

SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL USO REMOTO DE UN LABORATORIO DE ENERGÍA RENOVABLE

DANIEL ALEJANDRO GARZÓN GÓMEZ

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2024



SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL USO REMOTO DE UN LABORATORIO DE ENERGÍA HÍBRIDA

DANIEL ALEJANDRO GARZÓN GÓMEZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director:

Msc. Dario Alejandro Segura Torres

Codirector:

Msc. Edwin Francisco Forero García

Msc. José Luis Paternina

Grupo de Investigación MEM

Línea de Investigación: Automática

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Bogotá, Colombia

2023

Autoridades de la universidad

RECTOR GENERAL

Fray Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

Fray, Hernán Yesid RIVERA ROBERTO, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

Fray, Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

SECRETARIA GENERAL

Dra. Lucero Galvis Cano.

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Fray Javier Antonio HINCAPIÉ ARDILA, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

EC. Luz Patricia Rocha Caicedo.

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Doc. Carlos Andrés Torres Pinzón.

Nota de aceptación

Firma del tutor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. _____ DE 2024

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mis padres, quienes han sido mi ejemplo a seguir y mi guía para entender que, con esfuerzo y perseverancia, todo es posible. Gracias a ellos, que cada día luchan con dedicación para construir un mejor futuro para mi hermana y para mí, he logrado todo lo que hoy celebro. Este logro es suyo, por su apoyo incondicional y su amor infinito.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los docentes de la Universidad Santo Tomás, quienes hicieron posible la realización de este proyecto. En especial, agradezco al Msc Darío Segura Torres, al Msc José Luis Paternina y al Msc Carlos Javier Mojica. Su orientación y apoyo fueron fundamentales para culminar exitosamente este trabajo.

Finalmente, me gustaría agradecer a mis compañeros, quienes siempre estuvieron a mi lado durante mi carrera y en el desarrollo de este proyecto.

Contenido

Resumen.....	XI
Abstract	XII
Lista de Figuras	XIII
Lista de Tablas.....	XV
Glosario	XVI
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Impacto Social.....	6
2. Estado del Arte	7
3. Marco Teórico.....	11
3.1. Importancia del estudio de energías híbridas	11
3.1.1. Definición energía híbrida	11
3.1.2. Tipos de energías renovables.....	12
3.1.3. Importancia.....	13
3.2. Laboratorios remotos.....	13
3.2.1. Definición	13
3.2.2. Características técnicas para un sistema de laboratorio remoto.....	13
3.3. Componentes de una guía de laboratorio para prácticas en fuentes de energía	14
3.4. Desarrollo de aplicaciones web con comunicación en tiempo real.....	15
3.4.1. Frontend	15
3.4.2. Backend.....	15
3.4.3. Base de datos.....	16
3.4.4. SignalR	16
4. Diseño Metodológico.....	18
4.1. Fases y Metodología.....	18
4.1.1. Caracterización del Kit “Development Kit Energy Harvesting”	18
4.1.2. Diseño prácticas de laboratorio	19

4.1.3.	Desarrollo aplicación web	19
4.1.4.	Implementación de Hardware para la comunicación con la aplicación web	19
4.1.5.	Pruebas funcionales por parte del usuario experto.....	20
5.	Desarrollo Conceptual.....	20
5.1.	Características del Kit “Development kit Energy Harvesting”	20
5.1.1.	Tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700	20
5.1.2.	DC2080A (Multi-Source Energy Harvester)	21
5.1.3.	Características de la celda fotovoltaica AM-5412	21
5.1.4.	Pertinencia del sistema para acceso remoto a prácticas de laboratorio	21
5.2.	Diseño de guías para practica de laboratorio	22
5.2.1.	Diseño de la práctica de laboratorio “Curva característica I-V de una celda fotovoltaica”	22
5.3.	Diseño y desarrollo de la aplicación web para el laboratorio remoto.....	26
5.3.1.	Herramientas empleadas	26
5.3.2.	Requerimientos para la aplicación web.....	28
5.3.2.1.	Frontend.....	28
5.3.2.2.	Backend	28
5.3.3.	Arquitectura de componentes	28
5.3.4.	Arquitectura de la solución de software.....	29
5.3.4.1.	Componente LMS.....	30
5.3.4.2.	Componente MVC	30
5.3.4.3.	Componente servicios	30
5.3.4.4.	Componente de negocio	30
5.3.4.5.	Componente de datos	31
5.3.4.6.	Componente hardware	31
5.3.4.7.	Componente base de datos	31
5.4.	Diseño de componentes de hardware	31
5.4.1.	Definición de requerimientos	32
5.4.2.	NodeMCU	32
5.4.3.	Diseño del hardware	33
5.4.4.	Diseño del software para el NodeMCU	39
5.5.	Pruebas funcionales por parte de usuario experto	41
6.	Resultados y Discusión	42

6.1.	Aplicación web para el laboratorio remoto	42
6.2.	Funcionamiento y verificación de los resultados obtenidos en la aplicación web	44
6.2.1.	Verificación de la captura de la señal de voltaje de la celda fotovoltaica	44
6.2.2.	Verificación del ángulo de disparo que se provee al bombillo	45
6.2.3.	Pruebas por parte del desarrollador	46
6.3.	Pruebas funcionales por parte de usuario experto	47
6.3.1.	Graficas de voltaje y corriente obtenidas mediante los datos experimentales	47
6.3.2.	Curva característica I-V de la celda fotovoltaica	49
6.3.3.	Curva característica P-V de la celda fotovoltaica	49
6.3.4.	Retroalimentación de usuario experto	50
7.	Conclusiones y Trabajos futuros	52
8.	Anexos	54
8.1.	Guía de laboratorio de la facultad de ingeniería electrónica	54
8.2.	Guía de laboratorio “Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales”	55
8.3.	Software microcontrolador NodeMCU.	59
8.4.	Datos capturador en la prueba de desarrollador	64
8.5.	Datos capturados en la prueba del usuario experto	65
9.	Referencias Bibliográficas	69

Resumen

El objetivo principal de este proyecto de grado es desarrollar una aplicación web que permita a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás acceder remotamente al "Development Kit Energy Harvesting" para realizar prácticas de laboratorio. Este kit incluye diversos generadores de energía, una celda fotovoltaica, un generador termoeléctrico y un generador piezoeléctrico. Para el laboratorio remoto propuesto se utilizará únicamente la celda fotovoltaica por lo cual, se diseñó una guía de laboratorio titulada "Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales", en ella se describen el funcionamiento del hardware implementado y ofrece un paso a paso para la realización del experimento mediante la aplicación web. Posteriormente, se desarrolla el hardware necesario conformado por una celda fotovoltaica, un sistema para variar la irradiancia sobre la celda, un circuito de primer orden que permite emular el comportamiento de una carga variable conectada a la unidad de generación de energía renovable y un microcontrolador, el cual se encarga de recopilar los datos y enviarlos mediante sus funciones de WiFi a la aplicación web. La aplicación web se encarga de mostrar la información obtenida de la celda fotovoltaica en tiempo real, visualizando los datos a través de gráficos o tablas, y también permite controlar parámetros referentes al laboratorio como la irradiancia emitida a la celda fotovoltaica y la carga o descarga del condensador del circuito de primer orden.

Palabras clave: Laboratorios remotos, aplicación web, tiempo real, educación, celda fotovoltaica.

Abstract

The main objective of this degree project is to develop a web application that allows students of the School of Electronic Engineering of the Universidad Santo Tomás to remotely access the “Development Kit Energy Harvesting” to perform laboratory practices. This kit includes several power generators, a photovoltaic cell, a thermoelectric generator and a piezoelectric generator. For the proposed remote laboratory, only the photovoltaic cell will be used; therefore, a laboratory guide entitled “Determination of the I-V characteristic curve of a photovoltaic cell with experimental data” was designed, which describes the operation of the implemented hardware and offers a step-by-step guide to perform the experiment through the web application. Subsequently, the necessary hardware is developed, consisting of a photovoltaic cell, a system to vary the irradiance on the cell, a first order circuit that allows emulating the behavior of a variable load connected to the renewable energy generation unit and a microcontroller, which is responsible for collecting the data and sending them through its WiFi functions to the web application. The web application is in charge of displaying the information obtained from the photovoltaic cell in real time, visualizing the data through graphs or tables, and also allows to control parameters related to the laboratory such as the irradiance emitted to the photovoltaic cell and the charge or discharge of the capacitor of the first order circuit. The results show that the developed computer system allows users to receive information in real time, visualize the data through graphs or tables, and control parameters such as irradiance and the charge or discharge of the capacitor in the first order circuit.

Keywords: Remote laboratories, web application, real time, education, photovoltaic cell.

Lista de Figuras

Figura 3.1. Comunicación cliente-servidor HTTP [39]	16
Figura 3.2. AJAX en aplicación web [39]	17
Figura 3.3. Conexión virtual de SignalR [39]	17
Figura 4.1. Metodología laboratorios remotos [Autoría propia]	18
Figura 5.1. Curva característica I-V de una celda fotovoltaica [20].	23
Figura 5.2. Diseño circuito carga variable [Implementación propia del circuito basado en [20]]	23
Figura 5.3. Curva durante la carga de los condensadores [20]	24
Figura 5.4. Arquitectura laboratorio remoto de energías [Autoría propia]	29
Figura 5.5. Arquitectura de la aplicación del laboratorio remoto de energías [Autoría propia]	29
Figura 5.6. Modelo relacional base de datos [Autoría propia]	31
Figura 5.7. Esquema circuito cruce por cero [Autoría propia]	33
Figura 5.8. Esquema circuito para controlar la potencia promedio entregada a una carga [Autoría propia]	34
Figura 5.9. Circuito carga variable [Autoría propia]	36
Figura 5.10. Esquema circuito para la toma de datos mediante ADC [Autoría propia]	38
Figura 5.11. Esquema circuito completo del laboratorio remoto [Autoría propia] ..	39
Figura 5.12. Diagrama de flujo programa principal [Autoría propia]	40
Figura 5.13. Diagrama de flujo interrupción cruce por cero [Autoría propia].	41

Figura 6.1. Plantilla Bootstrap adecuada para laboratorios remotos [Autoría propia].	42
Figura 6.2. Sección de utilidades, resultados y configuración de parámetros [Autoría propia].	43
Figura 6.3. Sección graficas de voltaje y corriente de la celda fotovoltaica [Autoría propia].	43
Figura 6.4. Sección histórico de datos [Autoría propia].	44
Figura 6.6. Ondas deformadas en incrementos del 10% para la variación de intensidad del bombillo [Autoría propia].	46
Figura 6.7. Grafica en tiempo real del laboratorio remoto [Autoría propia].	46
Figura 6.7. Curva característica I-V de la celda fotovoltaica, prueba de desarrollador [Autoría propia].	47
Figura 6.8. Grafica de voltaje construida por el usuario experto [Usuario experto].	48
Figura 6.9. Grafica de corriente construida por el usuario experto [Usuario experto].	48
Figura 6.10. Curva característica I-V construida por el usuario experto [Usuario experto].	49
Figura 6.11. Curva característica P-V construida por el usuario experto [Usuario experto].	50

Lista de Tablas

Tabla 6.1. Comparación del voltaje obtenido mediante la aplicación web vs el multímetro.....	45
Tabla 6.2. Encuesta retroalimentación usuario experto.....	51

Glosario

API: Application Programming Interface.

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación.

IoT: Internet of things.

HTML5: HyperText Markup Language 5.

CSS: Cascading Style Sheets.

MVC: Model–View–Controller.

SQL: Structured Query Language.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol.

LMS: Learning Management System.

PWM: Pulse-Width Modulation.

IRS: Information Reception Service.

DOES: Delete Old Entries Service.

1. Introducción

En la actualidad la realización de prácticas de laboratorio es muy importante teniendo en cuenta que se complementan los conocimientos obtenidos teóricamente con los reales. Gracias a la tecnología se han desarrollado maneras alternativas para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, donde se usan equipos de manera virtual pero sin llegar a manejarlos realmente, también existen los laboratorios remotos, los cuales permiten utilizar de manera remota equipos de laboratorio reales, obteniendo resultados experimentales de igual manera como si se trabajara en ellos presencialmente, haciendo que cualquier persona tenga acceso a estos equipos de forma segura y desde cualquier lugar.

El proyecto "Sistema informático para el uso remoto de un laboratorio de energía híbrida" consiste en la realización de una aplicación web que permita usar el kit "Development Kit Energy Harvesting" de manera remota, para que los estudiantes de la Universidad Santo Tomás puedan realizar prácticas que incluyan experimentos, recolección de datos y analizar datos. Este kit, más un sistema informático para su uso remoto, permite desarrollar laboratorios de energías renovables ya que, es una herramienta tecnológica que da paso a la investigación, la experimentación y el desarrollo del campo de generación de energía. Este kit cuenta con diferentes tipos de generación de energía, por lo tanto, es posible realizar una práctica de laboratorio de energía híbrida, entendiéndose energía híbrida en este caso como la utilización de diferentes fuentes de energía renovable (Solar y térmica), además de esto, al ser un equipo costoso, el sistema informático que se realice para su uso debe priorizar su seguridad.

La aplicación web permite a los estudiantes de la Universidad Santo Tomás el uso remoto de equipos de manera segura, realizar las prácticas de laboratorio estipuladas en la página web, la recopilación de los datos obtenidos y el análisis de estos desde cualquier lugar.

Este laboratorio remoto, en conclusión, fomentará la investigación, experimentación y desarrollo en el campo de la energía renovable, permitiendo reforzar los conocimientos sobre temas de energías sostenibles eficientes.

1.1. Planteamiento del Problema

En la ingeniería electrónica el desarrollo de prácticas de laboratorio es fundamental, ya que se complementa la información obtenida teóricamente con la realidad, para aprender de manera efectiva.

Para personas que estudian con modalidad a distancia el desarrollo de prácticas de laboratorio reales es casi imposible, generalmente realizan esto mediante simuladores, aunque mediante ellos se pueden solventar parcialmente esta necesidad, el manejo de componentes, diseño y montaje de hardware, y uso de equipos de laboratorio también es necesario. Este es un gran problema para la vida laboral, ya que quienes no interactuaron con equipos de laboratorio durante su carrera tendrán dificultades para manejar equipos similares en su vida profesional. Las prácticas de laboratorio brindan a los egresados una experiencia valiosa antes de obtener su primer empleo, permitiéndoles familiarizarse con el uso de equipos y conocer más a fondo su implementación, preparándolos para enfrentar futuros desafíos [1]. Por lo tanto, es crucial que las instituciones educativas ofrezcan alternativas que permitan la interacción remota con estos equipos, facilitando su uso en prácticas de laboratorio donde no es obligatorio asistir presencialmente. Sin embargo, es importante señalar que el aprendizaje dependerá de la motivación y el tiempo que los estudiantes dediquen a estas prácticas, así como de la dedicación del docente para resolver las dudas que surjan [2]. Esta problemática no es la única que se puede presentar, el viernes 6 de marzo del 2020 en Colombia se inició la epidemia Covid-19, luego para el día 23 de marzo la Organización Mundial de la Salud declaró pandemia, en Colombia a partir de ese día se declara cuarentena en todo el territorio nacional [3]. Esta afectó en gran escala el área de la educación, niños, jóvenes y adultos estudiantes se vieron obligados a realizar sus clases de manera remota [4] por medio de plataformas tecnológicas (Zoom, Meet, etc.) [4]. El gran problema de esto es que, al volver a la modalidad de clases presenciales, los estudiantes no tenían muy clara la temática vista y por lo tanto se apreciaba una brecha de aprendizaje.

Generalmente las universidades se proveen de equipos e instrumentos de laboratorio con un valor monetario elevado, por esta razón las prácticas de laboratorio deben realizarse dentro de un espacio adecuado y estos deben ser suministrados por una persona especializada para cumplir esta función. Los estudiantes al no poder realizar estas prácticas desde su casa pierden tiempo, ya que algunas veces la cantidad de equipos ofrecidos no son suficientes para la demanda del mismo en un momento determinado, también equipos de muy alto costo que se cuenta únicamente con una unidad, los cuales no deben ser manipulados totalmente por una persona en proceso de aprendizaje, estos deben ser usados con supervisión de un maestro con un alto conocimiento de este equipo; dado que el control y cuidado de estos equipos no es sencillo. La cantidad de instrumentos de laboratorio prestados diariamente en una universidad, en promedio es bastante alta, y muy rara vez son devueltos en mal estado, la probabilidad para que se presenten estos daños depende totalmente del conocimiento adquirido por el estudiante. Este tipo de dificultades también se puede ver en las industrias,

donde, al igual que las universidades usan equipos que por seguridad, tamaño y costo es imposible que un empleado pueda llevarlos a su hogar para trabajar desde allí.

Del problema planteado, se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo determinar las características de un sistema informático para permitir el uso remoto de equipos de laboratorio en la formación de ingenieros electrónicos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema informático con el fin de facilitar el acceso remoto al “Development Kit Energy Harvesting” para prácticas de laboratorio, aplicando tecnologías Realtime Backend/API.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características de hardware y software necesarias del kit “Development Kit Energy Harvesting” para su funcionamiento, mediante documentación oficial para su correcto uso.
- Diseñar una práctica de laboratorio para la implementación remota del dispositivo de energía híbrida, plasmando una guía de procedimientos a realizar.
- Desarrollar una aplicación web haciendo uso de tecnologías Realtime Backend/API para lograr una comunicación estudiante-hardware, recolectando información de resultados de la práctica.
- Implementar el Hardware necesario para la comunicación de la “Development Kit Energy Harvesting” con la aplicación web teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece este dispositivo.
- Realizar pruebas funcionales por parte de un usuario experto para verificar el funcionamiento del laboratorio remoto.

1.3. Justificación

La implementación de los laboratorios en la ingeniería es muy importante, ya que permite complementar los conocimientos teóricos adquiridos en clase con su aplicación práctica, frecuentemente se usan equipos de alto costo que permiten el buen desarrollo de las prácticas y es necesario tener conocimiento básico de cómo funcionan para el correcto manejo de estos. La tecnología avanza progresivamente al pasar de los años, generalmente entre más tecnología tenga un equipo de laboratorio, mayor es su precio de venta, por lo cual el préstamo de estos en las universidades únicamente se realiza con supervisión de un profesional.

Épocas como la pandemia causada por el Covid-19, la cual afectó considerablemente el desarrollo de las clases en las universidades, en ese momento las instituciones educativas tuvieron que entrar en una etapa de adaptación [5], haciendo uso de tecnologías como el internet y los computadores como complemento de aprendizaje, solventando parcialmente la necesidad de obtener un conocimiento aceptable. Los laboratorios remotos nacen por la necesidad de complementar la experimentación presencial [6], y así mismo de fortalecer los conocimientos adquiridos teóricamente, una buena solución para este tipo de problemas.

Las TIC's han permitido la realización de semilleros, diplomados y cátedras en línea [7], logrando que personas se conviertan en profesionales desde cualquier lugar, en el caso de profesiones que requieren el uso de equipos de laboratorio, se requieren alternativas para que los estudiantes tengan acceso a estos equipos. Los laboratorios remotos permiten que los estudiantes a distancia puedan usar los equipos de alto costo ofrecidos por las instituciones de educación superior para la realización de los experimentos, adquiriendo conocimientos de manera real, teniendo un control completo de los equipos desde cualquier lugar y así mismo un sistema de protección para estos.

