

Superando las barreras de acceso a la educación: un prototipo para el estudio remoto del capacitor



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 21/ Edición N.42
Julio - diciembre de 2024
Reia4205 pp. 1-21
Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

✉ **NATALIA ANDREA VALENCIA-FAJARDO**¹
RUBIEL VARGAS-CAÑAS¹
MAVY SOFIA MUÑOZ-VARON¹
MICHEL DANIELA ARROYAVE-PIAMBA¹

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Valencia-Fajardo, N. A.; Vargas-Caña, R.; Muñoz-Varon, M. S.; Arroyave-Piamba, M. D.

Superando las barreras de acceso a la educación: un prototipo para el estudio remoto del capacitor Revista EIA, 21(42), Reia4205.

pp. 1-21.
<https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1776>

✉ Autor de correspondencia:

Natalia Andrea Valencia-Fajardo
Ingeniería Física
Universidad del Cauca, Colombia
navalencia@unicauca.edu.co

Recibido: 02-10-2023

Aceptado: 27-05-2024

Disponible online: 01-07-2024

1. Universidad del Cauca, Colombia

Resumen

En muchas regiones de nuestro país, y del mundo, el acceso a las prácticas de laboratorio de física y en especial de electromagnetismo es limitado. La falta de acceso a laboratorios tiene consecuencias significativas para los estudiantes, incluyendo la pérdida de experiencia práctica, oportunidades de aprendizaje limitadas y menos desarrollo de habilidades técnicas. Por esto, se presenta en este trabajo un prototipo que permite, de manera remota, reconocer el capacitor como un dispositivo de almacenamiento de energía. Para ello, se siguió una metodología de tres fases: i) la primera, levantamiento de requerimientos; ii) luego se elaboró un diagrama de casos de uso que proporciona una visión de cómo los usuarios interactúan con el hardware.; iii) finalmente se implementaron los servicios y funciones que el programa ofrece al usuario. Esto facilita al estudiante la ejecución remota de la prueba de laboratorio, la toma de datos, su visualización, la descarga de las gráficas requeridas y el cálculo del error experimental. Así pues, con los datos obtenidos se logró determinar la constante de tiempo Tau de carga y descarga del condensador y estudiar el comportamiento de sus curvas. Esto ratifica al condensador como un eficiente dispositivo de almacenamiento de carga y se puede llegar a esta conclusión de forma remota, este tipo de pruebas de laboratorio también promueve una educación más accesible e inclusiva.

Palabras claves: laboratorios remotos; internet de las cosas; circuito rc; capacitor; constante de tiempo.

Overcoming barriers to educational access: a prototype for remote capacitor study

Abstract

In many regions of our country, and the world, access to laboratory practice in physics and especially electromagnetics is limited. The lack of access to laboratories has significant consequences for students, including the loss of practical experience, limited learning opportunities and less development of technical skills. For this reason, a prototype is presented in this work that allows, remotely, to recognize the capacitor as an energy storage device. For this purpose, a three-phase methodology was followed: i) first, requirements gathering; ii) then, a use case diagram was elaborated to provide a vision of how users interact with the hardware; iii) finally, the services and functions that the program offers to the user were implemented. This facilitates the student the remote execution of the laboratory test, the data collection, its visualization, the downloading of the required graphs and the calculation of the experimental error. Thus, with the data obtained it was possible to determine the time Tau constant of charge and discharge of the capacitor and to study the behavior of its curves. This ratifies the capacitor as an efficient charge storage device and this conclusion can be reached remotely, this type of laboratory tests also promotes a more accessible and inclusive education.

Keywords: *remote laboratories; internet of things; rc circuit; capacitor; tau time constant.*

1. Introducción

El aprendizaje experimental es un componente esencial en la educación de estudiantes dedicados a las ciencias e ingenierías. Esté se ha visto impactado recientemente por circunstancias desafiantes, como la pandemia por COVID-19 y otras situaciones que han llevado a la adopción de la educación a distancia como una alternativa a las actividades presenciales. El Covid-19 obligó a la mayoría de Instituciones de Educación Superior (IES) a cerrar sus campus, lo que imposibilitó la realización de prácticas de experimentación presenciales en los cursos de ingeniería (del Blanco Alegre, Calvo Gordaliza y Fraile Laiz, 2021). Según un informe de la Asociación

Internacional de Universidades (AIU) titulado “*Perspectivas Regionales y Nacionales sobre el Impacto de COVID-19 en la Educación Superior*”, en mayo de 2020, alrededor del 67% de las IES cambiaron a la enseñanza en línea, aproximadamente una cuarta parte suspendió las clases mientras realizaban búsquedas de alternativas, y el 7% finalmente canceló sus procesos docentes (del Blanco Alegre, Calvo Gordaliza y Fraile Laiz, 2021). Durante la pandemia, en todos los niveles educativos, la mayoría de los docentes se enfrentaron a problemas para crear materiales educativos interactivos y realizar una evaluación. Esto tuvo una clara repercusión en los alumnos que, en ocasiones, se encontraron con recursos limitados para el aprendizaje en línea o dificultades en el acceso a dichos recursos (Delgado, 2023).

