. Costa, A. V. Fidalgo, I. Pozzo, E. Dobboletta, J. García-Zubía, U. Hernández-Jayo, M. Castro, F. G. Loro, D. G. Zutin, and C. Kreiter, "The visir+ project - preliminary results of the training actions," in *REV*, 2017.
- M. Tawfik, E. S. Cristóbal, S. Martín, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, G. Díaz, J. Peire, M. Castro, J. García-Zubía, U. Hernández-Jayo, P. Orduña, I. Angulo, M. C. Costa-Lobo, A. Marques, M. C. Viegas, and G. R. Alves, "Visir: Experiences and challenges," *Int. J. Online Eng.*, vol. 8, pp. 25–32, 2012.
- S. Lamza and V. Sučić, "Comparison of signal switching matrices for remote laboratories and a novel solution using fpga technology," *Procedia Engineering*, vol. 69, pp. 844–851, 2014.
- VISIR RELAY SWITCHING MATRIX VERSION 4.1 – DATA SHEET, Ingvar Gustavsson, 2016.

Sobre los autores

- **Jaiber Evelio Cardona Aristizábal:** Ingeniero Electrónico, Máster en Automatización, Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor titular de la Universidad del Quindío. jaibercardona@uniquindio.edu.co
- **Alexander López Parrado:** Ingeniero Electrónico, Máster en Ingeniería, Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor asociado de la Universidad del Quindío. parrado@uniquindio.edu.co
- **Alexander Vera Tasamá:** Ingeniero Electrónico, Especialista en Radiocomunicaciones, Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor asistente de la Universidad del Quindío. Director de Programa Ingeniería Electrónica Universidad del Quindío. avera@uniquindio.edu.co



- **Jorge Alejandro Aldana Gutiérrez:** Ingeniero Electrónico. Especialista en Gerencia de Proyectos. Máster en Administración de la Universidad Pontificia Bolivariana. Director de Programa Maestría en Ingeniería Universidad del Quindío. jaldana@uniquindio.edu.co
- **Juan David Arias Gómez:** Tecnólogo en Construcción del Sena. Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío. jdariasg@uqvirtual.edu.co
- **Carlos Andrés Mazo Valencia:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío. carlosa.mazov@uqvirtual.edu.co
- **Ómar Alberto Bañol Gómez:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío. omara.banolg@uqvirtual.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