Los laboratorios remotos permiten tener un mayor control y seguridad para los equipos de laboratorio, por esta razón se propone el proyecto con el fin de facilitar la realización de prácticas de laboratorio con equipos de alto costo. El presente proyecto va de la mano con la línea de automatización del grupo de investigación Modelado-Electrónica-Monitoreo (MEM) de la Universidad Santo Tomás, potenciando así su investigación con respecto al control y protección de equipos remotamente. Este no es el único proyecto realizado de esta temática, existen otros como, por ejemplo, "Sistema remoto para prácticas de laboratorio como estrategia Educación 4.0 en la formación de Ingenieros Electrónicos" [8] y "Diseño de un prototipo para el mejoramiento de la enseñanza de energía fotovoltaica" [9] en los cuales se ha demostrado que la implementación de los laboratorios remotos es efectiva en el aprendizaje. Este laboratorio remoto es el único enfocado específicamente en el uso de equipos de alto costo los cuales exclusivamente son prestados con supervisión de un profesional.

1.4. Impacto Social

Durante la realización y aplicación del proyecto se logró tener un gran impacto en el grupo de investigación de la Facultad Ingeniería Electrónica, MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo) de la universidad Santo Tomás de Bogotá, ofreciendo así nuevos conocimientos en el desarrollo de los laboratorios remotos para su línea de investigación de automatización.

Los laboratorios remotos se han desarrollado hace algunos años con el fin de ofrecer a los estudiantes una nueva metodología de aprendizaje, el proyecto busca facilitar la realización de prácticas de laboratorio desde cualquier lugar, impactando así en el aprendizaje de personas que estudian con modalidad virtual, adicionalmente a, se espera ofrecer un método alternativo de enseñanza para los maestros en cada uno espacios académicos relacionados con la Ingeniería aplicada, no solo en la modalidad a distancia, sino también en la presencial, mediante esta aplicación será posible tener un mayor control de los equipos de laboratorio y así mismo su seguridad, ya que al ser de un alto costo y al ser prestados diariamente en los espacios adecuados es normal que se vean afectados por el mal uso. La Universidad Santo Tomás cuenta con diferentes líneas de proyección social, teniendo en cuenta el impacto de los laboratorios remotos se puede afirmar que estos aportaron en la línea de desarrollo comunitario, puesto que está enfocado en el mejoramiento de la calidad de aprendizaje, adicionalmente también potencian la línea de educación continua, ya que permite a maestros y estudiantes obtener metodologías alternativas para el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Una gran parte de la población estudiantil se podrá ver beneficiada con esta implementación, ya que no será totalmente necesario que estos realicen sus prácticas de laboratorio de manera presencial, sino que pueden realizarlas mediante un navegador de internet y una conexión estable, obteniendo así los mismos resultados que en la práctica real, esto también aplica para estudiantes con modalidad virtual. La universidad Santo Tomás se puede ver beneficiada, ya que puede tener un mayor control de la seguridad de sus equipos y adicionalmente ofrecer métodos alternativos de estudio para personas que no puedan asistir presencialmente a la universidad.

2. Estado del Arte

En la educación media como en la superior el aprendizaje teórico es crucial, sin embargo, así como esta parte es importante en algunos espacios académicos también lo es el aprendizaje práctico. Existen diferentes modalidades de estudio, entre ellas presencial, semipresencial y a distancia; en las mencionadas anteriormente muchas veces se tienen problemas para el desarrollo de metodologías de aprendizaje práctico. Hoy en día, se están desarrollando nuevas tecnologías para la solución de esta problemática, entre ellas, los laboratorios remotos, permitiendo que personas con esta dificultad puedan desarrollar satisfactoriamente las prácticas.

Desde hace mucho tiempo se han trabajado y estudiado este tipo de prácticas, es posible que los laboratorios remotos se puedan implementar en muchos de los espacios académicos vistos en la ingeniería, sobre todo, en carreras universitarias que requieran la realización de laboratorios para fortalecer el aprendizaje teórico. Para el desarrollo de los laboratorios remotos generalmente se requiere de hardware, software y guía de laboratorio, todo esto para lograr que las personas que estudian a distancia alcancen un aprendizaje comparable al de estudiantes con modalidad presencial [10]. En la universidad muchas veces se puede encontrar con que el obstáculo principal es que los espacios propuestos para realizar estas prácticas no cuentan con la capacidad ideal, por lo tanto, se tienen que realizar diferentes sesiones para que los estudiantes las desarrollen de la mejor manera. Los experimentos universitarios aumentan su dificultad semestralmente y requieren la implementación de tecnología más avanzada [11].

Desde hace mucho tiempo se han investigado soluciones a este problema, en el 2001 se desarrolló un prototipo de laboratorio remoto expuesto en el artículo "Remote Labs!" en el cual se realizó la implementación de hardware haciendo uso de circuitos electrónicos, en este caso los productos 6B50, 6B12, 6B21 de la marca "Analog Devices" los cuales por medio de salidas analógicas y digitales permiten obtener los resultados del experimento, para la obtención de los resultados se codificó un aplicativo web netamente en Java, adicionalmente se usó protocolo RMI, este permite que la red permanezca activa hasta que el cliente o el servidor la cierre [10]. Por otro lado en el artículo "Platform independent interface for remote laboratory experiments" del 2016 se desarrolla una investigación exhaustiva acerca de las dificultades con las aulas dispuestas para el desarrollo del aprendizaje práctico, por esta razón, proponen la implementación de tecnología 2.0 y protocolos de internet para conseguir una conexión estable estudiante-experimento, existen aplicaciones como LabVIEW que permite realizar el control de elementos de laboratorio de forma remota obteniendo así los resultados pero, esta no siempre es la mejor solución ya que tras cada actualización, algunas veces se encuentran problemas de compatibilidad con proyectos anteriores. La universidad de Houston llevaba a cabo la realización de sus prácticas de laboratorio mediante el software LabVIEW, decidieron apostar por utilizar el aplicativo web realizado por los autores de este artículo, para permitir que todos los estudiantes pudieran acceder fue

alojada en una máquina Linux haciendo uso de un servidor web de Python, consiguiendo así una comunicación estable estudiante-experimento [11].

El estudio de los laboratorios remotos continua. Por ejemplo, en el año 2018 se publicó un artículo llamado “Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0” en el cual se habla que la universidad de Dortmund puso en marcha un plan para el desarrollo de laboratorios remotos y virtuales para la enseñanza de la Ingeniería Mecánica. Crearon una aplicación web llamada MOOC en la cual se encuentran todos los laboratorios remotos para conseguir un método didáctico de aprendizaje, la idea principal de la investigación era que los conocimientos obtenidos teóricamente se complementarán con las prácticas de laboratorio para así conseguir un aprendizaje efectivo [12].

El uso de los laboratorios remotos es más frecuente pero no solo en la educación, también en las empresas. La utilidad de esta tecnología se ve en su mayoría para trabajos pesados o peligrosos y también cuando se requiere el uso de una gran cantidad de equipos o máquinas ya que este permite tener un mayor control.

En un estudio de la Universidad de Almería, tres estudiantes propusieron la implementación de los laboratorios remotos para el control de una maqueta de invernadero, en la cual, se propone el diseño de un sistema multiplataforma que permita la supervisión y el control de la planta, este proyecto fue financiado por la Unión Europea, el diseño consiste de una serie de actuadores como un ventilador de corriente continua y sistema de relés para el control de la planta, en esta aplicación se usa una la técnica de control predictivo, los autores de este proyecto implementaron diferentes algoritmos entre estos control de temperatura, control de radiación y control de riego, todo esto mediante un computador usando LabVIEW y un PLC. La aplicación final permite adquirir los resultados del invernadero mediante sensores que envían información a unos módulos de la empresa ICPDAS, fue aplicada únicamente en la Universidad, pero, puede ser escalada fácilmente a nivel industrial con el uso de más PLC's y la adaptación de esta a lo que la aplicación requiera [13]. En un artículo reciente, exactamente del año 2020 realizado por dos docentes y un estudiante de la facultad de Ingeniería Electrónica pertenecientes al grupo de investigación MEM de la Universidad Santo Tomás de Bogotá, se desarrolló un laboratorio remoto específicamente para el espacio de Conversión Electromagnética, la práctica consiste en determinar el circuito equivalente de un transformador haciendo uso de equipos de laboratorio como una fuente programable, analizador de redes, inversor y transformador, sin embargo la comunicación entre el experimento y computador es una parte fundamental por ello se decidió realizar mediante los protocolos RS-485 y Ethernet para así efectuar una conexión estudiante experimento, la aplicación desarrollada solo necesita de una conexión a internet estable para ser usada [8].

Un desarrollo basado en el término IoT (Internet of Things) (Hace referencia a la conectividad de la red y de cómo esta puede facilitar el control de objetos, sensores y algunos artículos) [14], que se pueden encontrar a diario es el descrito en el artículo , “IoT Based Remote Monitoring, Control, and Protection of Irrigation Water

Pumping System” en el cual utilizan este concepto como metodología principal para el desarrollo, diseñaron una aplicación para Android la cual ofrece una interfaz sencilla de usar, en esta se encontraba el control de parámetros como la tensión de alimentación y la corriente del motor, como también el estado de la bomba, adicionalmente a la aplicación se requiere un sistema de protección para el hardware el cual se realizó por medio de relés, los cuales fueron programados en el microcontrolador ATmega 329P de Arduino Uno, los posibles fallos eran sobrecarga térmica, desequilibrio de tensión y rotación inversa. Esta es una aplicación a nivel industrial, la aplicación desarrollada permite operar las bombas de manera efectiva, adicionalmente proporciona la protección de la bomba, el envío y recibimiento de datos, toda la investigación y experimentación realizada es efectiva y de ella se logra evidenciar una estadística muy importante, el coste aproximado de la instalación es de aproximadamente cuarenta dólares, lo que quiere decir que es económico de implementar y que es una solución rentable [15]. Un lado negativo de este desarrollo es que al tener un aplicativo instalable, en el sentido en que es difícil de controlar algunas variables es más complicado el ingreso al control de la planta, para esto una solución más efectiva es la codificación de un software completamente igual en este caso una aplicación web, la cual solo será necesario una conexión a internet estable y un navegador web para el ingreso.

En [16], se describe un laboratorio remoto diseñado con el propósito principal de proporcionar una plataforma que permita la modificación sencilla del software y hardware utilizando Raspberry Pi y Python para la enseñanza de sistemas de control automático. Se menciona que el costo aproximado es de 461 dólares, el cual puede reducirse a 420 dólares dependiendo de los equipos y materiales requeridos para la práctica específica. Las funcionalidades principales de este laboratorio remoto incluyen el control de tanques de bajo costo, la integración del hardware necesario, el acondicionamiento de señales, la identificación y el control, todo ello a través de una interfaz web fácil de usar en donde por medio de código de Python se pueden modificar parámetros de todo el sistema y una cámara que permite visualizar todo en tiempo real [16].

En la actualidad existe una tendencia a utilizar dispositivos de bajo costo para el desarrollo de laboratorios remotos, muchas veces se utilizan computadores de placa única, por ejemplo, Raspberry, también se utilizan microcontroladores como el Arduino, que pueden ser programados dependiendo las tareas que se quieran realizar [17]. Por ejemplo, en [18], proponen una plataforma para la realización de trabajos prácticos para estudiantes de ingeniería eléctrica de la escuela superior de tecnología de Agadir en Marruecos, esta práctica es principalmente para estudiantes de primer año, la práctica es llamada “characteristics of the photovoltaic cells”, esta se centra principalmente en los conocimientos prácticos sobre el uso de aparatos de medición y la representación gráfica de las mediciones. Para conseguir la manipulación de estos equipos lo hacen mediante una interfaz gráfica realizada con el protocolo MQTT, el microcontrolador ESP32, los instrumentos de medición y dispositivos de entrada/salida [18].

En [19], se realiza la implementación de una bomba de agua portátil alimentada por energía solar, para un sistema de riego inteligente. Hacen uso del microcontrolador NodeMCU con una interfaz Wi-Fi y, sensores de humedad y temperatura, para controlar y supervisar la bomba de agua en el sistema de riego, este sistema actualiza la información recopilada de los sensores en la nube de Blynk en tiempo real [19]. En [20], se habla acerca del desarrollo de un fotobiorreactor a escala que incorporaba tecnología de Internet de las Cosas (IoT). La principal idea era monitorear de forma remota todas las actividades en el biorreactor. Los parámetros controlados incluyeron el nivel de líquido, algunos parámetros críticos y el pH durante el funcionamiento de los tanques. Esto se logró mediante el uso de sensores conectados a un microcontrolador NodeMCU. Este dispositivo permitía la lectura de datos y su envío a una base de datos a través de su función de Wi-Fi. Posteriormente, estos datos se transmitían a la aplicación de monitoreo Blynk [20].

En [21], se desarrolló un prototipo para la caracterización de paneles solares. Para lograr esto, se basaron en el principio de carga y descarga, implementando un circuito RC para simular una carga variable para la celda fotovoltaica [21]. Por otro lado, en [22], se implementó un sistema para trazar la curva característica I-V de una celda fotovoltaica de 23V de manera automática en diferentes horas del día. Esto también se realizó mediante el principio de carga y descarga de una carga capacitiva, simulando así una carga variable para la celda fotovoltaica. Los datos del trazador eran tomados mediante el ADC de un Arduino [22].

En la actualidad existen muchos equipos los cuales pueden ser implementados mediante laboratorios remotos, se tiene por ejemplo el kit *“Development Kit Energy Harvesting”*, este se divide en dos dispositivos. Por una parte, contiene la tarjeta de desarrollo *EFM32GG-STK3700*, esta es programable y puede ser usada en muchas aplicaciones que requieran de control, por otro lado, en este también se encuentra tarjeta de energías híbridas *Analog Devices Multi-Source Energy*, en esta se pueden encontrar diferentes tipos de generación de energía, por ejemplo, energía térmica, energía solar y energía piezoeléctrica. Este kit permite enlazar las tarjetas para obtener datos y resultados de la tarjeta *Analog Devices Multi-Source Energy*.

El estándar “WebRTC” es actualmente usado para el desarrollo de aplicaciones web para laboratorios remotos ya que es soportado por la mayoría de los navegadores, y a su vez es un estándar de código abierto auspiciado por Google, Apple, Microsoft y Mozilla que permite implementar una comunicación en tiempo real de manera sencilla [23]. Mediante este proyecto de acceso libre es posible realizar el intercambio de información entre dos terminales a través de internet (Archivos, fotos, videos, etc). Esta estándar es regulado por el W3C el cual es el encargado de estandarizar la tecnología y lenguajes usados en el diseño de aplicaciones web.

El uso de este estándar para realizar avances tecnológicos es notorio, por ejemplo en la investigación realizada en el año 2015 llamada “Estudio de las características de nuevas arquitecturas web basadas en WebRTC alojada en la nube y factible implementación para aplicaciones de voz sobre IP(VoIP)”, en la Pontificia Universidad Católica de Ecuador, se presenta el desarrollo de una aplicación web

mediante servidores WebRTC en la nube que permite el correcto funcionamiento de VoIP, el autor de esta experimentación pudo concluir que la comunicación de voz mediante WebRTC es de alta calidad y que no tienen importancia los diferentes Codecs de audio que se utilicen [23]. Hacer que videos y audios puedan ser visualizados y escuchados en una aplicación web puede llegar a ser tedioso, por eso con los motores de audio y video que ofrecen las implementaciones de WebRTC en los navegadores es más sencillo su desarrollo.

Un desarrollo más actual en el cual se realiza el uso de WebRTC se puede ver en [24], en el cual se expone la idea de realizar un control para la reducción de fugas en redes de distribución de agua, implementando así un sistema RTC con el cual se es posible ajustar la válvula de la cual se obtiene las mediciones de presión, este sistema está basado en un algoritmo de control de tipo integral. Por medio de esta investigación y experimentación se notó que, sí se logra calibrar adecuadamente el algoritmo realizado, un sistema RTC que permite controlar eficazmente la presión y obtener sus resultados para posteriormente analizarlos [24].

Anteriormente se pudo observar que la implementación de WebRTC es muy importante para el desarrollo de los laboratorios remotos, esta puede ser remplazada con otras tecnologías como por ejemplo SignalR, la cual contiene una biblioteca para los desarrolladores de Microsoft ASP.NET [25]. Para este tipo de aplicaciones es primordial el uso del protocolo HTTP, el cual hace referencia a la comunicación entre cliente y servidor que se puede realizar mediante una aplicación web [26]. La librería de SignalR permite simplificar el proceso al realizar una comunicación en tiempo real, un protocolo ideal para esta es el WebSocket ya que permite tener una baja latencia, hace uso eficiente de la memoria del servidor, permite el envío y la recepción de datos [25].

La implementación de los laboratorios remotos haciendo uso de WebRTC y SignalR u otras tecnologías puede solucionar muchos problemas que hoy en día se ven tanto en la educación como en la industria ya que facilita el aprendizaje o trabajos peligrosos, además de dar una mayor eficiencia a estos.

3. Marco Teórico

3.1. Importancia del estudio de energías híbridas

La generación de energía mediante un sistema híbrido permite una solución económica para un suministro de energía de manera continua, satisfaciendo la necesidad energética que se pueda producir en el transcurso del día en algún determinado lugar [27], [28]. Es importante conocer la definición de energía híbrida y sus características, los tipos de energías renovables que existen en la actualidad y la importancia del uso de las energías híbridas. A continuación, se hablará acerca de estos temas.

3.1.1. Definición energía híbrida

Desde hace mucho tiempo y hasta la actualidad, se ha investigado la utilización de energías renovables como una alternativa para aprovechar los recursos naturales en la generación de energía. En la energía híbrida, las energías renovables son muy utilizadas; por ejemplo, se puede emplear para el suministro de energía en lugares aislados para así satisfacer su demanda energética [29]. La energía híbrida se refiere a la combinación de dos o más fuentes de energía, que pueden ser renovables, convencionales, o una mezcla de ambas. Este enfoque permite aprovechar las ventajas de diferentes tipos de energía para optimizar la generación y el suministro eléctrico. Los sistemas de energía híbridos están diseñados para maximizar la producción de energía y asegurar que la demanda de la carga se satisfaga de manera eficiente y continua. A continuación, se detalla más sobre los objetivos y beneficios de estos sistemas. [30].

3.1.2. Tipos de energías renovables

Existen diferentes tipos de energías las renovables [31]:

- Energía Solar: Toda energía que proviene del sol, el aprovechamiento de esta energía se da mediante la utilización de placas fotovoltaicas o placas solares.
- Térmica: flujo de energía generado por la diferencia de temperatura, ya sea frío o calor.
- Piezoeléctrica: Toda energía que proviene de materiales que al ser accionados o pulsados generan energía, por ejemplo, el cuarzo y la turmalina, entre otros.
- Energía eólica: Toda energía que proviene del aire, es una de las fuentes de energía renovables con mayor potencial. Para aprovechar esta fuente de energía se utilizan máquinas eólicas, las cuales transforman la energía cinética del viento posteriormente en energía eléctrica.
- Energía hidráulica: Toda energía que proviene de la fuerza del agua, por ejemplo, molinos de agua. Para aprovechar este tipo de energía se realizan centrales hidroeléctricas de las cuales existen dos tipos, centrales de agua fluyente y centrales con regulación, esto depende de su capacidad para almacenar agua que proviene de un río.
- Energía geotérmica: Toda energía que proviene del calor almacenado en el interior de la tierra. Esta técnica es poco utilizada ya que su extracción puede alterar el ambiente, su utilización se centra en la creación de electricidad, la bomba de calor geotérmica, la obtención de agua caliente y la calefacción, lo cual es obtenido mediante una planta geotérmica.
- Energía de la biomasa: Toda energía que proviene de la materia orgánica originada de procesos biológicos. Se puede aprovechar de diferentes maneras, por ejemplo, mediante procesos termoquímicos, la combustión, la pirólisis, los procesos bioquímicos, la fermentación alcohólica, entre otras.