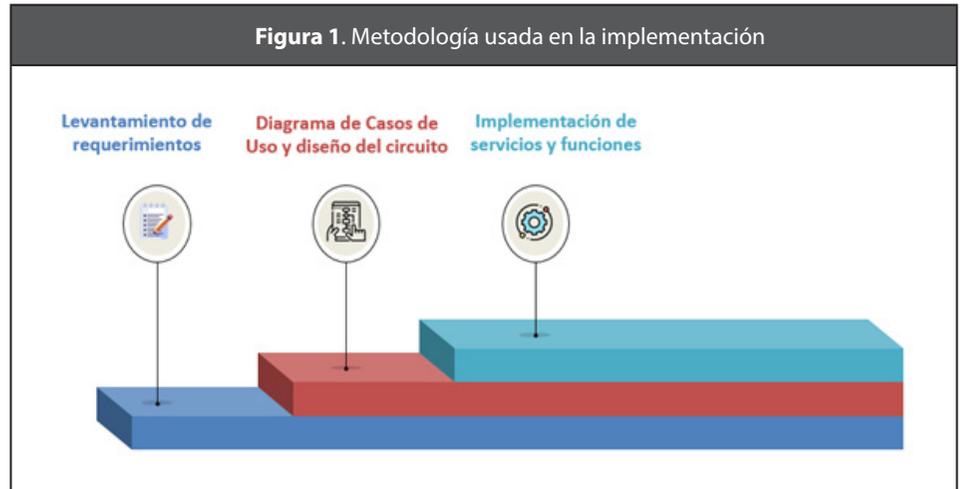
Dado que la experimentación desempeña un papel crucial en la formación técnica de los estudiantes, surgió la necesidad de explorar nuevos métodos para llevar a cabo experimentación en entornos donde la presencialidad no es factible. Así pues, se han concebido y aplicado diversas soluciones para llevar a cabo prácticas de laboratorio en entornos virtuales. Se han ideado estrategias variadas para la ejecución de experimentos a distancia, que engloban tanto laboratorios simulados accesibles a través de la web como laboratorios físicos que pueden ser operados de manera remota. En la Universidad Cooperativa de Colombia Hurtado y David, (2022) desarrollaron un laboratorio virtual destinado a la experimentación con circuitos eléctricos resistivos para simular el comportamiento de las resistencias para analizar tanto las intensidades de corriente como las diferencias de potencial. En la Escuela de Administración, Finanzas y Tecnologías (EAFIT) Olarte Hernández, (2010) diseñó e implementó una plataforma de laboratorios que podían ser controlados de forma remota. Esta plataforma permitía la integración de dos laboratorios de física. El primero brindaba acceso remoto a instrumentos utilizados para la caracterización de diversos componentes electrónicos y para el procesamiento de señales. El segundo laboratorio contaba con un microscopio de fuerza atómica, aunque su accesibilidad era más limitada, ya que solo científicos o profesionales debidamente entrenados tenían la posibilidad de utilizar este dispositivo. En la Universidad del Valle Urbano López

et al., (2021) llevaron a cabo la creación de un laboratorio remoto centrado en el área de automática para la realización de actividades experimentales relacionadas con sistemas de control. En el ámbito de los laboratorios simulados, se destaca la presencia de Physics Education Technology (PhET), una serie de simulaciones interactivas desarrolladas por la Universidad de Colorado Boulder en diversas áreas de la enseñanza (Saudelli et al., 2021). Estas simulaciones incluyen experimentos relacionados con Electricidad y Magnetismo, como el circuito RC.

En cuanto a las simulaciones, presentan desventajas, ya que suelen representar entornos ideales sin errores experimentales. En contraste, los laboratorios remotos ofrecen una ventaja significativa al permitir a los estudiantes interactuar a través de Internet con equipos reales, brindándoles experiencias que se asemejan más a la realidad y les permiten enfrentar y comprender los errores experimentales comunes en las prácticas de laboratorio. Ninguna de las soluciones implementadas por las instituciones mencionadas incluyó prácticas de laboratorio relacionadas con el electromagnetismo, como el circuito RC. Por lo tanto, este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un prototipo que permite, de manera remota, reconocer el capacitor como un dispositivo de almacenamiento de energía.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del prototipo, se aplicó una metodología compuesta por tres fases (Figura 1). En la primera fase abarcó el levantamiento de requerimientos. En la segunda fase, se llevó a cabo la creación del diagrama de casos de uso y el diseño del circuito. La tercera y última fase se centró en la implementación de servicios y funciones que permitieran a los estudiantes operar la práctica de forma remota a través de una interfaz gráfica.



2.1. Levantamiento de requerimientos

Para llevar a cabo el proceso de levantamiento de requerimientos, se hizo referencia a las guías utilizadas en el laboratorio de la Universidad del Cauca, (2019), específicamente en el Departamento de Física, que se enfocan en las prácticas de electromagnetismo destinadas al programa de ingeniería física. En este contexto, se consideraron los elementos fundamentales que se detallaban en las guías, como el marco teórico, el montaje experimental, el procedimiento experimental, el análisis de datos y los resultados esperados. Esto se hizo con el propósito de definir qué información era necesaria proporcionar a los estudiantes para que pudieran llevar a cabo la práctica de manera efectiva.

Además, se consideró brindar a los estudiantes diversas opciones de valores para los componentes del circuito, como resistencias y capacitancias. Esta flexibilidad permite a los estudiantes elegir entre un rango de valores como lo harían en el laboratorio presencial. Se consideró que el rango de valores de capacitancia y resistencia no debían ser muy pequeños porque estos valores definen la constante de tiempo, denotada comúnmente como τ (tau), en un circuito RC es una medida que describe la velocidad con la que el voltaje en un condensador se carga o descarga a través de una resistencia (Ling et al., 2018). Si se eligieran valores extremadamente pequeños, el capacitor se cargaría de manera tan rápida que los datos experimentales serían difíciles de adquirir, especialmente en lo que

respecta a la señal de voltaje necesaria para realizar los cálculos correspondientes.

2.2. Diagrama de casos de uso y diseño del circuito

Para construir un aplicativo web, un componente fundamental en el proceso de desarrollo de software es un diseño consistente y bien documentado, se deben generar modelos del sistema que acompañen y guíen el proceso ((Kulak Y y Guiney, 2008)).

Para elaborar el diagrama de casos de uso se consideró como los usuarios iban a interactuar con el hardware desde la interfaz gráfica. Posteriormente, se diseñó el circuito, incorporando las funciones e interacciones que se definieron en el diagrama de casos de uso y también se tomaron en cuenta las necesidades que se identificaron durante el proceso de levantamiento de requerimientos.

2.3. Implementación de servicios y funciones

La implementación servicios y funciones se realizó mediante un sistema con arquitectura de internet de las cosas (IoT) (Figura 2) que contiene cuatro capas (Tonato Chuquimarca y Sinche Maita, 2022).

2.3.1 Capa de percepción

Es la capa más próxima al mundo físico del proyecto y engloba una serie de elementos esenciales, como sensores, actuadores y dispositivos que desempeñan la función de convertir señales analógicas en digitales (Tonato Chuquimarca y Sinche Maita, 2022). En este contexto, se usó un sensor encargado de medir el voltaje en un condensador, y un actuador, en forma de un relé, que posibilita la apertura y el cierre del circuito para cargar o descargar el condensador. Además, se incluyó un microcontrolador ESP32, una herramienta poderosa y rentable para desarrollar

aplicaciones de IoT (Hercog et al., 2023). que asumió la tarea de transformar la señal analógica de voltaje, en una señal digital. En esta capa también se aloja el conjunto completo del circuito, junto con los componentes electrónicos necesarios, como los condensadores y los potenciómetros digitales utilizados para modificar la resistencia en el circuito.

2.3.2. Capa de campo

La capa de campo se ubicó directamente sobre la capa de percepción y fue la encargada de gestionar los datos provenientes de los sensores y de la base de datos Firebase. En esta capa, se destacó la presencia de un Gestor de Servicios, representado por el microcontrolador ESP32. Los datos incluían mediciones de voltaje captadas por el sensor con un tiempo de muestreo de dos segundos. El gestor de servicios se encargó de organizar estos datos, comunicarse con Firebase y transmitir los valores de voltaje junto con el tiempo correspondiente a cada medición.

Todo este se apoya en el Firmware, un software que se instaló en la ESP32, el cual se desarrolló utilizando el entorno de desarrollo (IDE) de Arduino. En el firmware, se inició estableciendo la conexión con la base de datos y posteriormente, la ESP32 recibió instrucciones de la base de datos que proporcionó el estudiante a través de la interfaz. Estas instrucciones incluyen un valor de capacitancia, dado que existen dos circuitos con diferentes capacitancias, el usuario proporciona un valor que determina cuál de los dos circuitos se activa. Además, se incluyó la resistencia en estas instrucciones, ya que los potenciómetros digitales requieren un valor específico para su ajuste. Así mismo, se especificó si se desea cargar o descargar el circuito, lo que configura su funcionamiento.

La ESP32, en respuesta a estas instrucciones, adquiere los datos a través del sensor y los transmite de regreso a la base de datos.

2.3.3 Capa de red

Esta capa se establece la conexión de la ESP32 con una base de datos en tiempo real en Firebase. Firebase de Google es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil.

Dentro de los servicios que ofrece se encuentra Firebase Realtime Database, una base de datos NoSQL alojada en la nube que permite almacenar y sincronizar datos entre los usuarios en tiempo real (Koushal et al., 2022).

La ESP32 también desempeña un papel crucial en esta capa, ya que gestiona las señales entre la capa de percepción y la capa de presentación a través de la base de datos. La conexión con la base de datos con Firebase se estableció mediante WIFI utilizando el protocolo HTTPS. Posteriormente, se asignó una URL a la base de datos creada específicamente para el proyecto en Firebase. A continuación, se generó una clave de autenticación o token de seguridad. Esta clave aseguró que solo los dispositivos autorizados tuvieran acceso y permiso para modificar los datos en la base de datos. Con la URL, el token y la conexión WIFI, la ESP32 se conectó de manera exitosa a Firebase.

2.3.4 Capa de presentación

En esta capa se realizó la interfaz gráfica en el entorno integrado (IDE) Visual Studio Code utilizando el lenguaje de programación Python, el Framework Django, HTML y JavaScript.

Con el Framework Django se programó un sistema que se basó en la Modelo Vista Template (MVT) (Figura 3a):

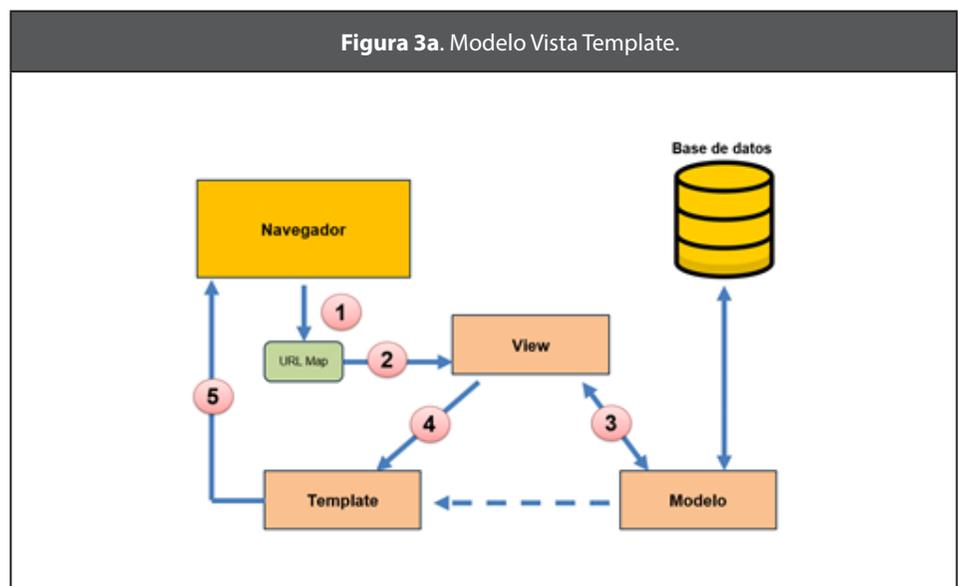
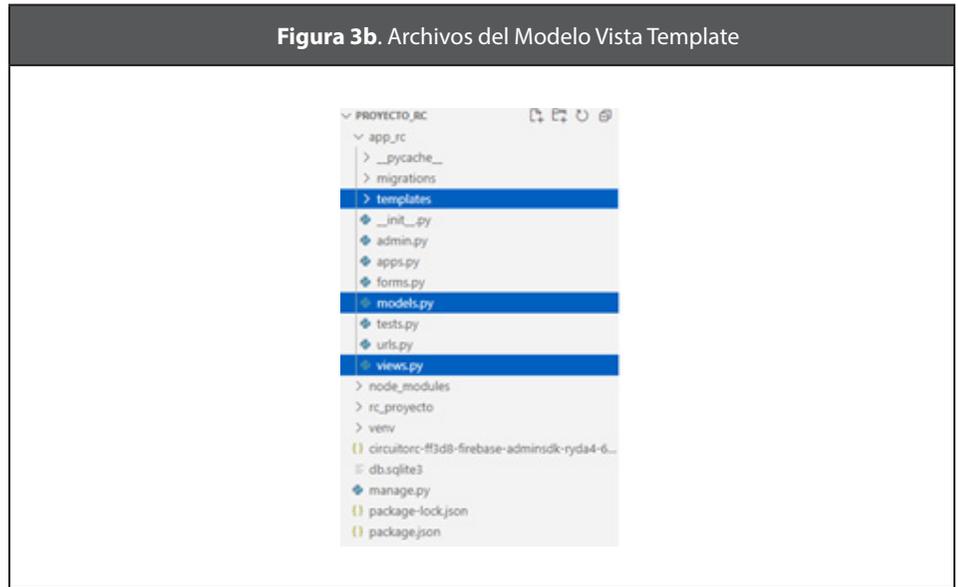