Estas y muchas otras energías renovables se están aprovechando en la actualidad. Por otro lado, la utilización de estas también trae consigo ciertos inconvenientes, por ejemplo [31]:

- Inconvenientes económicos: Este es uno de los principales inconvenientes, es importante destacar que el desarrollo de tecnologías renovables y la utilización de estas necesitan de una amplia inversión.
- Inconvenientes geográficos o meteorológicos: Para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables es necesario contar con una ubicación geográfica, esto depende del tipo de energía que se vaya a generar, para esto se tienen que realizar estudios exhaustivos ya que, el planeta cuenta con condiciones medioambientales diferentes.

3.1.3. Importancia

Las energías renovables a futuro pueden llegar a ser muy importantes ya que, podrían ayudar a que el ecosistema perdure. La implementación de las energías renovables tiene muchas ventajas, por ejemplo, son limpias y seguras, esto significa que la contaminación va a disminuir, y son prácticamente ilimitadas ya que, dependen de factores medioambientales [31].

La energía híbrida permite implementar diferentes tipos de energía y alternarlas para garantizar la demanda energética en diversas aplicaciones, como industrias, hogares y otros lugares, asegurando una producción eléctrica continua. [30].

3.2. Laboratorios remotos

3.2.1. Definición

Los laboratorios remotos son un tipo de técnicas para lograr la teleoperación de equipos y dispositivos desde cualquier lugar únicamente con una conexión a internet estable, esto es posible mediante herramientas tecnológicas que contienen software y hardware que permiten a cualquier persona realizar sus prácticas de laboratorio desde cualquier lugar y de forma segura [32].

3.2.2. Características técnicas para un sistema de laboratorio remoto

Los laboratorios remotos deben ser robustos desde diferentes puntos de vista ya que se pone en juego el funcionamiento de los equipos y el aprendizaje de cada estudiante. Los sistemas que soportan los laboratorios remotos deben tener ciertas características y aunque no son obligatorias y cada uno decide como hacerlo permiten tener una estandarización de estos sistemas, estas características son [32], [33]:

- Compatibilidad: Hace referencia al funcionamiento en diferentes navegadores.

- Interfaz de usuario: Se refiere a una interfaz de usuario intuitiva, es decir, sencilla de usar, con alta importancia en la visualización de los resultados y el estado actual del sistema.
- Persistencia de resultados: Los resultados obtenidos de los laboratorios deben ser almacenados para posterior consulta.
- Seguridad: El sistema tiene un medio de autenticación y autorización para el acceso a los recursos.
- Agendamiento: El sistema permite agendar el acceso remoto a los recursos físicos que tiene el sistema.
- Guías del ejercicio académico: Aclarando que este punto no se encontró en la documentación, se estima que esta característica es importante y se puede ver implementada a través de guías o tutoriales que acompañen al estudiante en desarrollo de su laboratorio remoto.

La implementación de los laboratorios remotos con estas características trae consigo muchas ventajas, algunas de estas son, por ejemplo:

- Menos daños o averías en los equipos de laboratorio.
- Flexibilidad de horarios para las prácticas de laboratorio.
- Enseñanza constructiva con aprendizaje autónomo.
- Refuerza los procesos de aprendizaje en el área práctica.

3.3. Componentes de una guía de laboratorio para prácticas en fuentes de energía

Existen muchos diseños de guías de laboratorio, y cada una puede variar en algunos componentes. Por ejemplo, en el artículo “Diseño de guías de laboratorio para un curso de sistemas de potencia”, las guías de laboratorio se enfocan únicamente en explicar el procedimiento a realizar en cada laboratorio [34]. Por otro lado, en el artículo “Manejo de herramientas de operación y desarrollo de guías de laboratorio asociadas con los recursos didácticos y de software disponible en el lab3i”, se detallan los componentes que tiene su guía de laboratorio, que incluyen: encabezado de descripción, objetivos, alcance, planteamiento inicial, procedimiento, análisis estadístico, conclusiones y recomendaciones, y retroalimentación [35].

Para este caso, se decidió usar una guía de laboratorio, la cual se presenta en el Anexo 8.1. Esta decisión se tomó debido a que la guía de laboratorio está vinculada con la universidad. Esta guía práctica de laboratorio, realizada en la Universidad Santo Tomás, incluye las siguientes partes:

- Competencias: Se refiere a los conocimientos, habilidades y actitudes que los estudiantes deben desarrollar a lo largo del laboratorio.

- Resultados de aprendizaje: Son conocimientos que se espera que los estudiantes sepan, entiendan y puedan realizar al concluir el laboratorio.
- Introducción y objetivos de la práctica: Se da una contextualización sobre la temática y se proponen los objetivos de esta.
- Equipos, materiales y software: Se mencionan los equipos, software y materiales que deben utilizarse para el desarrollo de la práctica de laboratorio.
- Recursos bibliográficos: Se proporcionan las referencias bibliográficas que el estudiante debe utilizar para realizar la guía de laboratorio.
- Procedimiento: Se explica el paso a paso a seguir para la realización del laboratorio remoto.
- Informe: Se detalla cómo se debe entregar el informe de laboratorio y sus requisitos.

3.4. Desarrollo de aplicaciones web con comunicación en tiempo real

Una aplicación web es un tipo de software codificado mediante un lenguaje de programación que puede ejecutarse en navegadores web, sin necesidad de ser instalado en un dispositivo [36]. Para aplicaciones en tiempo real, es necesario utilizar otras tecnologías de tiempo real, como WebRTC o SignalR, que permiten proporcionar funciones para que una aplicación web opere en tiempo real.

3.4.1. Frontend

El frontend se encarga de realizar una interfaz con la que los usuarios pueden interactuar, se encarga de darle estilos y funciones sencillas que permitan ofrecer una interfaz fácil de utilizar [36], [37], básicamente es todo lo que se ve al ingresar a una página web. Para lograr esto se utilizan diferentes lenguajes de programación y algunas herramientas ya estandarizadas, por ejemplo, HTML5, CSS, JavaScript, Bootstrap, entre otras [36]. Bootstrap es un framework muy útil para el frontend, ya que cuenta con un conjunto de herramientas y funciones para personalizar la vista de una página web [38].

3.4.2. Backend

El backend es la parte lógica de una aplicación, el proceso interno que se realiza en la aplicación web que no es visto por el usuario final, los lenguajes utilizados para el backend pueden ser Java, C#, PHP, NodeJS, entre otros. Esta sección de la aplicación web se ejecuta en el servidor y se conecta base de datos [36], [37].

Independientemente del lenguaje, estas aplicaciones se pueden organizar mediante patrones, como el patrón de arquitectura MVC. Este patrón nació como un estilo de arquitectura para interfaces gráficas de usuario (GUI), pero gracias al crecimiento de las aplicaciones web, MVC se convirtió en uno de los patrones más utilizados en

el desarrollo de aplicaciones web. MVC permite separar claramente los datos de la aplicación y consta de tres partes: el modelo, que se encarga de gestionar y relacionar los datos; la vista, que hace referencia a la interfaz gráfica de la aplicación web; y el controlador, que es el encargado de responder ante eventos o acciones que se realizan a través de la vista [39].

3.4.3. Base de datos

Las bases de datos generalmente son muy importantes para las aplicaciones web donde se requiera el almacenamiento de datos ya que, permiten almacenar registros de manera segura [23], una base de datos es un conjunto de datos almacenados en memoria, los cuales están organizados mediante una estructura de datos [40], esto se consigue haciendo uso un sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) como MySQL, PostgreSQL, SQL Server, MongoDB, entre otros [36].

3.4.4. SignalR

En protocolos como HTTP, la conexión entre cliente y servidor se basa en el modelo de petición-respuesta, el cual siempre es iniciado por el cliente, a esto se le llama modelo pull. Cuando el cliente necesita acceder a un recurso alojado en un servidor, inicia una conexión y solicita la información deseada [41]. Este proceso se puede observar en la Figura 3.1.

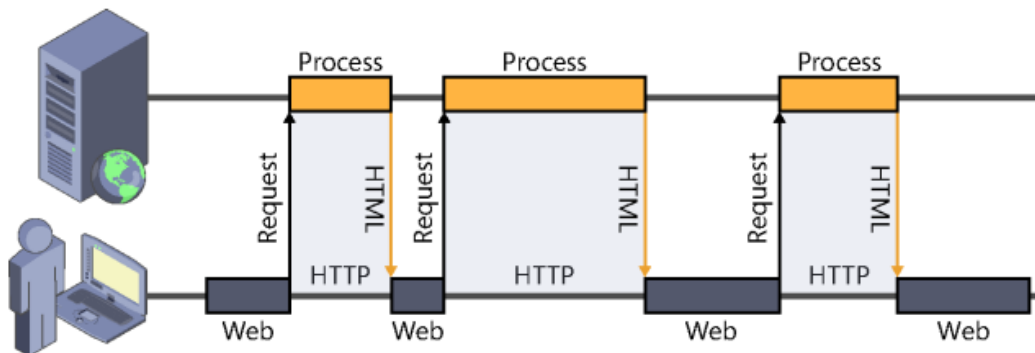


Figura 3.1. Comunicación cliente-servidor HTTP [41]

Aunque el protocolo HTTP es muy utilizado para este tipo de aplicaciones, también existen otras técnicas que permiten el intercambio de información entre el cliente y el servidor sin abandonar la página actual. En cualquier momento, el cliente puede iniciar una conexión con el servidor mediante JavaScript, solicitando un recurso y procesándolo, esta técnica es conocida como AJAX [41]. Este proceso se puede observar en la Figura 3.2.

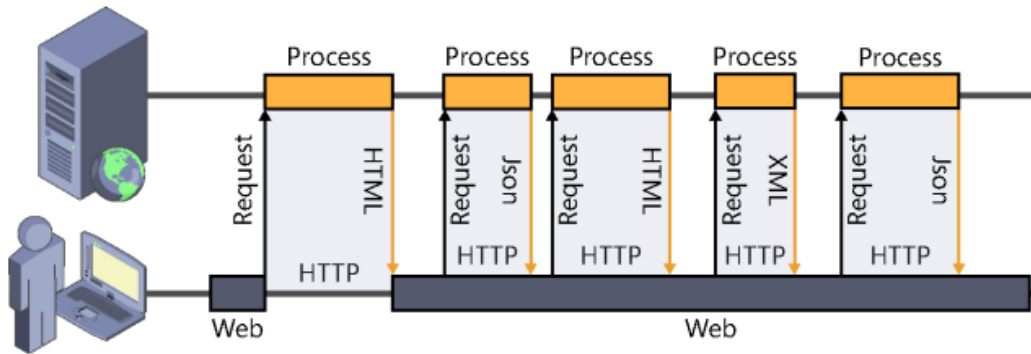


Figura 3.2. AJAX en aplicación web [41]

Por otro lado, con los dos modelos de comunicación anteriores el cliente siempre inicia la comunicación, el servidor envía una respuesta y el de canal de comunicación se cierra, lo cual no permite que el servidor inicie una comunicación con el cliente, lo que dificulta una comunicación en tiempo real. Existen escenarios en los cuales un sistema necesita que el servidor envíe al cliente información de manera asíncrona, es decir, sin necesidad de que el cliente realice una petición, para esto casos se utilizan técnicas como long polling, forever frame, WebSockets, entre otras. Estas técnicas permiten que el servidor mantenga una conexión constante con el cliente, permitiendo que el cliente pueda solicitar información en cualquier momento y que el servidor pueda enviar información sin necesidad de una solicitud previa del cliente. SignalR es una biblioteca de código abierto que se encarga de determinar cuál es la mejor técnica tanto para el cliente como para el servidor y utiliza dicha técnica para mantener una conexión continuamente abierta, como se expresa en la Figura 3.3. SignalR siempre intentará utilizar el transporte más eficiente para la comunicación cliente-servidor [39]. La librería de SignalR facilita la implementación de una comunicación en tiempo real ya que, abstrae el proceso de implementación y selección de varias técnicas [25].

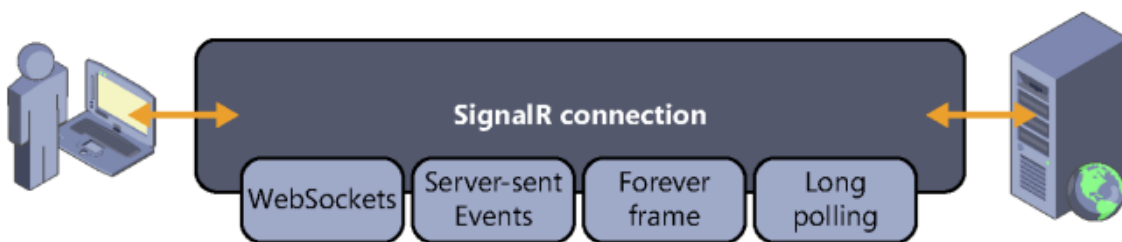


Figura 3.3. Conexión virtual de SignalR [41]

4. Diseño Metodológico

4.1. Fases y Metodología

Para la implementación de este laboratorio remoto es necesario dividir su desarrollo en etapas, estas se pueden observar en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Metodología laboratorios remotos [Autoría propia]

A continuación, se detallarán cada una de las etapas:

4.1.1. Caracterización del Kit "Development Kit Energy Harvesting"

El kit "Development Kit Energy Harvesting" se compone de dos dispositivos, la tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700 y la tarjeta de energías híbridas Analog Devices Multi-Source Energy. La identificación del kit se desarrollará de la siguiente manera:

1. Buscar documentos oficiales y no oficiales acerca de la tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700 y de la tarjeta de energías híbridas Analog Devices Multi-Source Energy.
2. Realizar pruebas que permitan conseguir un amplio conocimiento de las tarjetas, haciendo uso de guías obtenidas de las hojas de datos.
3. Definir los diferentes entornos prácticos en los cuales puede ser usado este kit, teniendo en cuenta las características de cada tarjeta.
4. Teniendo en cuenta las pruebas y los entornos prácticos, se debe analizar cuáles son los parámetros que pueden ser extraídos del "Development Kit Energy Harvesting" para su implementación en los laboratorios remotos.

Estos pasos mencionados anteriormente permitirán la creación de la práctica de laboratorio.

4.1.2. Diseño prácticas de laboratorio

Teniendo en cuenta que la tarjeta “Analog Devices Multi-Source Energy” contiene tres diferentes módulos de generación de energía se decidió por usar únicamente la celda fotovoltaica incluida en ella, se diseñará una práctica de laboratorio, la cual se define a continuación:

1. Práctica de laboratorio para generación de energía solar.

Estos documentos darán la descripción procedimental de cómo realizar la práctica de laboratorio y serán la guía para el desarrollo del software.

4.1.3. Desarrollo aplicación web

Luego de ver las características y posibilidades que ofrece el kit “Development Kit Energy Harvesting” y las necesidades de las prácticas se procede a desarrollar la aplicación web, el diseño de esta se dividirá en etapas, estas se muestran a continuación:

1. Buscar una plantilla de Bootstrap de acceso libre, esta será evaluada, teniendo en cuenta los requerimientos de un laboratorio remoto.
2. Adecuar la plantilla Bootstrap mediante lenguajes de programación para la creación de páginas web (HTML5, CSS, JavaScript, etc.) y desarrollando una interfaz en la cual sea posible visualizar los resultados obtenidos de las prácticas.
3. Implementar las tecnologías Realtime Backend/API (SignalR) para conseguir una experiencia de usuario en tiempo real.

Con la investigación realizada acerca del dispositivo “Development Kit Energy Harvesting” y la página web a punto de terminar se puede dar paso a la implementación del Hardware para la comunicación entre la tarjeta y el servidor.

4.1.4. Implementación de Hardware para la comunicación con la aplicación web

El hardware debe efectuar una comunicación entre la tarjeta y el servidor, el desarrollo de este se dividirá en diferentes etapas:

1. Hacer una revisión del estado del arte acerca de los laboratorios remotos, esto con el fin de obtener conocimientos acerca de los protocolos de comunicación que son utilizados en estas aplicaciones.
2. Diseño del Hardware teniendo en cuenta el protocolo seleccionado.
3. Conectar el Hardware con la aplicación web realizada.
4. Hacer pruebas de desarrollador que permitan comprobar la comunicación entre la tarjeta y el servidor.

Luego que se hayan finalizado las etapas de desarrollo se procederá a realizar pruebas de desarrollador.

4.1.5. Pruebas funcionales por parte del usuario experto

Una vez finalizadas las anteriores etapas es necesario probar el funcionamiento del laboratorio remoto, para esto un docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, quien actuará como usuario experto, desarrollará cada una de las prácticas de laboratorio propuestas en la etapa 2, verificando que el comportamiento del sistema permita llevar a cabo la práctica correctamente.

5. Desarrollo Conceptual

5.1. Características del Kit “Development kit Energy Harvesting”

El “Development Kit Energy Harvesting”, proporciona un fácil acceso a tecnologías de recolección de energía, lo cual hace que esta sea aplicable a muchos proyectos, por ejemplo, proyectos de productos que no usen baterías, este kit permitiría generar su propia energía, administrarla y almacenarla para ser usada posteriormente. Este kit se divide en dos:

5.1.1. Tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700

Es un microcontrolador de bajo consumo programable desarrollado por Silicon Labs, sus principales características según la página oficial de Silicon Labs son [42]:

- Consumo de energía ultrabajo:
 - 0.6 μ A en modo de parada (EM3).
 - 45 μ A en modo reposo (EM1).
 - 180 μ A en modo activo (EM0).
- Microprocesador: ARM Cortex-M3 de 48MHz.
- ROM: 1024 kB de Memoria Flash.
- RAM: 128kB.
- ADC: Conversor de 12 bits, hasta un millón de muestras.
- Interfaz sensor de baja energía.

La programación de este microcontrolador se realiza mediante el software Simplicity Studio y puede proporcionar configuraciones de hasta 1024 KB en memoria Flash. Esta aplicación es realizada por Silicon Labs y brinda acceso a recursos web y SDK del dispositivo, internamente presenta editores de código, compiladores y depuradores estándar de la industria. Simplicity Studio está basado en Eclipse y C/C++ lo cual agrega solidez y mejora del rendimiento [43].

5.1.2. DC2080A (Multi-Source Energy Harvester)

El DC2080 es una tarjeta de recolección de energía, capaz de generar energía de distintas maneras:

- Piezoeléctrica: Cuenta con un conector piezoeléctrico.
- Solar: Cuenta con una celda solar, su referencia es AM-5412
- Lazos 4mA a 20mA: Cuenta con dos pines para una entrada en este rango de corriente.
- Térmica: Cuenta con una celda de peltier, su referencia es CP85438.

Esta función es cumplida mediante circuitos independientes:

- LTC3588-1: Recolección de energía piezoeléctrica
- LTC3108: Convertidor elevador de tensión y manejo de energía
- LTC3105: Convertidor DC/DC elevador con control del punto de potencia
- LTC2935: Convertidor Boost síncrono de micropotencia.
- LTC2935-2 y LTC2935-4: Supervisor de ultra baja potencia.

Esta placa esta especialmente diseñada para ser acoplada a la tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700, teniendo en cuenta que ambas son personalizables según las necesidades del usuario final, pueden ser implementadas en diferentes aplicaciones [44].