Figura 3b. Archivos del Modelo Vista Template



En este modelo, cuando se realiza una solicitud a través del navegador, el primer punto de acceso es el mapa de URLs. Dentro de este archivo, cada ruta se encuentra vinculada a una vista específica. En esta vista, se solicitan datos al modelo, el cual a su vez genera una consulta en tiempo real a la base de datos de Firebase. Posteriormente, los datos que se obtienen se transmiten nuevamente a la vista para llevar a cabo los cálculos necesarios. Los resultados de estos cálculos se envían al Template que contiene la lógica de presentación, donde finalmente se muestran al usuario.

En el modelo, se incluyó la implementación de la creación, lectura, actualización y eliminación de datos en la base de datos (CRUD). La carpeta de Templates contiene todos los archivos de tipo Lenguaje de Marcado de Hipertexto (HTML) para la presentación de la interfaz (figura 3b), y en la vista, se llevaron a cabo los cálculos necesarios utilizando los datos provenientes del modelo para obtener los resultados de la práctica. Estos cálculos involucraron la determinación de la constante de tiempo “Tau” y la corriente, tanto en la carga como en la descarga del condensador. Todas estas operaciones se basaron en los datos de tiempo y voltaje. Para realizar estos cálculos, se consideraron las ecuaciones físicas que describen el comportamiento del capacitor:

Carga del condensador

La ecuación que describe el voltaje que se almacena en el capacitor en función el tiempo (Ling et al., 2018):

$$v(t) = v_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad (1)$$

$$\tau = RC \quad (2)$$

La corriente del condensador en función del tiempo (Ling et al., 2018):

$$i = c \cdot dv/dt \quad (3)$$

$$i = v_0 / R \cdot e^{-t/RC} \quad (4)$$

Para calcular experimentalmente el valor de la constante de tiempo utilizando los valores de voltaje y tiempo, se aplicó una técnica de linealización. La curva de carga o descarga de un condensador en un circuito RC sigue una función exponencial (Ling et al., 2018). Sin embargo, en la región inicial de esta curva, cuando el voltaje en el condensador cambia de manera gradual, es posible aproximar su comportamiento a una relación lineal (Ling et al., 2018).

$$\ln(v_0) - v(t) = -1/\tau (t \cdot \ln(v_0)) \quad (5)$$

La pendiente de la recta producto de la linealización proporciona el valor de la constante de tiempo:

$$\tau = 1/m \quad (6)$$

Descarga del condensador

La ecuación que describe el voltaje que se almacena en el capacitor en función el tiempo durante la descarga (Ling et al., 2018):

$$v(t) = v_o e^{-t/RC} \quad (7)$$

La corriente del condensador se define como:

$$i = c \cdot dv/dt \quad (8)$$

$$i = -v_o / R \cdot e^{-t/RC} \quad (9)$$

El sentido físico del signo negativo en la ecuación de la corriente se debe a que, durante la descarga del condensador, la corriente fluye en sentido contrario al convencionalmente definido. En la mayoría de los circuitos, la corriente se considera como el flujo de carga desde el polo positivo hacia el polo negativo (Ling et al., 2018). Sin embargo, en el caso de un condensador descargándose a través de una resistencia en un circuito RC, la corriente fluye desde el polo negativo hacia el polo positivo del condensador (Ling et al., 2018).

Para encontrar el valor de Tau, también se realizó una linealización a la ecuación (7):

$$\ln(v) = (-t)/\tau + \ln(v_o) \quad (10)$$

El valor de la constante de tiempo en la descarga se representa en la ecuación (6)

3. Resultados

Los resultados obtenidos en cada una de las fases de la metodología implementada se mencionan a continuación:

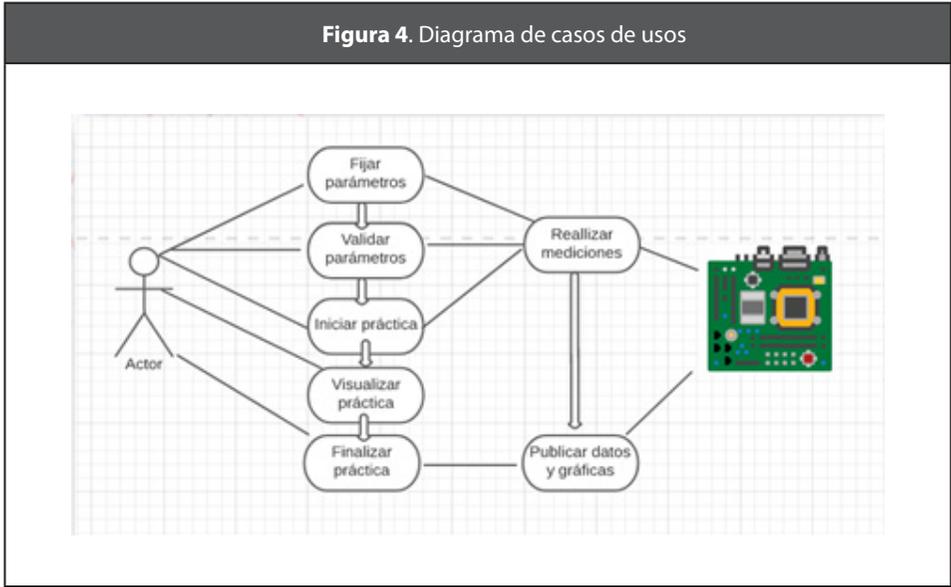
3.1. Levantamientos de requerimientos

Del levantamiento de requerimientos, se obtuvieron los siguientes requisitos y lineamientos que deben proporcionarse a los estudiantes para llevar a cabo la práctica de manera correcta.

- a. Se requiere proporcionar dos valores de capacitancia diferentes: 3000 uF y 1000 uF. Cada uno de estos valores se podrá utilizar en un circuito distinto.
- b. Se debe variar la resistencia en cada uno de los dos circuitos RC, se necesitan potenciómetros digitales con un rango de resistencia entre 6,5k Ω -15,5K Ω .
- c. Se debe medir el voltaje del capacitor a medida que este se carga y descarga, simultáneamente, se debe tomar el tiempo que corresponde a cada valor.
- d. Se debe calcular el tiempo de asentamiento Tau experimental y teórico, incluyendo el error.
- e. Se debe dar la posibilidad al usuario de visualizar las gráficas de voltaje en función del tiempo y de la corriente en función del tiempo, la corriente debe calcularse con los valores de resistencia y voltaje experimentales.
- f. Se debe dar la posibilidad al usuario de observar los datos en una tabla y de descargar las gráficas.

3.2. Diagrama de casos de uso y diseño del circuito

Se obtuvo el diagrama de casos de usos (Figura 4) con las funciones e interacciones definidas.



Teniendo en cuenta este diagrama se diseñó el circuito (Figura 5 y 6) con los componentes definidos en el levantamiento de requerimientos (Tabla 1):

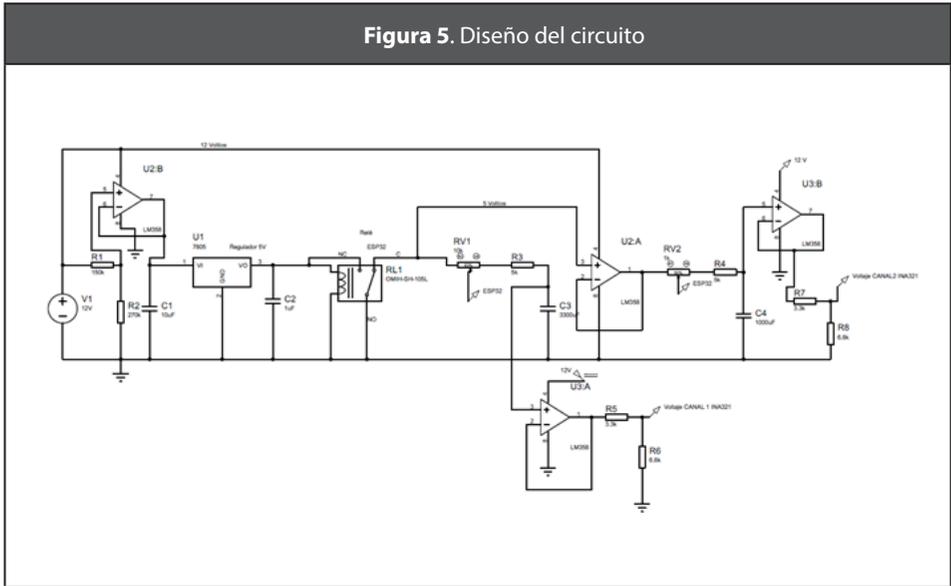


Tabla 1. Componentes electrónicos más importantes del circuito

Cantidad	Componente del circuito
1	Fuente de voltaje de DC de 12V
1	Regulador L7805CV
1	X9C103P de 10 k en pasos de 100 ohmios
1	X9C102P de 1k en pasos de 10 ohmios
1	Capacitor electrolítico 1000 uF, 50 V
1	Capacitor electrolítico 3300 uF, 50 V
1	Modulo relé de Arduino
1	Tarjeta ESP32
2	Sensor INA3221
4	Amplificadores operacionales LM358P

Para todo el circuito se necesitó solo una fuente de 12 voltios, a partir de ella se implementó un divisor de voltaje para obtener a la salida 7,7 voltios, este voltaje llegaba a un regulador L7805CV de 5 voltios. Con los 5 voltios a la salida del regulador se alimentaba el sensor, el relé, los potenciómetros digitales y los circuitos RC. Se proporcionaron 12 voltios directos de la fuente de alimentación para abastecer todos los amplificadores operacionales que se utilizaron en el acoplamiento de impedancias.