5.1.3. Características de la celda fotovoltaica AM-5412

La celda fotovoltaica cuenta con dos pines, uno de salida de tensión y el otro GND, esta salida de tensión es de 0v a 3.3v, debe conectada a una resistencia de 170 ohms para llegar al punto máximo de potencia y la cual permite medir la corriente, este valor de tensión debe ser leído mediante el pin ADC del NodeMCU. Para el funcionamiento de la celda fotovoltaica en el laboratorio remoto fue necesario implementar un sistema capaz de proporcionarle la iluminación necesaria para alimentar la celda fotovoltaica. Esto se logró mediante la variación de la intensidad de un bombillo, utilizando un circuito detector de cruce por cero y un circuito que permite controlar la potencia promedio entregada al bombillo.

5.1.4. Pertinencia del sistema para acceso remoto a prácticas de laboratorio

Según la información proporcionada en el capítulo 5.1.2, se puede afirmar que el kit "Development kit Energy Harvesting" puede ser implementado en prácticas de laboratorio remoto, teniendo en cuenta las características mencionadas en ese título. En el proceso de desarrollo del laboratorio remoto, se ha optado por la implementación exclusiva del DC2080A, dejando de lado la tarjeta de desarrollo EFM32GG-STK3700. Aunque la tarjeta EFM32GG-STK3700 es adecuada para este tipo de prácticas debido a sus características, se tomó la decisión de utilizar la plataforma NodeMCU basada en el chip ESP8266. La razón principal de esta

elección radica en el alto costo del EFM32GG-STK3700, que asciende a aproximadamente 100 dólares, en contraste con el NodeMCU, que tiene un precio de aproximadamente de 8 dólares a la fecha de este documento. Otra de las razones para implementar esta plataforma es por sus funciones de conexión a internet que no posee la tarjeta EFM32GG-STK3700. Para una implementación a gran escala de este laboratorio remoto, se considera que el NodeMCU es una opción más económica y pertinente desde el punto de vista financiero. Ahora, es importante mencionar las características del NodeMCU [45]:

- MCU de 32 bits de bajo consumo.
- ADC de 10 bits.
- WiFi 2.4 GHz, soporta WPA/WPA2.
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IR Remote Control, PWM, GPIO.
- No cuenta con memoria flash.

5.2. Diseño de guías para practica de laboratorio

A continuación, se aplican para el desarrollo de una práctica de laboratorio las partes explicadas en el capítulo 3.3, este formato se aplicó para una práctica de laboratorio llamada “determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales”

5.2.1. Diseño de la práctica de laboratorio “Curva característica I-V de una celda fotovoltaica”

La práctica de laboratorio que utiliza la celda fotovoltaica que ofrece el “Development Kit Energy Harvesting” consiste en hallar la curva característica I-V de la celda fotovoltaica. El nombre de la práctica es “Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales”, esta guía de laboratorio se realizó teniendo en cuenta el diseño descrito en el título 3.3, cuyo formato está en el anexo 8.1, dejándola diligenciada en el anexo 8.2. Se inicia la guía de laboratorio con una introducción al tema, hablando un poco sobre la historia y explicando el funcionamiento del laboratorio. A continuación, se aclaran las diferentes etapas que se escriben en la guía.

5.2.1.1. Introducción y objetivos de la práctica

En la actualidad, las necesidades sociales a nivel global están en constante crecimiento, y este aumento ha coincidido con el desarrollo industrial [46]. Los problemas de alcance mundial derivados de la escasez y los altos costos de los combustibles fósiles, utilizados tradicionalmente como fuentes de energía, son innegables. Como respuesta a estos problemas, han surgido diversas propuestas para el aprovechamiento de fuentes de energía no convencionales. En la actualidad, prevalece la idea de adoptar fuentes de energía renovables como parte de un esfuerzo global por reducir el consumo de combustibles fósiles [47].

Es evidente que en las universidades contemporáneas se están llevando a cabo investigaciones y desarrollos en el campo de las energías renovables. Además, se implementan prácticas de laboratorio relacionadas con esta temática en asignaturas específicas [47].

En esta práctica se encontrará la curva característica I-V de una celda fotovoltaica de 3.3 voltios, mediante la medición de corriente y voltaje ante una carga variable, la cual representa los posibles puntos de operación de corriente y voltaje de la celda fotovoltaica. Al graficar el voltaje frente a la corriente, se puede observar que cuando el voltaje tiende a cero, la corriente alcanza su valor máximo, conocido como corriente de cortocircuito (I_{sc}). De manera similar, cuando la corriente tiende a cero, el voltaje alcanza su punto máximo, conocido como voltaje de circuito abierto (V_{oc}), Como se muestra en la Figura 5.1[22].

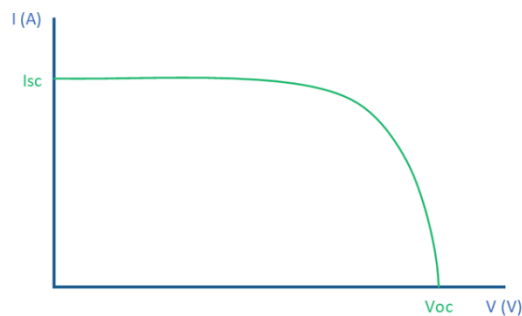


Figura 5.1. Curva característica I-V de una celda fotovoltaica [22].

Para hallar la curva característica de una celda fotovoltaica es necesario variar la carga de la celda fotovoltaica, esta variación se puede realizar por medio de la carga y descarga de un condensador como se propone en [22], para este laboratorio el circuito implementado es el mostrado en la Figura 5.2.

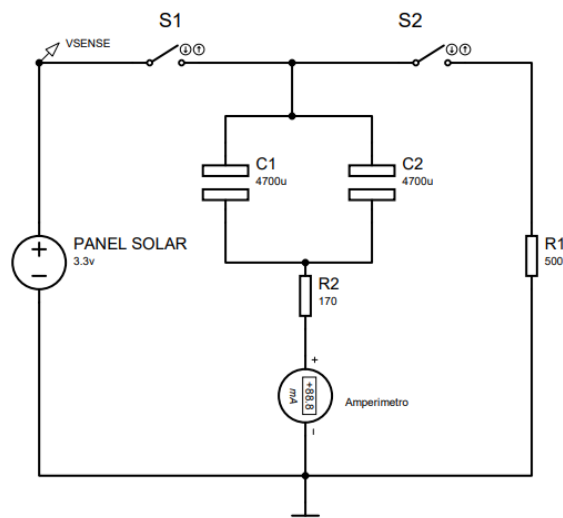


Figura 5.2. Diseño circuito carga variable [Implementación propia del circuito basado en [22]]

En este caso, la celda fotovoltaica actúa como una batería. Cuando S1 se cierra, permite que los condensadores se carguen. Este interruptor se activa mediante un botón en la aplicación web. En cualquier momento, se puede cerrar el interruptor S2 desde la aplicación web, lo que abre S1, permitiendo que los condensadores se descarguen por completo [22]. El fenómeno observado desde el inicio hasta el final de la carga de los condensadores se puede ver en la Figura 5.3, simulando el cambio de la carga.

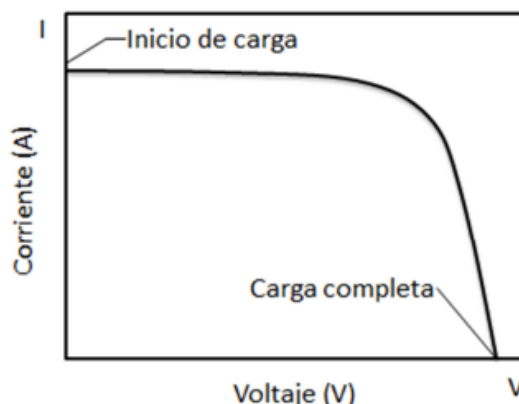


Figura 5.3. Curva durante la carga de los condensadores [22]

De esta forma, se muestra a continuación el procedimiento para realizar la práctica de laboratorio “Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales” de manera remota. Los objetivos de esta práctica son:

Objetivo general: Determinar la curva característica I-V de la celda fotovoltaica.

Objetivos específicos

- Comprobar la relación entre el porcentaje de irradiancia, la corriente y la voltaje de la celda fotovoltaica.
- Determinar el punto máximo de potencia.

Luego de plasmar los objetivos de la práctica, se menciona el software, los materiales y los equipos a utilizar.

5.2.1.2. Equipos – materiales – software

- Software: Pagina laboratorios remotos, Universidad Santo Tomas <http://develectronusta-001-site6.ktempurl.com>
- Materiales: Celda fotovoltaica AM-5412.
- Equipos: Development Kit Energy Harvesting.

5.2.1.3. Procedimiento

Con base en los objetivos mencionados anteriormente se procede a definir los pasos a seguir por el estudiante para realizar una práctica de laboratorio satisfactoria, estos son:

Paso 1: Ingreso a la página web de laboratorios remotos.

Ingresa a la página web de laboratorios remotos de la Universidad Santo Tomás. Diríjase al apartado "Lab. de energías" y lea cada una de las instrucciones, recomendaciones y cuidados en la sección "Cuidados de laboratorio" para la implementación del laboratorio remoto. Luego, vaya al apartado "Guía de laboratorio" y descargue la guía de laboratorio "Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales". Por último, diríjase a la sección "Mesa 1" y seleccione el laboratorio "Curva característica I-V de una celda fotovoltaica" y léala cuidadosamente. En este apartado, encontrará los botones para el manejo del laboratorio remoto, la configuración del laboratorio y un espacio para ver la información tomada en tiempo real.

IMPORTANTE: Si al ingresar al laboratorio remoto ya hay información plasmada, haga clic en el botón "Eliminar todos los datos".

Paso 2: Toma de datos.

1. Elija un valor para el parámetro de porcentaje de irradiancia, este va desde un valor de 0 a 100%.
2. Pulse el botón "Cargar". En este momento, el interruptor S1 se cerrará y los condensadores comenzarán a cargarse. Podrá observar en la aplicación web cómo el voltaje en la celda fotovoltaica cae por completo y se obtiene un pico de corriente.
3. Observe detalladamente el comportamiento luego de pulsar el botón "Cargar".
4. Cuando usted note que el voltaje llegó a su punto máximo pulse el botón "Descargar", esto hará que los condensadores se descarguen por completo.
5. Repita este procedimiento modificando el porcentaje de irradiancia.
6. Pulse el botón "Descargar todos los datos", esto generará un archivo Excel que contiene la información obtenida mediante el laboratorio remoto.
7. Realice una limpieza de la información que no es necesaria para hallar la curva característica I-V de la celda fotovoltaica.
8. Grafique en Excel los datos obtenidos y compárelos con las señales observadas en la página en el experimento anterior.

Paso 3: Cálculos.

1. Halle la curva característica I-V de la celda fotovoltaica con la información vista en el archivo Excel empleando el tipo de gráfico X-Y, teniendo en cuenta la intensidad empleada.
2. Calcule la potencia en cada uno de los puntos obtenidos y observe cuál es el máximo punto de potencia.
3. Si se quiere, se pueden realizar gráficos independientes para cada una de las intensidades con las cuales se realizó el experimento, para que el análisis sea más claro.

4. Grafique la curva característica P-V con los datos obtenidos e identifique el punto de máxima potencia para cada uno de los porcentajes de irradiancia.

Adicionalmente, se define el contenido y el formato del informe que debe ser presentado:

5.2.1.4. Informe

Elaborar un informe detallado de la práctica realizada en formato IEEE, contemplando los siguientes elementos:

- a) Cálculos realizados.
- b) Análisis de resultados.
- c) Conclusiones de la práctica realizada.
- d) Referencias bibliográficas.

Por último, el docente que implemente la práctica de laboratorio decidirá los porcentajes de evaluación del informe.

5.3. Diseño y desarrollo de la aplicación web para el laboratorio remoto

5.3.1. Herramientas empleadas

Para el desarrollo de este proyecto se usaron diferentes herramientas, por ejemplo, el Framework .Net Core de Microsoft, el cual, es una plataforma de software que permite la creación de aplicaciones web para cualquier sistema operativo. Este Framework tiene muchas funciones, tal como, herencia, manejo de excepciones y la depuración de código entre lenguajes de programación [48]. En el desarrollo de la aplicación web de este proyecto se usaron diferentes lenguajes de programación que funcionan en la plataforma .Net Core [36]:

- HTML5: Por sus siglas en inglés HyperText Markup Language, es un estándar que define el significado y la estructura del contenido de una página web. HTML5 se utilizó para organizar y estructurar la plantilla de Bootstrap, teniendo en cuenta los requisitos para realizar la práctica de laboratorio.
- CSS: Por sus siglas en inglés Cascading Style Sheets, este lenguaje de diseño permite desarrollar la presentación de la página web, para ofrecer una interfaz de usuario amena. CSS se utilizó para mejorar la interfaz gráfica de la aplicación web, haciéndola más llamativa.
- JavaScript: Secuencia de comandos que permiten implementar funciones a la aplicación web. Se utilizó JavaScript para hacer la aplicación web más interactiva, complementando con AJAX y ChartJS.
- C#: Lenguaje de programación basado en objetos, permite a desarrolladores crear aplicaciones seguras y solidas que se ejecutan en .Net [49]. Se utilizó

C# para escribir el código en el lado del servidor, incluyendo la lógica del negocio, el acceso a la base de datos y la manipulación de los datos.

Adicionalmente se usaron otras herramientas, modelos, APIs y protocolos de comunicación para el desarrollo de la aplicación web:

- Visual Studio: Plataforma de desarrollo que puede ser usada para escribir, editar, depurar y compilar código para luego implementar la aplicación [50]. En Visual Studio se realizó el desarrollo de la aplicación web haciendo uso de los lenguajes de programación mencionados anteriormente.
- Bootstrap: Biblioteca de código abierto que contiene plantillas de diseño para la realización de páginas web [36]. Se implementó la plantilla de Bootstrap llamada “SB Admin”¹ para adecuarla teniendo en cuenta los requerimientos del laboratorio remoto.
- MVC (Model-View-Controller): Este modelo permite separar una aplicación en tres componentes: el modelo, que hace referencia a la lógica implementada para el dominio de los datos; la vista, que es la interfaz mostrada al usuario; y los controladores, que son los componentes encargados de controlar la interacción entre el servidor y el cliente [51]. Se implementó el modelo MVC para darle mayor orden a la aplicación web separando el código en los tres componentes principales (modelo, vista y controlador), permitiendo una fácil comprensión y mantenimiento del código.
- SQL Server: Sistema de administración de bases de datos relacionales, RDBM por su sigla en inglés, provisto por Microsoft. Se utilizó SQL Server para almacenar los datos de manera estructurada en tablas creadas mediante el entorno SSMS.
- Microsoft SQL Server Management Studio (SSMS): Entorno que permite la administración de una infraestructura SQL, donde es posible desarrollar, configurar y gestionar bases de datos [52]. El entorno SSMS fue utilizado para la creación y el manejo de tablas que fueron utilizadas en la aplicación web.
- HTTP: Protocolo de comunicación utilizado para la transferencia de hipertexto y está diseñado específicamente para transmitir contenido de una página web [53]. Este protocolo de comunicación se utilizó tanto para la página como para recibir solicitudes del NodeMCU con el fin de obtener la información de la celda fotovoltaica.
- AJAX: Técnica que permite que las aplicaciones web envíen y reciban datos en segundo plano, actualizando solo ciertas partes de la aplicación web según sea necesario [54]. AJAX se utilizó para actualizar la información mostrada en los gráficos realizados con ChartJS.
- ChartJS: Es una librería JavaScript para gráficos, que da un conjunto de los gráficos mas usados con posibilidad de personalizarlos. ChartJS se utilizó para graficar cada uno de los valores obtenidos mediante el laboratorio remoto.

¹ <https://startbootstrap.com>

- SignalR: Biblioteca para desarrolladores de ASP.NET que permite una conexión permanentemente abierta entre el cliente y el servidor, simplifica el proceso de agregar funcionalidades en tiempo real a las aplicaciones web [55]. Se implementó SignalR para actualizar en tiempo real las medidas mostradas en la aplicación web y el histórico de datos de la práctica de laboratorio.

5.3.2. Requerimientos para la aplicación web

La aplicación web tiene dos importantes componentes, el frontend y el backend, estos trabajan en conjunto para proporcionar una experiencia completa para los estudiantes que estén utilizando el laboratorio remoto.

5.3.2.1. Frontend

La aplicación web debe contener diferentes vistas con las que el estudiante pueda interactuar, estas son:

- Inicio: Aquí el estudiante podrá observar información general de que son los laboratorios remotos.
- Laboratorios: Se mostrarán los laboratorios disponibles.
- Información: En esta sección se dará información acerca de cómo usar la aplicación web de manera correcta.

La sección de Laboratorios se dividirá en diferentes subsecciones, en primer lugar, se presentarán las mesas disponibles para trabajar en el laboratorio remoto, seguido a esto, se presentará una sección que ofrecerá las guías de laboratorio y por último se proporcionarán los cuidados que se deben tener a la hora de realizar el laboratorio remoto.

5.3.2.2. Backend

Dentro del sistema, al backend de la aplicación web se le encargaron las siguiente funciones adicionales:

- IRS (Information Reception Service): Este sistema se debe encargarse de recibir la información obtenida de la DC2080A con la ayuda del microcontrolador NodeMCU.
- DOES (Delete Old Entries Service): Se debe encargarse de borrar los datos almacenados en la base de datos periódicamente.
- UDRTS (Update Data Real Time Service): La información obtenida del DC2080A debe actualizarse en tiempo real y adicionalmente debe ser mostrada en la interfaz del estudiante.