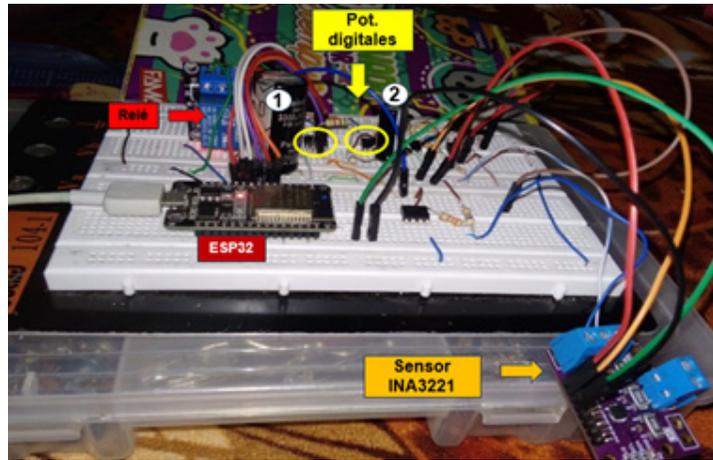
Se realizaron dos circuitos, por lo tanto, había dos canales y cada uno requirió una resistencia variable, para el caso del canal 2 con una capacitancia de 1000 uF se utilizó un potenciómetro digital no volátil X9C102P de 1K Ω , en pasos de 10 Ohmios, el cual tenía un conjunto de resistencias compuesto por 99 elementos resistivos. Para el primer canal se utilizó un potenciómetro digital X9C103P de 10k Ω , en pasos de 100 Ohmios, para aumentar el rango de resistencia en ambos potenciómetros se colocaron en serie con resistencias de 10 k Ω . Con la finalidad de llevar a cabo la carga y descarga del condensador se utilizó un relé de Arduino.

El voltaje de carga y descarga que se mide en los terminales del capacitor cambia su valor por la impedancia del capacitor y la del sensor de voltaje, razón por la cual fue necesario implementar un acople de impedancias. Se implementó un seguidor de voltaje

con amplificador operacional LM358P, este Buffer tenía una salida exactamente igual a la entrada y una impedancia de salida muy baja evitando los efectos de carga.

Para medir el voltaje se consideró el sensor INA3221 (Figura 6), el cual tiene 3 canales de mediciones con un error máximo de tan solo 0.25% y utiliza el protocolo I2C como medio de comunicación con otros dispositivos (Ayala-Astacio, D.A. 2020). Para obtener suficientes datos de voltaje que permitieran realizar las gráficas, tanto en carga como en descarga, se analizó que el circuito debía alimentarse con mínimo 5V, pero la tarjeta tenía entradas analógicas que soportaban máximo hasta 3,3 V, lo que indicó que se debía pasar de un rango de 0-5V a 0-3,3V para que la tarjeta ESP32 pudiera adquirir los datos. Para lograr esto se implementó un divisor de voltaje.

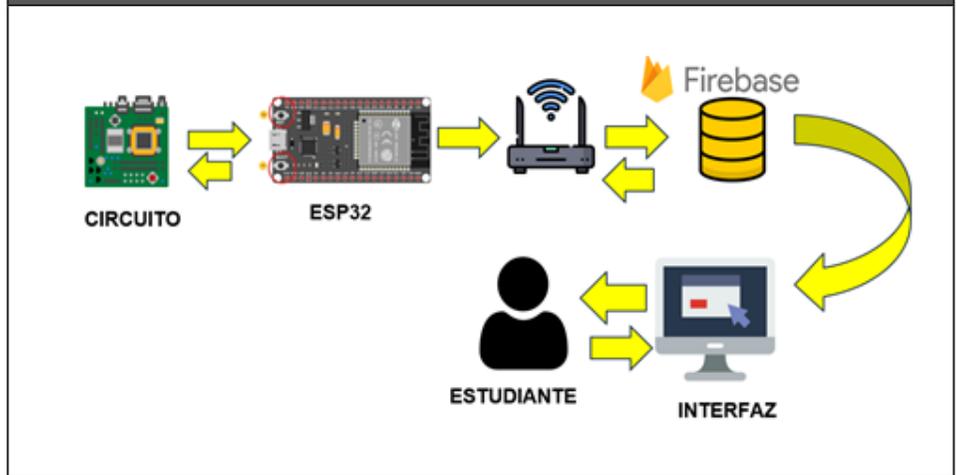
Figura 6. Circuito que se implementó



3.3. Implementación de servicios y funciones

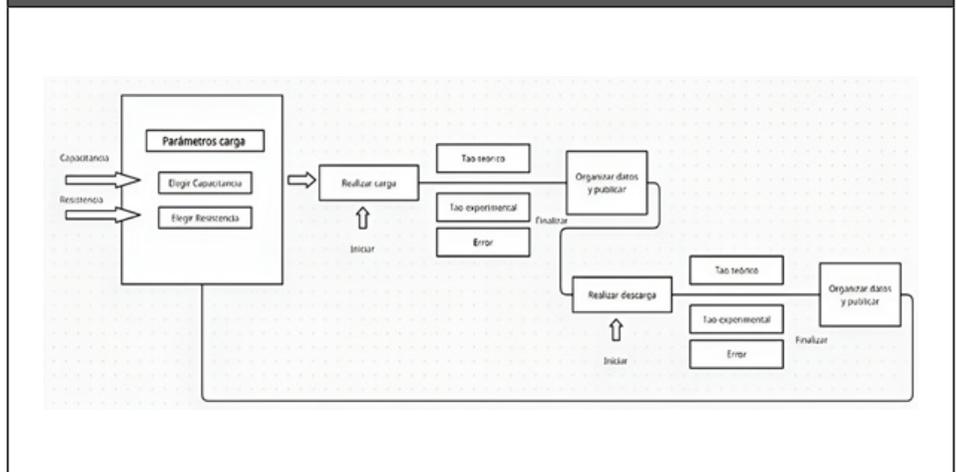
Al implementar la arquitectura de IoT, se desarrolló un sistema integrado que incluyó todos los servicios y funciones necesarios para realizar la práctica de carga y descarga de un circuito RC (Figura 7) (Berbes Villalón et al., 2022).