5.3.3. Arquitectura de componentes

La arquitectura utilizada en el diseño del laboratorio remoto se puede observar en las Figura 5.4 y Figura 5.5. Esta arquitectura permite una experiencia completa y funcional para el usuario. Esta se divide en diferentes componentes:

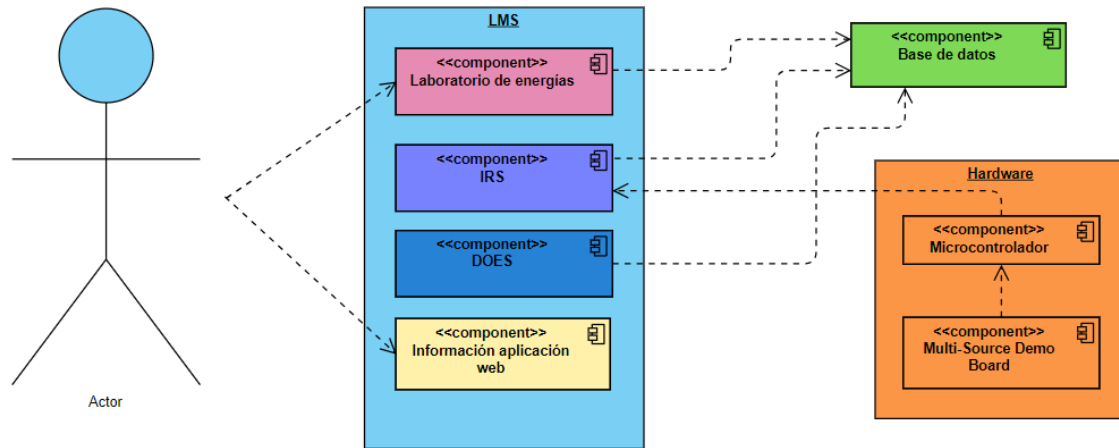


Figura 5.4. Arquitectura laboratorio remoto de energías [Autoría propia]

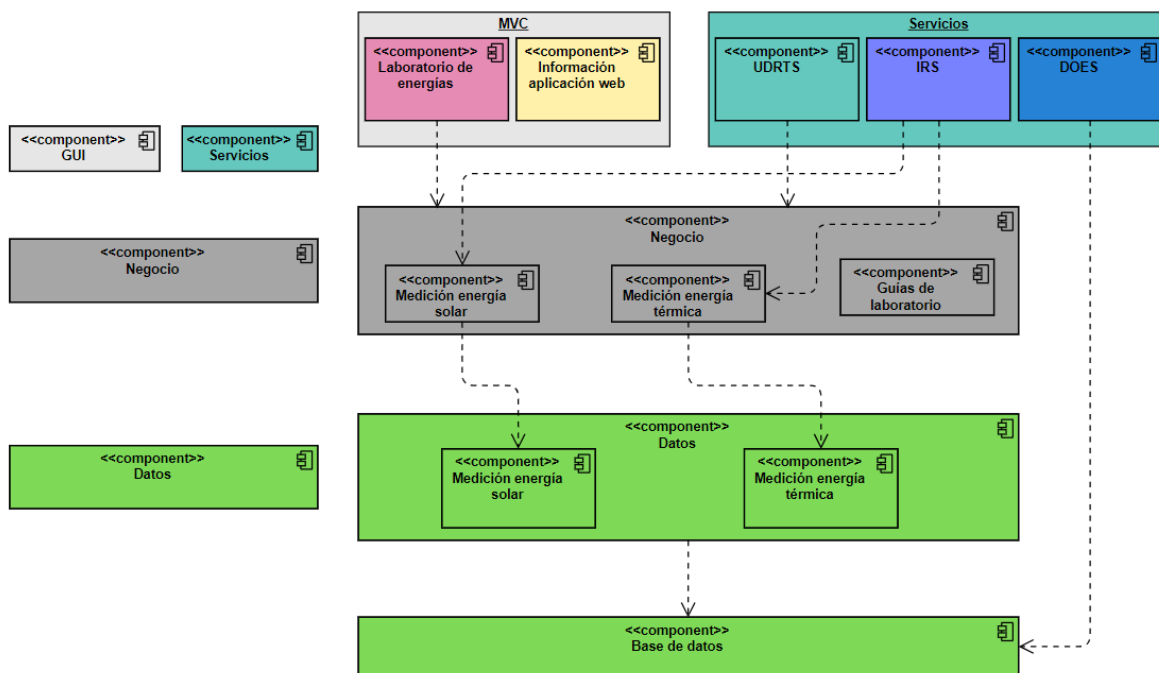


Figura 5.5. Arquitectura de la aplicación del laboratorio remoto de energías [Autoría propia]

A continuación, se explicará cada uno de los componentes de la arquitectura del laboratorio remoto.

5.3.4. Arquitectura de la solución de software

5.3.4.1. Componente LMS

El componente LMS se conforma de los siguientes módulos:

- Laboratorio de energías: Interfaz gráfica del laboratorio remoto.
- IRS: Information Reception Service.
- DOES: Delete Old Entries Service.
- Información aplicación web: Interfaz gráfica de la información de la aplicación web.

5.3.4.2. Componente MVC

En cada uno de los componentes del MVC se encontrarán las vistas, controladores y los modelos relacionados a cada uno de ellos, se dividen en dos:

- Laboratorio de energías: Este componente junto al servicio UDRTS, se encarga de la interfaz gráfica, donde se podrá observar la información en tiempo real.
- Información aplicación web: Este componente contiene toda la información relacionada con la aplicación web.

5.3.4.3. Componente servicios

Los servicios interactúan directamente con el componente de negocio, este se divide en tres:

- IRS: Recibe la información obtenida de la DC2080A mediante el microcontrolador NodeMCU usando su función de WiFi, el IRS accede al componente de Negocio para que este guarde la información recibida en la base de datos.
- DOES: Borra la información almacenada en la base de datos. Este proceso se realiza cada hora y solo elimina los valores que fueron registrados una hora atrás y todos los anteriores a ellos.
- UDRTS: Este servicio es utilizado para mostrar en la interfaz del usuario la información obtenida de la DC2080A en tiempo real.

5.3.4.4. Componente de negocio

El componente de negocio interactúa directamente con el componente de datos para acceder a la información. Se divide en diferentes módulos:

- Medición de energía solar: Accede al componente medición de energía solar de la capa de datos con el fin de obtener la información encontrada allí.
- Guías de laboratorio: Este componente contiene las guías de laboratorio que deben ser realizadas en el laboratorio de energías.

5.3.4.5. Componente de datos

El componente de datos se encarga específicamente de interactuar con la base de datos, este se divide en:

- Medición de energía solar: Apunta directamente a la tabla encargada de almacenar los datos del laboratorio de energía solar.

5.3.4.6. Componente hardware

El Hardware implementado apunta directamente al servicio IRS y se divide en dos módulos:

- Microcontrolador: Permite obtener información del laboratorio real y enviarla al servicio IRS.
- Multi-Source Demo Board: Tarjeta de generación de energía.

5.3.4.7. Componente base de datos

El componente consta del servidor de SQL server, el modelo relacional de esta base de datos se conforma de tres tablas:

MedicionSolar	MedicionTermo	Comandoss
- Id - solarVoltage - solarCurrent - Irradiancia - Fecha - FechaYHora	- Id - TermoVoltage - TermoCurrent - Fecha - FechaYHora	- Id - LuzPanel - BoolCargaDescarga

Figura 5.6. Modelo relacional base de datos [Autoría propia]

Cada una de estas tablas tiene una función diferente dentro del laboratorio remoto:

- Medición Solar: Se encarga de almacenar la información obtenida de la celda fotovoltaica.
- Comandos: Se encarga de almacenar los parámetros configurables del laboratorio remoto.

5.4. Diseño de componentes de hardware

El componente de hardware del laboratorio se divide en dos partes como se mencionó anteriormente, el microcontrolador y la Multi-Source Demo Board, esta segunda es un producto terminado como ya se explicó, pero la parte del microcontrolador debe ser diseñada, este diseño se basó en los requerimientos extraídos teniendo en cuenta la práctica de laboratorio que se quiere realizar remotamente y su componente central es un NodeMCU.

5.4.1. Definición de requerimientos

El hardware implementado para poder realizar el laboratorio remoto descrita debe cumplir las siguientes funcionalidades:

- Controlar la irradiancia suministrada a la celda fotovoltaica.
- Capturar la señal de voltaje y corriente de la celda fotovoltaica.
- Variar la carga de la celda fotovoltaica.
- Transmitir la información hasta el servidor de la aplicación web.
- Tomar la información de configuración desde el servidor.

5.4.2. NodeMCU

El NodeMCU se encarga de diferentes tareas tales como, control de la irradiancia, conversiones analógicas-digitales, variación de la carga de la celda fotovoltaica y por último interacción con la aplicación web, a continuación, se explicará con detalle cada tarea:

Control de un ángulo de disparo

- Control de irradiancia: El control de irradiancia se realiza por medio de bombillo incandescente de corriente alterna, al cual se le implementa un control de ángulo de disparo para regular la cantidad de energía que se entrega. Para ello es necesario implementar en el NodeMCU la detección del cruce por cero de la señal por medio de una interrupción que, al detectarse el cruce por cero, genera un pulso. Esto debe activar una onda cuadrada y variar su ciclo útil dependiendo la intensidad del bombillo que sea requerida desde la aplicación web para el bombillo la cual, se maneja con una medida porcentual de 0 a 100.
- Conversiones analógicas-digitales: Para la realización de la práctica es necesario realizar dos conversiones analógicas-digitales, la primera, el voltaje y la segunda, la corriente de la celda fotovoltaica. Para el segundo caso es necesario implementar un dispositivo que permita la conversión de una señal de corriente a una señal de voltaje, en este caso se utilizó el XY-IT0V, que es un convertidor de corriente a voltaje y recibe entradas desde 0mA a 20mA o de 4mA a 20mA, transformándola en un voltaje entre 0 y 3,3 voltios, para este caso. El NodeMCU cuenta con un conversor análogo-digital, motivo por el cual es necesario implementar un multiplexor analógico para este caso, se usa la referencia CD4051.
- Variación de la carga de la celda fotovoltaica: De acuerdo con [22], esta variación se puede realizar conmutando unos condensadores en la salida de la celda fotovoltaica, para esta conmutación se emplearán dos relevos, los cuales serán activados mediante dos GPIO del NodeMCU.
- Interacción con la aplicación web: Recibir información desde la aplicación web y también enviar datos a esta mediante sus funciones de WiFi,

facilitando la comunicación bidireccional para la gestión remota y el control del sistema.

5.4.3. Diseño del hardware

5.4.3.1. Circuito detector de cruce por cero

En internet suelen encontrarse diferentes circuitos de cruce por cero ya diseñados que, al implementarlos, funcionan perfectamente. El circuito detector de cruce por cero mostrado en la Figura 5.7, fue diseñado teniendo en cuenta ² y se le realizaron algunas modificaciones para mejorar la corriente que entra al optoacoplador

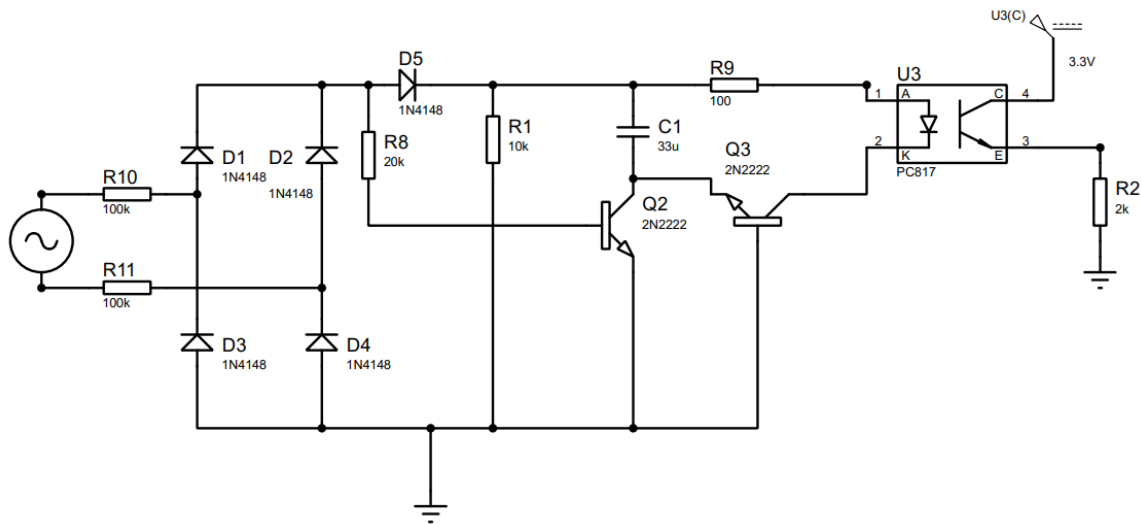


Figura 5.7. Esquema circuito cruce por cero [Autoría propia]

Este circuito genera un pulso en la salida del optoacoplador U3, al detectar el momento en que la señal de corriente alterna cruza el punto de cero voltios. Este pulso es enviado a un pin digital del NodeMCU, lo que activa una interrupción en la cual se genera una señal cuadrada para el circuito de control de ángulo de disparo.

5.4.3.2. Circuito de control del ángulo de disparo para control de la irradiancia

El circuito implementado para controlar la potencia promedio entregada a una carga es el visto en la Figura 5.8, este circuito está basado en ³ pero se realizaron algunas modificaciones para esta aplicación. Este control se realizó mediante la variación de un impulso digital desfasado un tiempo variable respecto del cruce por cero.

² <https://www.tipselectric.es/circuito-de-alimentacion-ac-dc-sin-transformador-con-condensador-derivado/>

³ <https://sensoricx.com/microcontroladores/pwm-con-detector-de-cruce-por-cero-con-el-pic16f1937/>

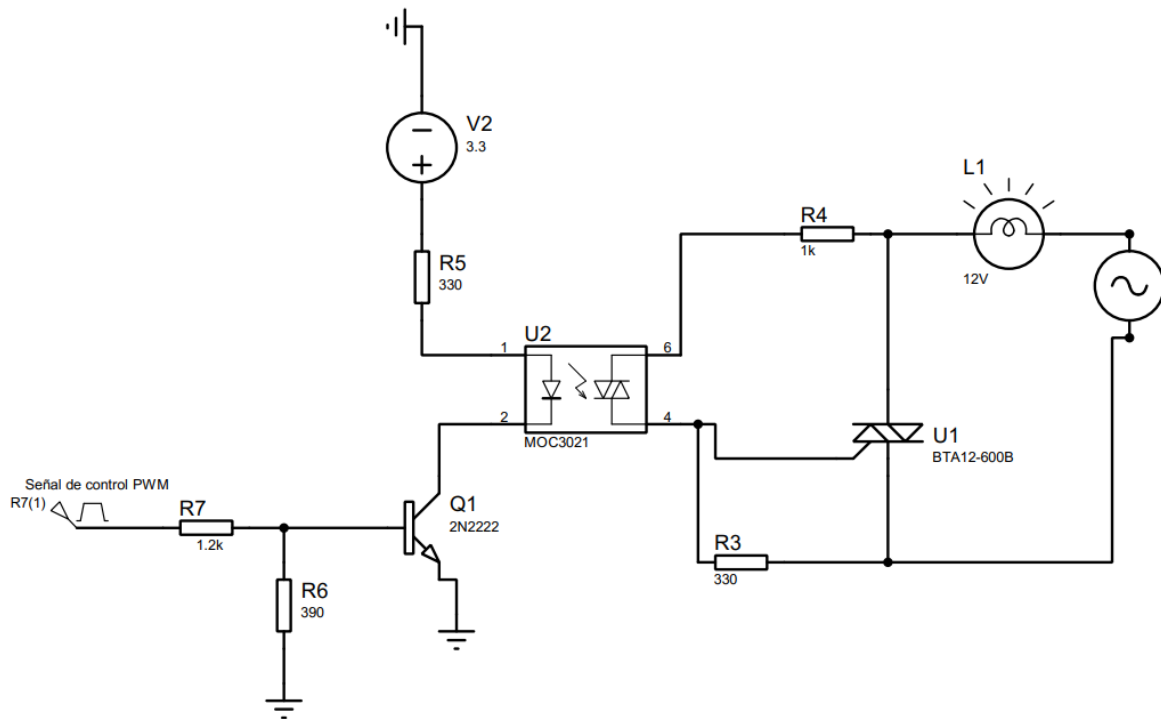


Figura 5.8. Esquema circuito para controlar la potencia promedio entregada a una carga [Autoría propia]

Para la parte digital del circuito se usó la alimentación que ofrece el NodeMCU que es de 3.3V, por lo cual R_5 se halla con la ecuación 1

$$R_5 = \frac{V}{I} \quad (1)$$

A partir de (1) y teniendo en cuenta que según el manual del fabricante del optoacoplador U2 la corriente máxima que puede pasar por el diodo de entrada es de 60mA, se elige una corriente menor de 10mA para el diseño de R_5 , hallando su valor como se muestra en las ecuaciones 2 y 3:

$$R_5 = \frac{3.3V}{10mA} \quad (2)$$

$$R_5 = 330\Omega \quad (3)$$

Luego de esto se hallan los valores de las resistencias implementadas en la entrada de impulso digital, mediante (4) se halla el valor de R_7 .

$$R_7 = \frac{V_{in} - V_D}{I_{in}} \quad (4)$$

A partir de (4) y sabiendo que el voltaje del diodo es de 0.7V y la corriente seleccionada fue de 2mA para no exceder el límite máximo del NodeMCU, se halla R_7 como se muestra en (5) y (6):

$$R_7 = \frac{3.3V - 0.7V}{2mA} \quad (5)$$

$$R_7 = 1.3k\Omega \quad (6)$$

Para hallar R_6 primero es necesario calcular la corriente en la base, esto se realiza mediante (7)

$$I_b = \frac{I}{\beta_D} \quad (7)$$

Teniendo en cuenta que la corriente que pasa por el transistor es de 10mA aproximadamente y que $\beta_D = 150$, se dice que la corriente en la base es de 66.666uA aproximadamente según (8) y (9):

$$I_b = \frac{10mA}{150} \quad (8)$$

$$I_b = 66.666uA \quad (9)$$

Para hallar R_6 se hace mediante (10)

$$R_6 = \frac{V_D}{I_{in} - I_b} \quad (10)$$

A partir de (10), se remplazan los valores obtenidos anteriormente y se halla R_6 como se muestra en (11) y (12):

$$R_6 = \frac{0.7}{2mA - 66.666uA} \quad (11)$$

$$R_6 = 362.06\Omega \quad (12)$$

Este circuito permite activar el optotriac únicamente cuando es necesario, con la ayuda de la interrupción del cruce por cero. Esta interrupción toma el valor del porcentaje de irradiancia desde el servidor de la aplicación web y calcula internamente el ángulo de disparo, lo multiplica por 46μs para así activar el impulso digital cuando es necesario. Una vez transcurrido este tiempo, se activa el optotriac, permitiendo así la conducción de la corriente alterna. Esto, a su vez, permite modular la forma de la onda de la corriente alterna, ajustando la potencia suministrada al bombillo.

5.4.3.3. Circuito carga variable

Para la implementación y funcionamiento del laboratorio remoto, se tomó como referencia el procedimiento realizado en [22], donde se utilizó el principio de carga y descarga de un condensador. Este enfoque permite simular una carga variable para la celda fotovoltaica con el fin de medir voltaje y corriente. El circuito implementado para el laboratorio remoto es el visto en la Figura 5.9.

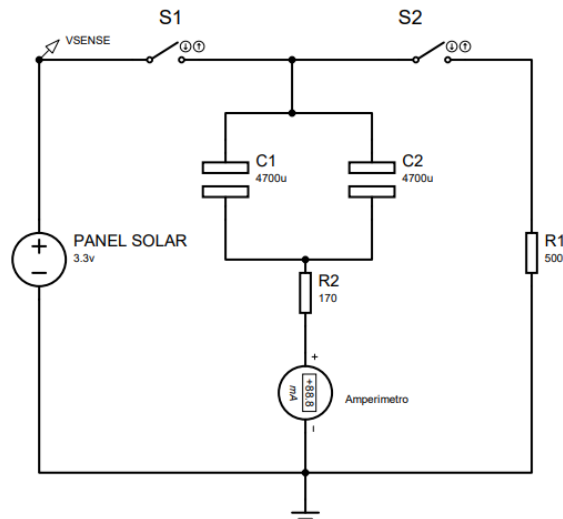


Figura 5.9. Circuito carga variable [Autoría propia]

En este caso, la celda fotovoltaica actúa como una batería. Cuando S1 se cierra, permite que los condensadores se carguen, este interruptor se activa mediante un botón en la aplicación web. En cualquier momento, se puede cerrar el interruptor S2 desde la aplicación web, lo que abre S1, y permite que los condensadores se descarguen por completo [22].

Para la adquisición de los datos, se utilizó el ADC del NodeMCU y se procedió a calcular la resolución nominal con (13).

$$Step = \frac{V_{f(+)} - V_{f(-)}}{2^n} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 13, y considerando que el ADC del NodeMCU es de 10 bits con un voltaje de referencia de 3.3V, la resolución nominal es calculado en (13) y (14):

$$Step = \frac{3.3V}{2^{10}} = 3.2226mV/p \quad (14)$$

Para medir la corriente, se usó una resistencia de 170Ω , lo cual permite alcanzar la máxima corriente que puede ofrecer la celda fotovoltaica. Además, se utilizó un XY-IT0V, que es un convertidor de corriente a voltaje que funciona en el rango de 0mA a 20 mA o de 4mA a 20 mA, con el fin de obtener este dato de voltaje mediante el ADC y luego convertirlo a un valor de corriente.

Así mismo, fue necesario calcular el tiempo de muestreo para obtener la curva característica I-V de la celda fotovoltaica. Esto se realiza para determinar los valores de los capacitores que serán implementados. El valor del capacitor se halla según (15):

$$V_{OC} = \frac{I_{SC}}{C} \cdot T_{muestreo} \quad (15)$$

El NodeMCU requiere de 102us para tomar un dato analógico y de acuerdo con [22] se eligieron 200 muestras para cada curva, donde, 100 muestras son de voltaje y las otras 100 son de corriente, como se mencionó anteriormente la toma de los datos de voltaje y corriente son multiplexados, motivo por el cual estos datos se suman. Por lo tanto el tiempo de muestreo se halla con (16) y el resultado se ve en (17).

$$T_{muestreo} = 102us \cdot 200 \text{ muestras} \quad (16)$$

$$T_{muestreo} = 10.2ms \quad (17)$$

Así mismo, se tomó el tiempo que tarda el microcontrolador en realizar otras tareas antes de realizar la toma de los datos, este tiempo es de aproximadamente 858.191ms, por lo tanto se usa la ecuación 18 para hallar el tiempo total. El resultado obtenido del tiempo de muestreo total es de 868.191ms como se muestra en (20).

$$T_{muestretotal} = T_{muestreo} + T_{tareas} \quad (18)$$

$$T_{muestreototal} = 10.2ms + 858.191ms \quad (19)$$

$$T_{muestreototal} = 868.191ms \quad (20)$$

Teniendo en cuenta que $I_{SC} = 19.4mA$ y $V_{OC} = 3.3V$ según las especificaciones de la celda fotovoltaica, se procede a realizar el cálculo usando (15) para hallar los condensadores, el resultado se muestra en (23):

$$C = \frac{I_{SC}}{V_{OC}} \cdot T_{Muestreototal} \quad (21)$$

$$C = \frac{19.4mA}{3.3V} \cdot 868.191ms \quad (22)$$

$$C = 5103uF \quad (23)$$

El valor comercial más aproximado que se encontró fue 4700uF, se decidió usar dos capacitores de este valor en paralelo para asegurar un mayor tiempo de muestreo de la señal.

5.4.3.4. Circuito para la toma de datos mediante el ADC

La toma de los datos recibidos se realizó mediante el ADC del NodeMCU, el hardware implementado se aprecia en la Figura 5.10.

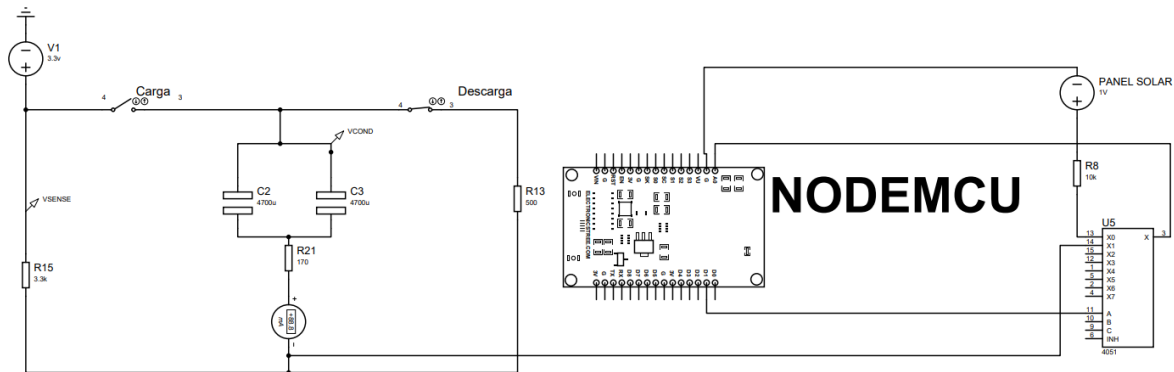


Figura 5.10. Esquema circuito para la toma de datos mediante ADC [Autoría propia]

El software desarrollado para la toma de la información permite activar un multiplexor mediante GPIO, dependiendo de la necesidad para obtener la señal de voltaje o corriente, el cual hace que la señal recibida de la celda fotovoltaica ingrese solo cuando sea necesaria.

5.4.3.5. Circuito completo del laboratorio remoto.

En la Figura 5.11 se observa el circuito completo implementado para el funcionamiento del laboratorio remoto.

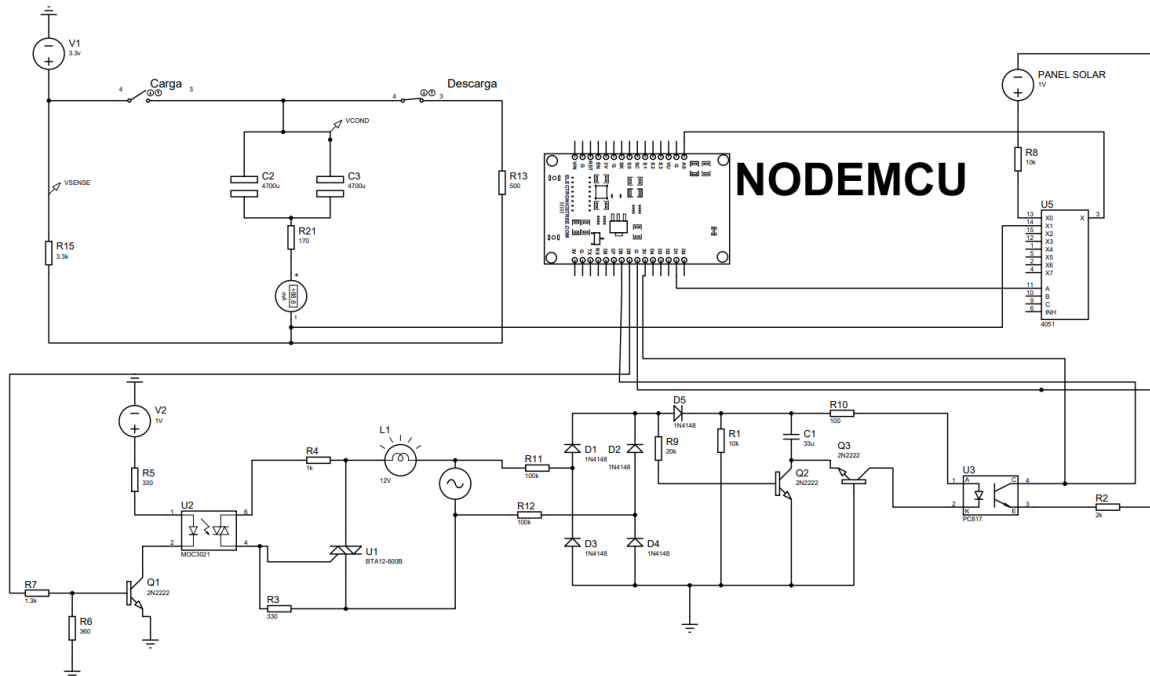


Figura 5.11. Esquema circuito completo del laboratorio remoto [Autoría propia]

5.4.4. Diseño del software para el NodeMCU

El programa implementado en el IDE de Arduino se divide en tres secciones diferentes: la configuración inicial, el bucle principal y la configuración de la interrupción de cruce por cero. En la configuración inicial, se inicializan las variables utilizadas, se configuran los pines y se establece la interrupción de cruce por cero. En el bucle principal, primero se obtiene el porcentaje de irradiancia desde el servidor web, luego se ejecuta la función del laboratorio, donde se toman los valores obtenidos de la celda fotovoltaica para finalmente enviarlos al servidor web. El diagrama de flujo del programa principal puede ser visto en la Figura 5.12.

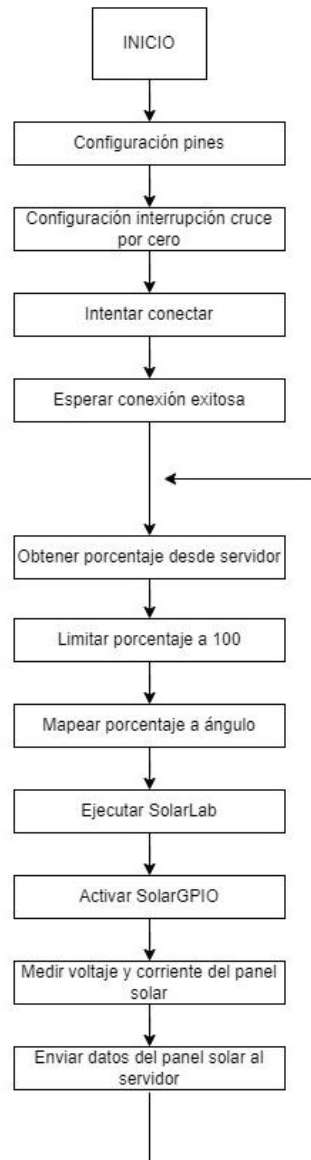


Figura 5.12. Diagrama de flujo programa principal [Autoría propia].

Por otro lado, se puede observar el diagrama de flujo de la interrupción del cruce por cero. En este, se espera el flanco de subida que se obtiene cuando ocurre un cruce por cero. Luego, se calcula un tiempo de espera y, una vez transcurrido, se activa la señal saliente que activa el optotriac. Después de esto, la señal se desactiva. El diagrama de flujo de la interrupción del cruce por cero se puede observar en la Figura 5.13.

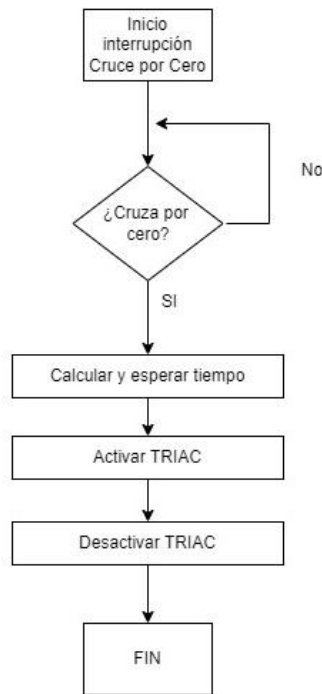


Figura 5.13. Diagrama de flujo interrupción cruce por cero [Autoría propia].

El software implementado en el NodeMCU se puede apreciar en el Anexo 8.3.

5.5. Pruebas funcionales por parte de usuario experto

A partir de la guía de laboratorio, el usuario experto realizó las pruebas del laboratorio remoto, esto se hizo siguiendo el paso a paso plasmado en la guía de laboratorio, dando una retroalimentación general del funcionamiento de la aplicación web y el desarrollo de la práctica de laboratorio, estos resultados se pueden ver en detalle el capítulo 6.

6. Resultados y Discusión

6.1. Aplicación web para el laboratorio remoto

Para el frontend de la aplicación web se decidió usar la plantilla de Bootstrap “SB Admin 2”⁴, esta fue modificada para adaptarse al laboratorio remoto y cuenta con diferentes funciones las cuales pueden ser vistas en un menú a la izquierda de la aplicación web, la pantalla de inicio de la aplicación se puede observar en la Figura 6.1.

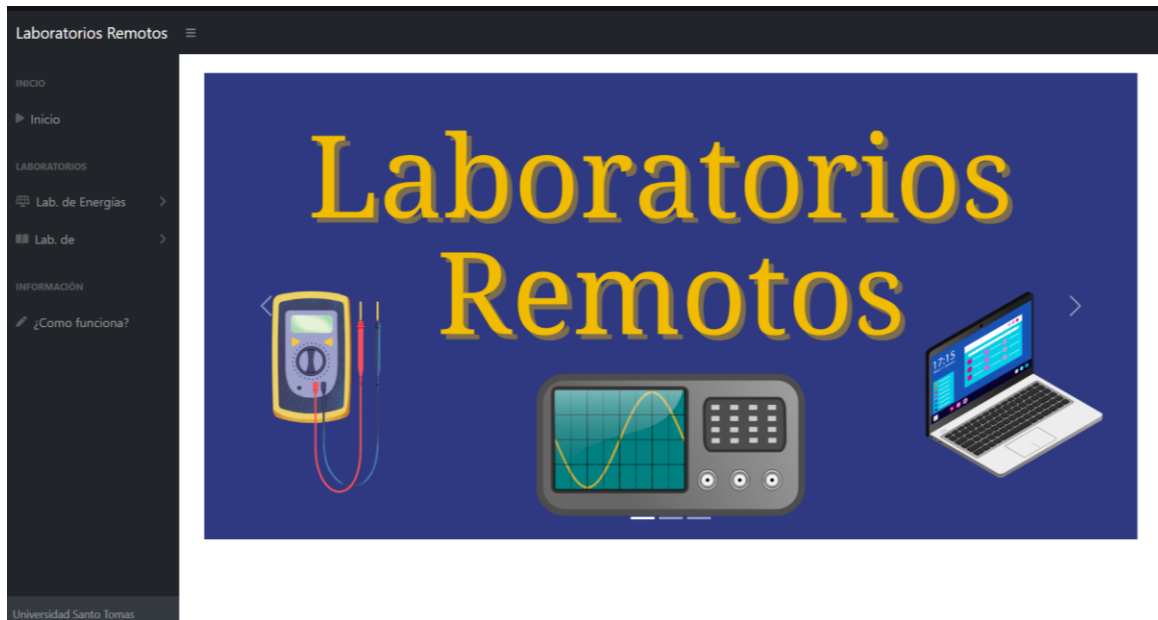


Figura 6.1. Plantilla Bootstrap adecuada para laboratorios remotos [Autoría propia].

Luego, al ingresar a la opción “Lab. De Energías” podrá observar la interfaz del laboratorio remoto, esta se divide en diferentes secciones, a primera vista se puede observar la sección de utilidades, resultados y la configuración de parámetros, esto puede ser visto en la Figura 6.2.

Utilidades	Resultados	Configuración de parámetros				
Eliminar todos los datos Descargar todos los datos	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Voltaje</th> <th>Corriente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.316129088</td> <td>0.001080938</td> </tr> </tbody> </table>	Voltaje	Corriente	1.316129088	0.001080938	Porcentaje de iluminación: 100% Cargar Descargar
Voltaje	Corriente					
1.316129088	0.001080938					

⁴ <https://startbootstrap.com/theme/sb-admin-2>

Figura 6.2. Sección de utilidades, resultados y configuración de parámetros [Autoría propia].

En la sección de utilidades, se muestran dos botones, el primero permite eliminar datos antiguos de la aplicación web y el segundo permite descargar todos los datos en un archivo Excel, siguiente a esto está la sección de resultados, donde es posible ver el voltaje y la corriente medida de la celda fotovoltaica en tiempo real. Estos valores se actualizan a medida que el servidor recibe nuevos datos. En la sección de configuración de parámetros, es posible ingresar un valor entre 0 y 100% para definir la intensidad de irradiancia, también cuenta con dos botones, uno de carga y otro de descarga. La siguiente sección se divide en dos partes: en la primera parte se muestra la gráfica de los valores de voltaje medidos, y en la segunda parte se muestra la gráfica de los valores de corriente calculados.

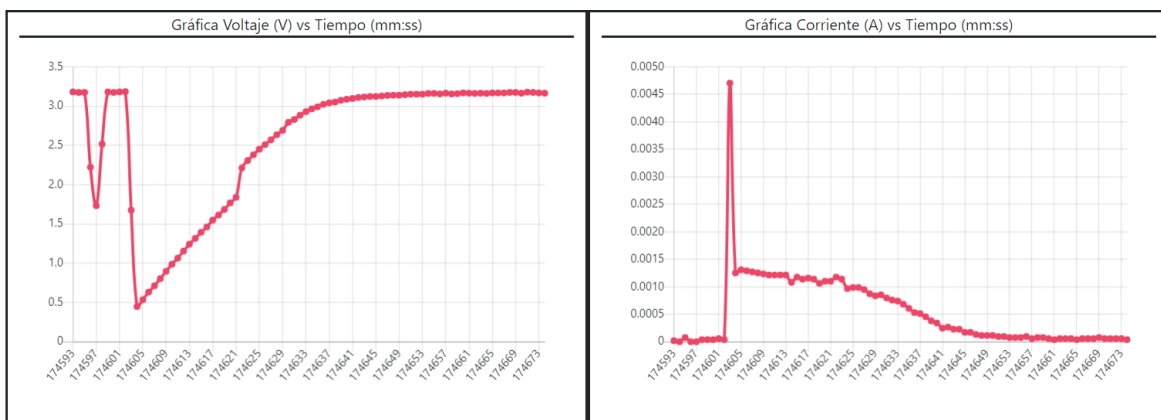


Figura 6.3. Sección graficas de voltaje y corriente de la celda fotovoltaica [Autoría propia].

Cada uno de los valores medidos y enviados por el microcontrolador se graficará en esta sección en tiempo real como se observa en la Figura 6.3. Por último, en la sección del historial de datos, cada uno de los datos recibidos se imprimirá en una tabla, mostrando el valor de voltaje, corriente, el porcentaje de irradiancia, y la fecha y hora UTC en que se midió el valor, esto con el fin de poder visualizar los datos en cualquier momento. En la Figura 6.4 se puede observar la tabla del histórico de datos.

Histórico de datos				
#	Voltaje	Corriente	Porcentaje	Fecha UTC
1	3.180645227	0.000018964	100%	2024-07-21T19:03:46.99
2	3.174193621	0	100%	2024-07-21T19:03:47.64
3	3.174193621	0.000075855	0%	2024-07-21T19:03:51.987
4	2.222580671	0	0%	2024-07-21T19:03:55.543
5	1.732258081	0	100%	2024-07-21T19:03:58.343
6	2.516129017	0.000037928	100%	2024-07-21T19:03:59.03
7	3.180645227	0.000037928	100%	2024-07-21T19:03:59.697
8	3.174193621	0.000037928	100%	2024-07-21T19:04:00.367
9	3.180645227	0.000056891	100%	2024-07-21T19:04:01.027
10	3.183871031	0.000037928	100%	2024-07-21T19:04:01.677
11	1.674193501	0.00470303	100%	2024-07-21T19:04:02.29
12	0.448387086	0.001251613	100%	2024-07-21T19:04:02.923
13	0.535483897	0.001308504	100%	2024-07-21T19:04:03.56
14	0.632258058	0.001289541	100%	2024-07-21T19:04:04.24
15	0.712903202	0.001270577	100%	2024-07-21T19:04:04.92
16	0.803225815	0.001251613	100%	2024-07-21T19:04:05.63
17	0.896774173	0.001232649	100%	2024-07-21T19:04:06.3
18	0.987096786	0.001213685	100%	2024-07-21T19:04:06.963
19	1.064516187	0.001213685	100%	2024-07-21T19:04:07.667
20	1.154838681	0.001213685	100%	2024-07-21T19:04:08.317
21	1.241935492	0.001213685	100%	2024-07-21T19:04:08.923
22	1.316129088	0.001080938	100%	2024-07-21T19:04:09.56

Figura 6.4. Sección histórico de datos [Autoría propia].