Figura 7. Esquema del sistema que se implementó con los servicios y funciones



El proceso se inicia cuando el estudiante proporciona parámetros a través de la interfaz gráfica. Estos parámetros se transmiten a Firebase, Luego, la ESP32 se conecta a la base de datos a través de Wi-Fi, lee los parámetros y toma decisiones en función de estos valores. El circuito responde a estas decisiones y envía datos que son adquiridos por la ESP32 para luego ser transmitidos nuevamente a la base de datos. En el código de la interfaz gráfica, los datos recuperados se procesan, se llevan a cabo operaciones específicas y finalmente se presentan al usuario. Todo este proceso se explica en detalle en la guía de usuario que se diseñó (Figura 8).

Figura 8. Guía de usuario



La interfaz diseñada se basa en los requerimientos. En el primer formulario, se permite al usuario saber que dispone de dos circuitos con diferentes capacitancias. A partir de esta información, se habilita la opción para elegir la capacitancia deseada. En función de la elección de la capacitancia, se presentan automáticamente los valores de resistencia correspondientes para cada circuito (Figura 9).



Luego, el proceso continúa con la carga del condensador, y se concluye con la presentación de los resultados (Figura 10a y 10b). Al completar la carga, se ofrece la opción de descargar el condensador, y nuevamente se obtienen resultados que se presentan al usuario, repitiendo el mismo proceso que al inicio.

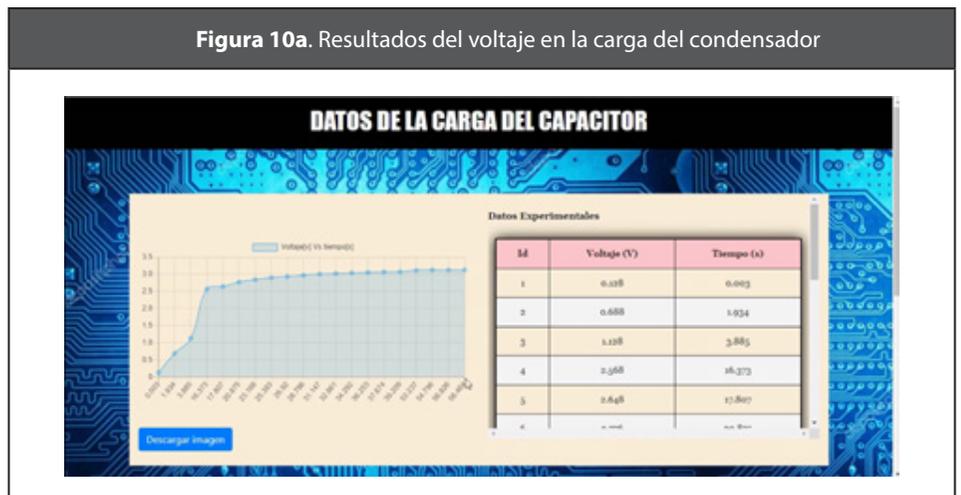
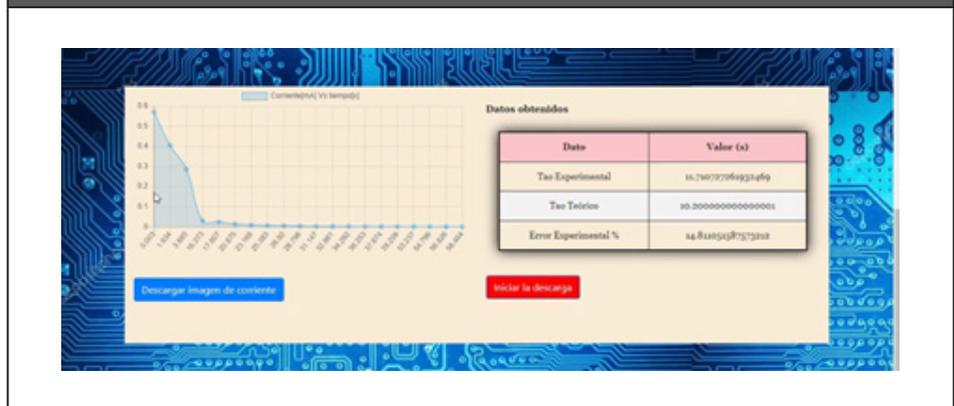


Figura 10b. Resultados de la corriente en la carga del condensador



4. Discusión y Conclusiones

Como resultado del desarrollo de un prototipo automático para la práctica de laboratorio de carga y descarga de un circuito RC, se concluye que se evidenció que un prototipo remoto de un circuito RC permite identificar al capacitor como un dispositivo de almacenamiento de energía. Esto posibilita que los estudiantes aprendan de manera similar a como lo harían en un entorno presencial. Sin embargo, para lograr esto, fue necesario identificar correctamente los requisitos de la práctica. Por lo tanto, se puede inferir que realizar un levantamiento de requisitos en este proyecto permitió obtener con claridad la información necesaria para que los estudiantes puedan llevar a cabo la práctica de manera remota, con todos los recursos debidamente implementados y proporcionados. Seguidamente al realizar un diagrama de casos de uso se proporcionó una visión general de cómo los usuarios interactúan con el hardware. Esto sirvió como una base sólida para el diseño y desarrollo del circuito. Esta fase de la metodología ayudó a garantizar que el circuito se ajustara a las necesidades y expectativas de los usuarios, lo que resulta en soluciones más efectivas. Luego, en los servicios y funciones, se observó que la implementación de las etapas de la arquitectura del Internet de las Cosas en el laboratorio remoto permite el desarrollo de un sistema integral con todos los servicios y funciones implementados.

Felipe, (2001), diseñó un prototipo que automatizaba la práctica del circuito RC. El sistema que desarrolló arrojó resultados similares a los obtenidos en este proyecto, ya que ambos implicaban el análisis del comportamiento del voltaje durante el proceso de carga y descarga de varios condensadores, ajustando la resistencia y la capacitancia. Sin embargo, existen diferencias notables entre ambos proyectos. Felipe, (2001), utilizó herramientas como Matlab y LabVIEW para crear la interfaz del sistema, pero no implementó una arquitectura de Internet de las cosas (IoT) y, en consecuencia, operaba de manera local sin hacer uso de una base de datos.