6.2. Funcionamiento y verificación de los resultados obtenidos en la aplicación web

La aplicación web permite observar en tiempo real la información obtenida de la celda fotovoltaica. Esta información se muestra en recuadros, se grafica automáticamente y se lista en una tabla para su consulta en cualquier momento. El funcionamiento del sistema se verifica en dos etapas, la primera, es la verificación de la captura de señal de voltaje de la celda fotovoltaica y por otro lado la verificación del ángulo de disparo que se provee al bombillo.

6.2.1. Verificación de la captura de la señal de voltaje de la celda fotovoltaica

Teniendo en cuenta que en las opciones de configuración del laboratorio remoto se puede modificar el porcentaje de la irradiancia en un rango de 0 a 100%, se realizaron variaciones en decrementos del 10%, desde el 100% hasta el 0% para variar la irradiancia sobre la celda y así variar su voltaje. Se llevaron a cabo dos medidas simultáneas: por un lado el voltaje obtenido de la celda fotovoltaica y visto en la aplicación web, este se tomó cuando el voltaje visto era estable ya que, no tiene un cambio brusco sino que este va disminuyendo de a poco y por otro lado el voltaje obtenido a través de un multímetro.

En la Tabla 6.1. Comparación del voltaje obtenido mediante la aplicación web vs el multímetro. se muestra el valor obtenido mediante la aplicación web, la medida obtenida con el multímetro y el porcentaje de error calculado basado en estas dos medidas.

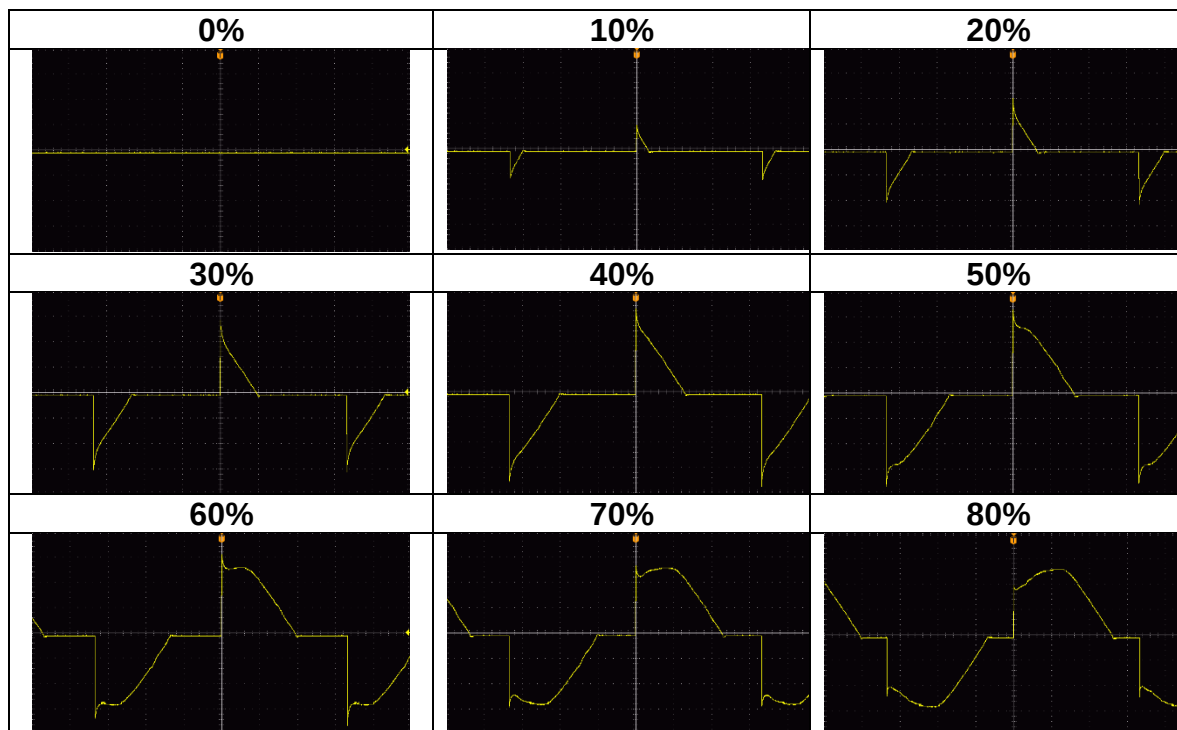
Tabla 6.1. Comparación del voltaje obtenido mediante la aplicación web vs el multímetro.

	% de intensidad	Tensión aplicación web	Tensión multímetro	% de error
1.	100	3.25	3.08	5.09
2.	90	3.23	3.06	5.23
3.	80	3.20	3.04	5.00
4.	70	3.16	3.01	4.88
5.	60	3.11	2.95	5.04
6.	50	3.02	2.85	5.71
7.	40	3.02	2.85	6.23
8.	30	2.46	2.32	5.86
9.	20	0.89	0.8	10.47
10.	10	0.29	0.27	5.96
11.	0	0.24	0.22	9.07

Con la información de la Tabla 6.1 se puede afirmar que el porcentaje de error es menor al 11% en todos los casos, lo que se considera aceptable para el uso.

6.2.2. Verificación del ángulo de disparo que se provee al bombillo

La validación de este sistema, se realizó variando el porcentaje de irradiancia solicitado por el usuario y capturando la señal entregada al bombillo por medio de un osciloscopio. Los resultados se muestran en la Figura 6.5.



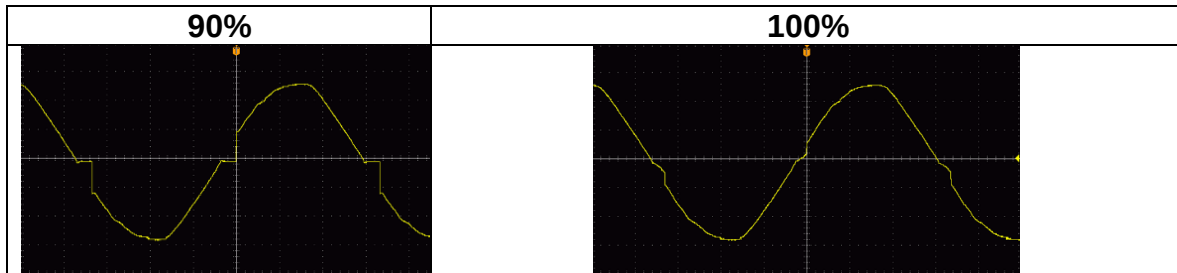


Figura 6.5. Ondas deformadas en incrementos del 10% para la variación de intensidad del bombillo [Autoría propia].

En las formas de onda vistas en la Figura 6.5, se puede observar en cada una de ellas que la señal es recortada en el ángulo correspondiente, lo que hace que la intensidad del bombillo varíe. Esto se logra con la ayuda del circuito explicado en el capítulo 5.4.3.2.

6.2.3. Pruebas por parte del desarrollador

Se realizó el laboratorio remoto paso a paso según la guía diseñada, probando las funciones de la aplicación web y verificando su correcto funcionamiento. En esta prueba, se ajustó el porcentaje de irradiancia al 100%, lo que hizo que la celda fotovoltaica generara 3.3V. Luego, se pulsó el botón de carga y, en ese preciso momento, la tensión de la celda fotovoltaica cayó y se observó un pico de corriente en la carga. Esto se puede ver en la Figura 6.6.

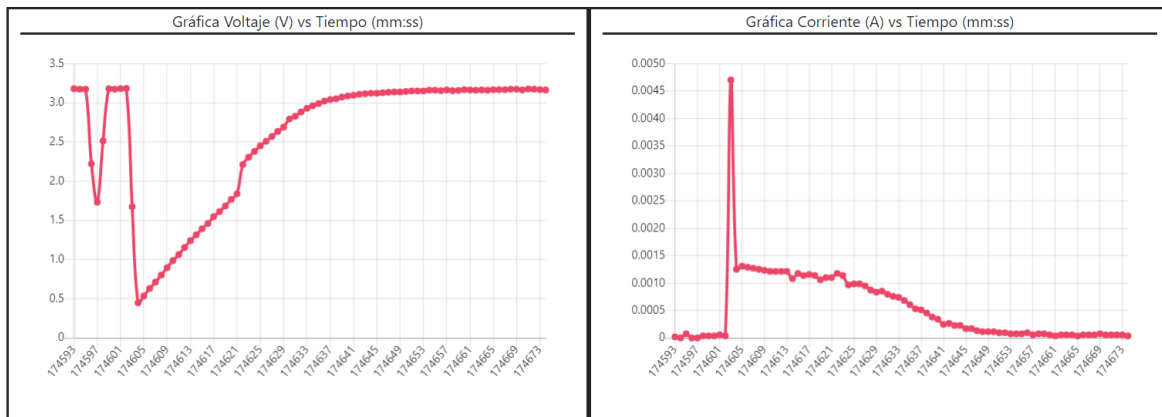


Figura 6.6. Grafica en tiempo real del laboratorio remoto [Autoría propia].

Se puede observar en la Figura 6.6 que, justo cuando el voltaje llega a su punto más bajo y la corriente a su punto máximo, los condensadores comienzan a cargarse. Esto provoca que el voltaje eventualmente vuelva a alcanzar su punto máximo, mientras que la corriente disminuye. Cuando el voltaje está llegando a su punto máximo, la corriente cae a su punto más bajo, lo que las hace inversamente proporcionales: a medida que el voltaje aumenta, la corriente disminuye, y viceversa.

Luego de realizar el procedimiento en la aplicación web, se procedió a descargar el archivo Excel con toda la información obtenida. Después de eliminar los datos que no correspondían al procedimiento realizado y de graficar Corriente vs. Voltaje, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 6.7.

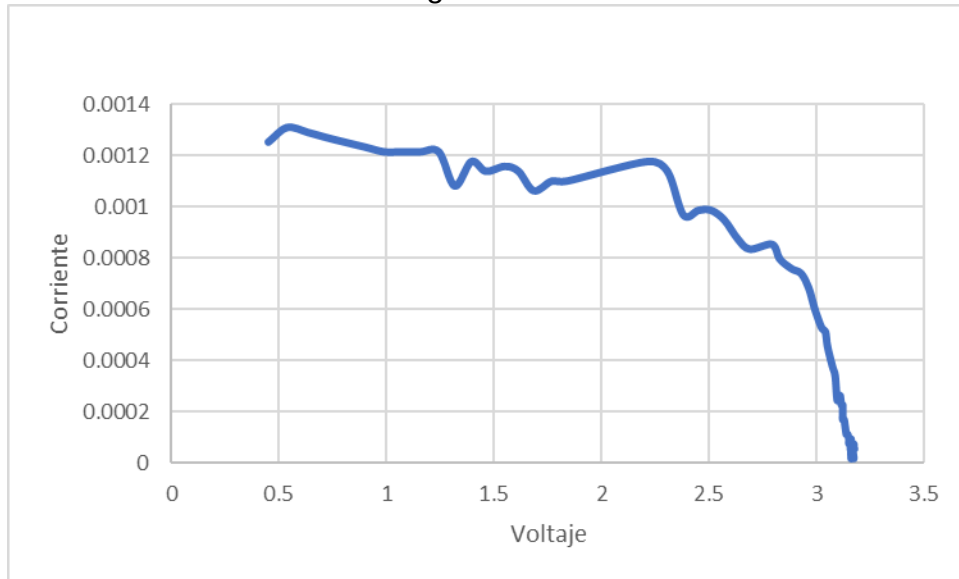


Figura 6.7. Curva característica I-V de la celda fotovoltaica, prueba de desarrollador [Autoría propia].

En la Figura 6.7 se puede observar que se cumple la curva característica de una celda fotovoltaica al realizar este tipo de pruebas, ya que la corriente en cortocircuito de la celda fotovoltaica tiende a su punto máximo y el voltaje en circuito abierto de la celda fotovoltaica tiende a su punto máximo. Los datos tomados para esta prueba se pueden observar en el Anexo 8.4.

6.3. Pruebas funcionales por parte de usuario experto

Se eligió a un docente conocedor del área, de la Universidad Santo Tomás para realizar las pruebas de usuario experto. Esta prueba consiste en llevar a cabo el laboratorio remoto siguiendo la guía de laboratorio "Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales". Los datos obtenidos mediante el laboratorio remoto se pueden observar en el Anexo 8.5. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos por el usuario experto.

6.3.1. Graficas de voltaje y corriente obtenidas mediante los datos experimentales

Mediante la información vista en el Anexo 8.5 el usuario experto realizó la gráfica de voltaje, esta se puede observar en la Figura 6.8.

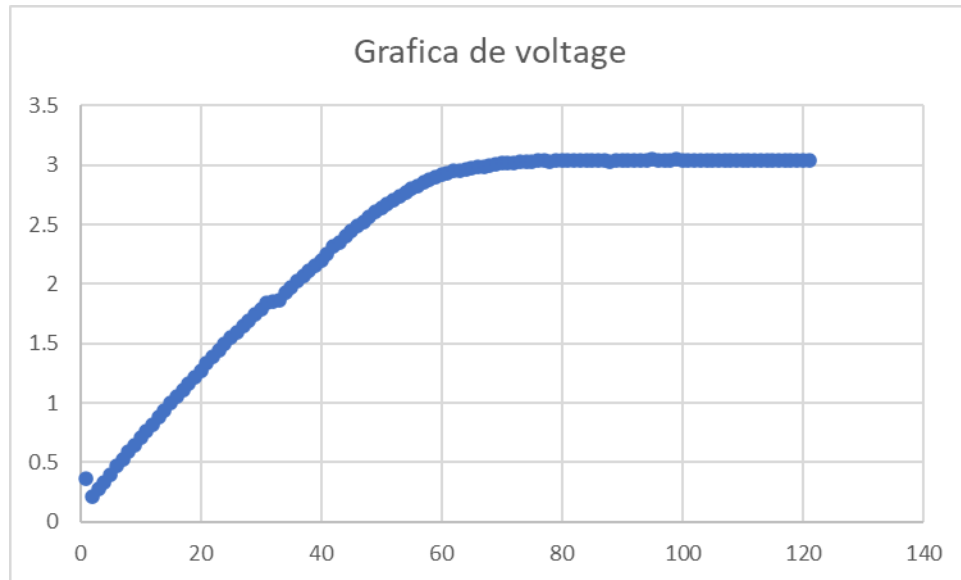


Figura 6.8. Grafica de voltaje construida por el usuario experto [Usuario experto].

Mediante la Figura 6.8 se puede observar que en el inicio de la carga la tensión baja a cero y esta incrementa a medida que los condensadores se cargan, adicionalmente realizó la gráfica de corriente, esta se observa en la Figura 6.9.

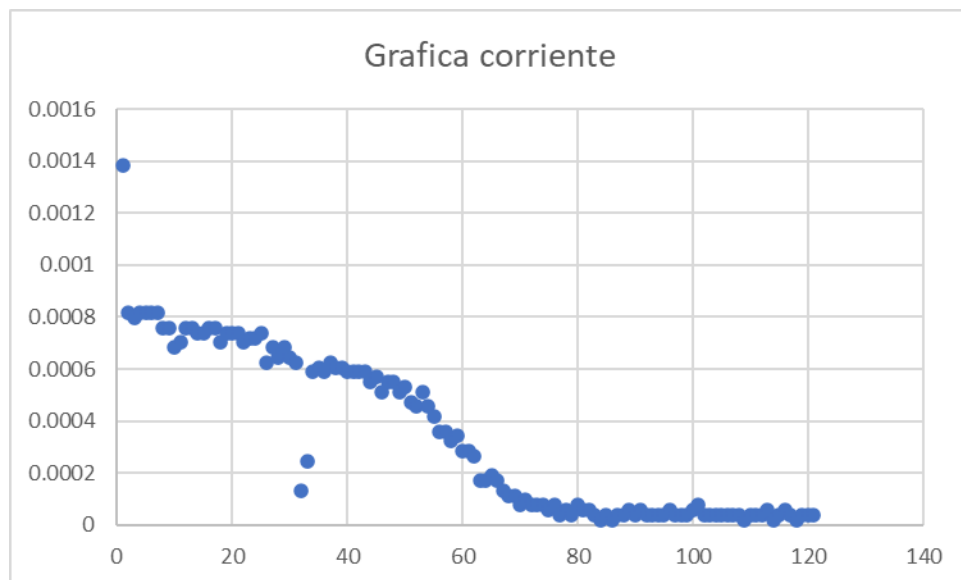


Figura 6.9. Grafica de corriente construida por el usuario experto [Usuario experto].

Observando las Figura 6.8 y Figura 6.9, se puede ver que, al inicio de la carga, la celda fotovoltaica entra en corto circuito, haciendo que la corriente llegue a su punto máximo.

6.3.2. Curva característica I-V de la celda fotovoltaica

El usuario experto realizó la curva característica I-V de la celda fotovoltaica, el resultado obtenido se puede ver en la gráfica de la Figura 6.10.

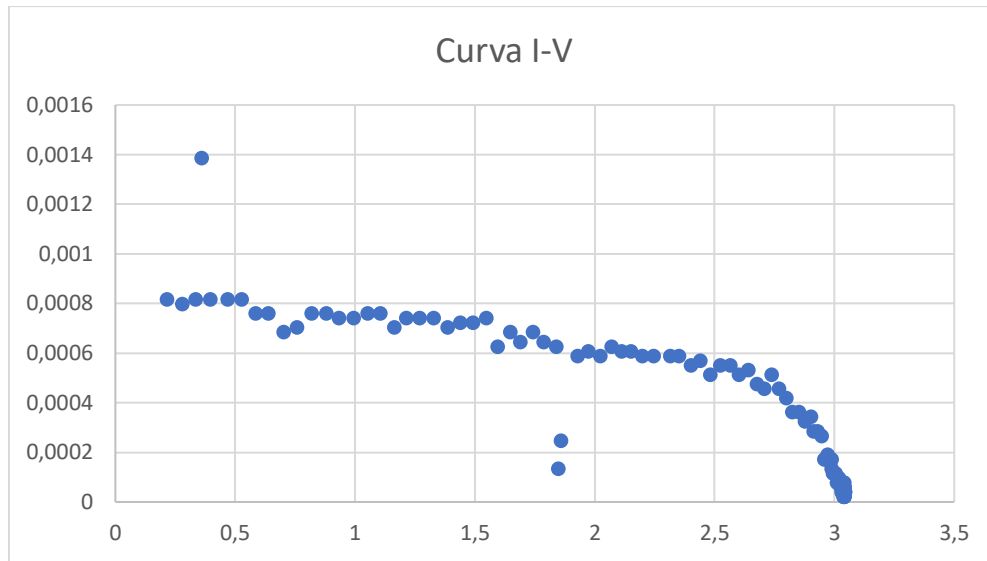


Figura 6.10. Curva característica I-V construida por el usuario experto [Usuario experto].

La gráfica vista en la Figura 6.10 permite observar con mayor detalle el fenómeno al que se quiere llegar al realizar la curva característica I-V de una celda fotovoltaica. Al inicio de la carga, se observa el punto de máxima corriente, que ocurre cuando la celda entra en corto circuito. A medida que el voltaje aumenta y se acerca a su punto máximo, la corriente disminuye, lo que ocurre cuando la celda fotovoltaica queda en circuito abierto.

6.3.3. Curva característica P-V de la celda fotovoltaica

Por último, el usuario experto calculó la potencia en cada punto y halló la curva característica P-V de la celda fotovoltaica, esta se puede observar en la Figura 6.11.