Por otro lado, Olarte Hernández, (2010) y Urbano López et al., (2021), se centraron en el desarrollo de laboratorios automatizados remotos mediante una arquitectura IoT. Aunque se enfocaron en prácticas distintas a las del laboratorio de electromagnetismo, mientras que este proyecto incorpora la práctica del circuito RC, automatizándola y considerando una base de datos en tiempo real con el framework Django, basado en el patrón MVT. Se seleccionó la herramienta de desarrollo Django porque permite trabajar de forma más organizada, Siguiendo la opinión de Molina Ríos, Loja Mora, Zea Ordóñez y Loaiza Sojos, (2016), se puede afirmar que Django es considerado como uno de los frameworks más destacados para el desarrollo de aplicaciones web escritas en Python. Este framework destaca por su capacidad para seguir el patrón de diseño Modelo-Vista-Template (MVT), lo que permite una clara separación de las responsabilidades dentro de la aplicación.

El proyecto actual combina la práctica del circuito RC con una estrategia más avanzada de automatización y gestión de datos a través de una arquitectura IoT, además de emplear herramientas como Django y el patrón MVT para desarrollar una interfaz más sofisticada.

Finalmente, se espera que, si las instituciones educativas consideran la implementación de laboratorios remotos, esto podría representar una gran ventaja en situaciones adversas, como la que se vivió durante la pandemia. También se convierte en una opción valiosa cuando no existen suficientes laboratorios físicos para satisfacer las necesidades de los estudiantes.

Símbolos	
C	Capacitancia
i	Corriente
m	Pendiente de la recta
R	Resistencia
v	Voltaje en el capacitor
v_o	Voltaje fuente en el circuito RC
τ	Constante de tiempo tau

5. Referencias

- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI (1996). doi: 10.26507/ponencia.1996.
- Ayala-Astacio, D.A. (2020) *Desarrollo de un sistema software/hardware que permita un consumo energético responsable en las salas multimedia (UPCTstream) de la UPCT*. Tesis (Máster universitario en sistemas electrónicos e instrumentación). Cartagena: Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9041> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Berbes-Villalón, D.M., de la Iglesia Campos, M., Díaz-Aguirre, E. y Delgado-Fernández, T. (2022) 'An IoT architecture for smart cities based on the FIWARE platform', *Revista de ciencia y tecnología*, (38), pp. 20–27. doi: 10.36995/j.recyt.2022.38.003.
- Del Blanco Alegre, C., Calvo Gordaliza, A.I. y Fraile Laiz, R. (2021) 'Laboratorios virtuales aplicados a la Física universitaria: situación actual y perspectivas futuras - [Virtual laboratories applied to university Physics: current situation and future scenarios]', en *Innovaciones docentes en tiempos de pandemia*. Zaragoza: Servicio de Publicaciones Universidad.
- Delgado, P. (2023) 'The impact of COVID-19: How are universities three years after the pandemic?', *Observatory - Institute for the Future of Education*. Disponible en: <https://observatory.tec.mx/edu-news/impact-of-covid-19-higher-education-unesco/> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Felipe, O.L.V.E. (2001) 'Automatización de experiencias del laboratorio de física eléctrica de la c.u.t.b. -ternera', *Edu.co*. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0058106.pdf> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Hercog, D. et al. (2023) 'Design and implementation of ESP32-based IoT devices', *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(15), p. 6739. doi: 10.3390/s23156739.
- Hurtado, A. y David, I. (2022) *Desarrollo del laboratorio virtual de circuitos eléctricos resistivos para la facultad de ingenierías de la universidad cooperativa de Colombia sede Bogotá*. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/items/8ed0bbe8-9f03-40c7-86bc-3e53f8769032> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Koushal, A., Gupta, R., Jan, F., Kamaldeep, K. y Kumar, V. (2022) 'Home Automation System Using ESP32 and Firebase', en *2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*. IEEE.
- Kulak, Y.D. y Guiney, E. (2008) *Use Cases: Requirements in Context*. 2ª ed. Addison-Wesley Professional.

- Ling, S.J., Sanny, J., Moebs, W., Friedman, G., Druger, S.D., Kolakowska, A., Anderson, D., Bowman, D., Demaree, D., Ginsberg, E.S., Gasparov, L., LaRue, L., Lattery, M., Ludlow, R., Motl, P., Pang, T., Podolak, K., Sato, T., Smith, D., Trout, J. y Wheelock, K. (2018) '6.5 RC circuits', en *Introduction to Electricity, Magnetism, and Circuits*. Canadá: University of Saskatchewan, Distance Education Unit, pp. 468–472.
- Molina Ríos, J.R., Loja Mora, N.M., Zea Ordóñez, M.P. y Loaiza Sojos, E.L. (2016) 'Evaluación de los frameworks en el desarrollo de aplicaciones web con python', *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 4(4), pp. 201-207. doi: 10.18294/relais.2016.201-207.
- Olarte Hernández, T. (2010) 'Plataforma Web para acceso remoto a instrumentación física avanzada Diseño e implementación', *Revista Universidad EAFIT*, 46(160), pp. 36–47. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/16800> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Saudelli, M.G., Kleiv, R., Davies, J., Jungmark, M. y Mueller, R. (2021) 'PhET simulations in undergraduate Physics: Constructivist learning theory in practice', *Brock Education Journal*, 31(1). doi: 10.26522/brocked.v31i1.899.
- Tonato Chuquimarca, C. y Sinche Maita, S. (2022) 'Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT', *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 10(21), pp. 55–70. doi: 10.36825/riti.10.21.006.
- Universidad del Cauca (2019) 'Carga y descarga de un condensador'.
- Urbano-López, J.E., Holguín-Berrocal, A.M., Chiza, J.D., Mejía, E.F., Cabal, E., Rosero, E. y Ramírez, J.M. (2021) 'Herramientas para la experimentación remota-virtual-local de sistemas de control en tiempos de pandemia', en *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2021*.