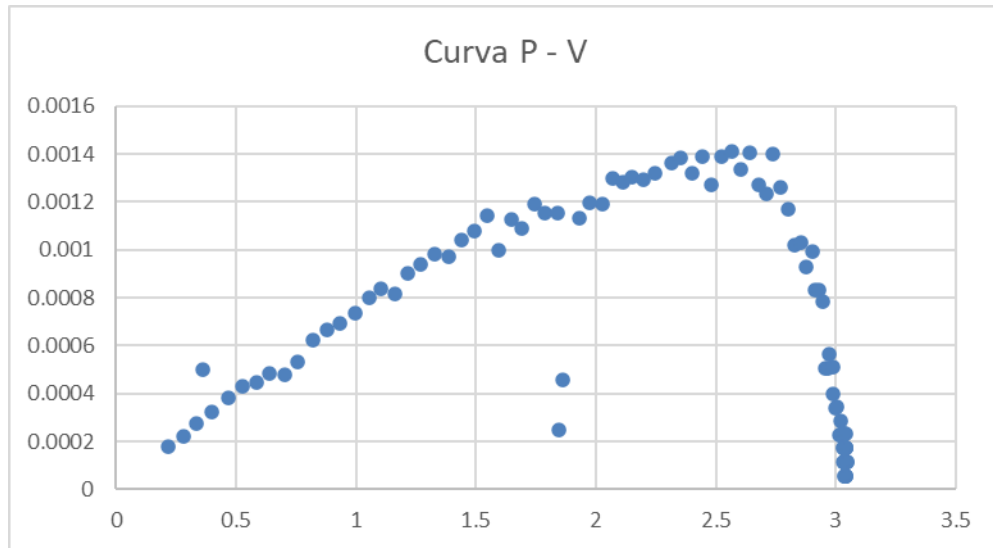


Figura 6.11. Curva característica P-V construida por el usuario experto [Usuario experto].

Por medio de la curva característica P-V se puede observar mucho mejor el punto de máxima potencia de la celda fotovoltaica.

6.3.4. Retroalimentación de usuario experto

Para recibir una retroalimentación por parte del usuario experto acerca del laboratorio remoto y de la interfaz implementada para el manejo del laboratorio remoto se realizó una encuesta con siete preguntas, en la Tabla 6.2 se puede observar las preguntas realizadas y las respuestas obtenidas.

Tabla 6.2. Encuesta retroalimentación usuario experto

Pregunta		Respuesta
1.	¿Considera usted que por medio de la guía de laboratorio diseñada, es posible hallar la curva I-V de la celda fotovoltaica?	Si
2.	¿Qué relevancia le da a la implementación de este laboratorio remoto por parte de los estudiantes de la facultad? Califique del 1 al 5 teniendo en cuenta que 1 es poco relevante y 5 es muy relevante.	4
3.	¿Considera usted que este laboratorio remoto podría remplazar una práctica de laboratorio presencial? ¿Por qué?	Sí, pues permite replicar lo que se hace en un laboratorio real
4.	¿Qué aspectos positivos o negativos considera que tiene la implementación del laboratorio remoto en la Facultad de Ingeniería Electrónica?	Positivo: Permite realizar la práctica en cualquier momento y a cualquier hora. Negativa: Se pierde interacción con los elementos reales de laboratorio
5.	Del 1 al 5 califique la facilidad de usar el sistema implementado para el desarrollo del laboratorio remoto. Tenga en cuenta que 1 es muy difícil y 5 es muy fácil	5
6.	¿Cuáles considera aspectos a mejorar en el sistema del laboratorio remoto?	Mostrar las conexiones que se deberían realizar con materiales y equipos en laboratorio real
7.	¿Cuáles considera aspectos positivos a mantener en el sistema del laboratorio remoto?	La facilidad en el manejo de la plataforma

Mediante la encuesta realizada y los resultados observados en la Tabla 6.2, se puede afirmar que el usuario experto estuvo satisfecho con la realización del laboratorio remoto y la interfaz implementada para el mismo.

7. Conclusiones y Trabajos futuros

7.1. Conclusiones

La aplicación web permite observar la información de tensión y corriente de la celda fotovoltaica del “Development Kit Energy Harvesting” en tiempo real, a través de dos modos, una lista y una gráfica y permitiendo descargar los datos capturados en un Excel, se puede obtener por medio del sistema diseñado la curva característica I-V de la celda fotovoltaica incluida en este kit.

Tal como se evidencia en la prueba realizada por un desarrollador y un usuario experto, siguiendo los pasos establecidos en la práctica de laboratorio diseñada, que sirven como guía para el laboratorio remoto, se puede observar que, al realizar el experimento de manera remota, es posible obtener correctamente la curva característica I-V de la celda fotovoltaica.

El hardware diseñado e implementado es suficiente para la obtención de los datos de corriente y voltaje para hallar la curva característica I-V por medio de la variación de la irradiancia y la carga de la celda fotovoltaica, teniendo en cuenta que se necesita la aplicación web como interfaz de usuario ya que, los datos son transmitidos desde el hardware del sistema hacia la aplicación web, permitiendo el acceso remoto.

Durante las mediciones de voltaje utilizando el ADC del NodeMCU, se compararon los resultados obtenidos con los de un multímetro, encontrándose un porcentaje de error menor al 10%. Este error puede atribuirse a la resolución del ADC y a las condiciones de medición. Además, se determinó que el sobrepaso del ADC es de 3.2226mV/p, lo que implica que cualquier valor medido por el ADC por debajo de este umbral se leerá incorrectamente. Teniendo en cuenta esto y realizando las pruebas pertinentes del laboratorio remoto, se observó que a partir del 50% de irradiancia hacia abajo, la medición era incorrecta.

7.2. Trabajos futuros

Búsqueda de un microcontrolador con un sobrepaso menor que el del NodeMCU. Es importante realizar esta investigación teniendo en cuenta los demás componentes utilizados en el diseño del hardware.

Implementar el laboratorio remoto a mayor escala, actualmente solo permite el acceso a una persona a la vez. Se podría diseñar la PCB del hardware utilizado para facilitar su montaje. Además, se podrían crear nuevas estaciones de trabajo, tomando como base las ya establecidas para el laboratorio remoto.

Implementar las otras fuentes de energía renovable incluidas en el 'Development Kit Energy Harvesting' para diseñar más laboratorios remotos, específicamente el generador termoeléctrico y el generador piezoeléctrico. Dado que ya se tiene una guía en el código del microcontrolador para la toma de datos, el almacenamiento en la base de datos y la interfaz de la aplicación web para facilitar el diseño de nuevos laboratorios remotos.

8. Anexos

8.1. Guía de laboratorio de la facultad de ingeniería electrónica

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	FACULTAD:				
	ESPACIO ACADÉMICO:				
	DOCENTE:				
	PRÁCTICA:				

COMPETENCIAS	CALIFICACIÓN
RESULTADOS DE APRENDIZAJE	

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

EQUIPOS – MATERIALES – SOFTWARE			
EQUIPOS	MATERIALES	SOFTWARE	

RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

PROCEDIMIENTO

INFORME

--

ENTREGA

FACTORES DE EVALUACIÓN DEL PREINFORME

FACTORES DE EVALUACIÓN DEL INFORME

8.2. Guía de laboratorio “Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales”

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	FACULTAD:	INGENIERÍA ELECTRÓNICA			
	ESPACIO ACADÉMICO:				
	DOCENTE:				
	PRÁCTICA:	Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales			

COMPETENCIAS	CALIFICACIÓN
Ampliar conocimientos acerca de la caracterización de celdas fotovoltaicas, haciendo uso de una celda fotovoltaica para hallar su curva característica I-V.	

RESULTADOS DE APRENDIZAJE
Al finalizar esta práctica de laboratorio, los estudiantes serán capaces de caracterizar una celda fotovoltaica, utilizando herramientas y métodos adecuados para medir y analizar su curva característica I-V

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA
En la actualidad, las necesidades sociales a nivel global están en constante crecimiento, y este aumento ha coincidido con el desarrollo industrial [46]. Los problemas de alcance mundial derivados de la escasez y los altos costos de los combustibles fósiles, utilizados tradicionalmente como fuentes de energía, son innegables. Como respuesta a estos problemas, han surgido diversas propuestas para el aprovechamiento de fuentes de energía no convencionales. En la actualidad, prevalece la idea de adoptar fuentes de energía renovables como parte de un esfuerzo global por reducir el consumo de combustibles fósiles [47]. Es evidente que en las universidades contemporáneas se están llevando a cabo investigaciones y desarrollos en el campo de las energías renovables. Además, se implementan prácticas de laboratorio relacionadas con esta temática en asignaturas específicas [47].

En esta práctica se encontrará la curva característica I-V de una celda fotovoltaica de 3.3 voltios, mediante la medición de corriente y voltaje ante una carga variable, la cual representa los posibles puntos de operación de corriente y voltaje de la celda fotovoltaica. Al graficar el voltaje frente a la corriente, se puede observar que cuando el voltaje tiende a cero, la corriente alcanza su valor máximo, conocido como corriente de cortocircuito (I_{sc}). De manera similar, cuando la corriente tiende a cero, el voltaje alcanza su punto máximo, conocido como voltaje de circuito abierto (V_{oc}), Como se muestra en la Figura 1 [22].

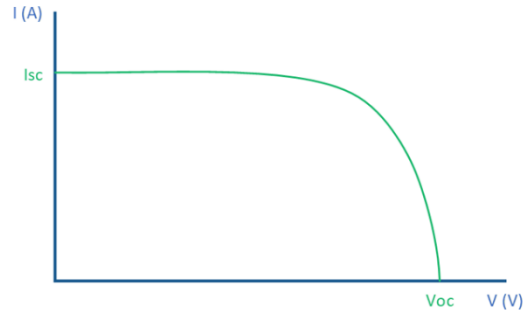


Figura 1. Curva característica I-V de una celda fotovoltaica.

Para hallar la curva característica de una celda fotovoltaica es necesario variar la carga conectada a ella, esta variación se puede realizar por medio de la carga y descarga de un condensador como se propone en [22], para este laboratorio el circuito implementado es el mostrado en la Figura 2.

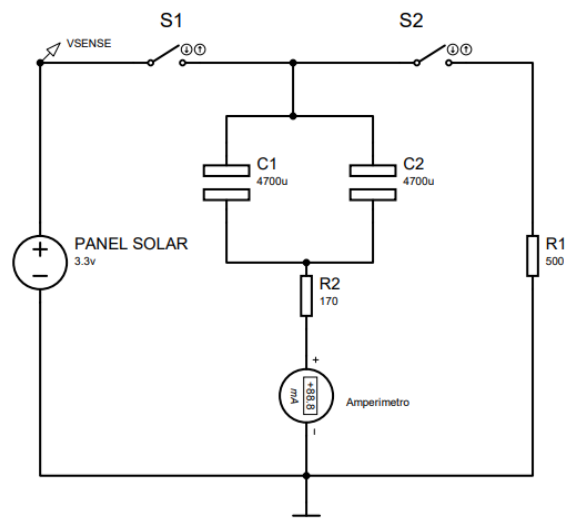


Figura 2. Esquemático circuito carga variable.

En este caso, la celda fotovoltaica actúa como una batería. Cuando S1 se cierra, permite que los condensadores se carguen. Este interruptor se activa mediante un botón en la aplicación web. En cualquier momento, se puede cerrar el interruptor S2 desde la aplicación web, lo que abre S1, permitiendo que los condensadores se descarguen por completo [22]. El fenómeno observado desde el inicio hasta el final de la carga de los condensadores se puede ver en la Figura 3.

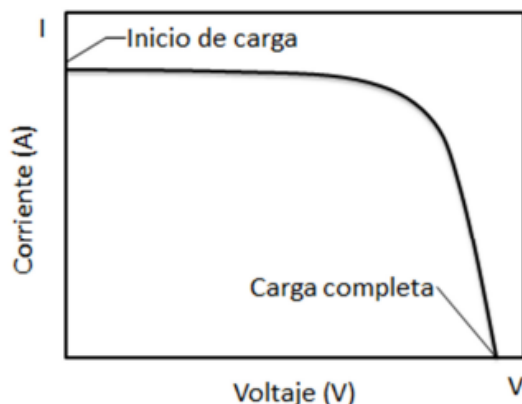


Figura 3. Curva durante la carga de los condensadores [22].

De esta forma, se muestra a continuación el procedimiento para realizar la práctica de laboratorio “Determinación de la curva característica I-V de una celda fotovoltaica con datos experimentales” de manera remota. Los objetivos de esta práctica son:

Objetivo general

Determinar la curva característica I-V de la celda fotovoltaica.

Objetivos específicos

1. Comprobar la relación entre el porcentaje de irradiancia, la corriente y la tensión de la celda fotovoltaica.
2. Determinar el punto máximo de potencia a una irradiancia dada.

EQUIPOS – MATERIALES – SOFTWARE

SOFTWARE	MATERIALES	EQUIPOS
Página laboratorios remotos, Universidad Santo Tomás: http://develectronusta-001-site6.ktempurl.com	Celda fotovoltaica AM-5412	

RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] L. Umbarila, F. Alfonso, and J. Rivera, “Importancia de las energías renovables en la seguridad energética”.
- [2] J. E. N. Jerez, M. Alfaro, I. Alfaro, and R. Guerra, “Determining the efficiency of a mini photovoltaic solar panel: A laboratory experience in renewable energy,” *Educacion Quimica*, vol. 31, no. 2, pp. 22–37, Apr. 2020, doi: 10.22201/fq.18708404e.2020.2.70300.
- [3] T. Vargas Augusta Abrahamse and U. Privada Boliviana, “AN OPEN-SOURCE HARDWARE I-V CURVE TRACER FOR MONITORING PV OUTPUT IN BOLIVIA,” 2014. [Online]. Available: http://www.appropedia.org/I-V_Curve_tracer.

PROCEDIMIENTO

PASO I: INGRESO A LA PAGINA WEB DE LABORATORIOS REMOTOS.

Ingresa a la página web de laboratorios remotos de la Universidad Santo Tomás. Diríjase al apartado “Lab. de energías” y lea cada una de las instrucciones, recomendaciones y cuidados en la sección “Cuidados de laboratorio” para la implementación del laboratorio remoto. Luego, vaya al apartado “Guía de laboratorio” y descargue la guía de laboratorio “Determinación de la curva característica I-V de una

celda fotovoltaica fotovoltaico con datos experimentales". Por último, diríjase a la sección "Mesa 1" y seleccione el laboratorio "Curva característica I-V de una celda fotovoltaica fotovoltaico". En este apartado, encontrará los botones para el manejo del laboratorio remoto, la configuración del laboratorio y un espacio para ver la información tomada en tiempo real.

IMPORTANTE: Si al ingresar al laboratorio remoto ya hay información plasmada, haga clic en el botón "Eliminar todos los datos".

PASO II: TOMA DE DATOS.

1. Elija un valor para el parámetro de porcentaje de irradiancia, este va desde un valor de 0 a 100%.
2. Pulse el botón "Cargar". En este momento, el interruptor S1 se cerrará y los condensadores comenzarán a cargarse. Podrá observar en la aplicación web cómo el voltaje en la celda cae por completo y se obtiene un pico de corriente.
3. Observe detalladamente el comportamiento luego de pulsar el botón "Cargar".
4. Cuando usted note que el voltaje llegó a su punto máximo pulse el botón "Descargar", esto hará que los condensadores se descarguen por completo.
5. Repita este procedimiento modificando el porcentaje de irradiancia.
6. Pulse el botón "Descargar todos los datos", esto generará un archivo Excel que contiene la información obtenida mediante el laboratorio remoto.
7. Realice una limpieza de la información que no es necesaria para hallar la curva característica I-V de la celda fotovoltaica.
8. Grafique en Excel los datos obtenidos y compárelos con las señales observadas en el experimento anterior.

PASO III: CALCULOS.

1. Halle la curva característica I-V una celda fotovoltaica con la información vista en el archivo Excel empleando el tipo de gráfico X-Y, donde X es voltaje y Y es corriente, teniendo en cuenta la intensidad de irradiancia empleada.
2. Calcule la potencia en cada uno de los puntos obtenidos y observe cual es el máximo punto de potencia.
3. Si se quiere, se pueden realizar gráficos independientes para cada una de las intensidades con las cuales se realizó el experimento, para que el análisis sea más claro.
4. Grafique la curva característica P-V con los datos obtenidos e identifique el punto de máxima potencia para cada uno de los porcentajes de irradiancia.

INFORME

1. Elaborar un informe detallado de la práctica realizada, contemplando los siguientes elementos:

- | | |
|----------------------------|---|
| a) Cálculos realizados. | c) Conclusiones de la practica realizada. |
| b) Análisis de resultados. | d) Referencias bibliográficas. |

ENTREGA

1. El informe completo (formato IEEE.pdf para artículos) debe ser adjuntado en la plataforma Moodle en la fecha establecida.

FACTORES DE EVALUACIÓN DEL INFORME

CRITERIO	INDICADOR	PORCENTAJE	EVALUACIÓN
	SUB-TOTAL	30.0 %	

8.3. Software microcontrolador NodeMCU.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

////////// PINES //////////.
const int SolarGPIO = 5;      //D1 Pin GPIO al que está conectado el OCTO del
panel
const int SolarCurrentGPIO = 4; //D2
const int TermoGPIO = 3;      //D8 Pin GPIO al que está conectado el octo del
termico
const int CargaGPIO = 14;     //D5 Pin GPIO para cargar los condensadores
const int DescargaGPIO = 12;  //D6 Pin GPIO para descargar los condensadores
const int AC_IN_ZERO = 13;    //D7 Pin interrupcion cruce por cero
const int TRIAC = 15;         //D8
const int adcPin = A0;        //Pin analógico para la lectura ADC
////////////////////////////////////

////////// VARIABLES //////////
const int bufferSize = 100;    //Tamaño del búfer, ajusta según tus necesidades
float voltageBuffer[bufferSize]; //Búfer para almacenar valores de voltaje
int bufferIndex = 0;           //Índice actual del búfer
int adcValue;                  //Dato adc tomado
int adcCorriente;              //Dato adc corriente
int Angulo = 0;
int ANGULO_MAXIMO = 180;
int AnguloPorcentaje = 0; // Valor irradiancia tomado pagina web
int GuardDelayTime = 50;
bool BoolCargaDescarga = false;
////////////////////////////////////

////////// CONEXION WIFI //////////
const char *ssid = "WiFi_Name";
const char *password = "WiFi_Password";
////////////////////////////////////

////////// DIRECCION PAGINA WEB //////////
const String SERVER_ADDRESS = "http://develectronusta-001-
site6.ktempurl.com";
////////////////////////////////////

void InterrupcionCrucePorCero();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
```

```

analogReference(DEFAULT); // Establece la tensión de referencia a 3.3V (valor
por defecto)

////////// CONFIGURACION DE PINES //////////

pinMode(SolarGPIO, OUTPUT);                      //GPIO del
panel como salida
pinMode(TermoGPIO, OUTPUT);                      //GPIO
del generador termoelectrico como salida
pinMode(CargaGPIO, OUTPUT);                     //GPIO
del generador termoelectrico como salida
pinMode(DescargaGPIO, OUTPUT);                  //GPIO
del generador termoelectrico como salida
digitalWrite(SolarGPIO, LOW);                   // Inicialmente,
el relé estará apagado
digitalWrite(TermoGPIO, LOW);                   // Inicialmente,
el relé estará apagado
digitalWrite(CargaGPIO, HIGH);                  // Inicialmente,
el relé estará apagado
digitalWrite(DescargaGPIO, HIGH);               // Inicialmente,
el relé estará apagado
pinMode(AC_IN_ZERO, INPUT_PULLUP);              //
Pin del cruce por cero como entrada
pinMode(TRIAC, OUTPUT);                         // Pin del
TRIAC como salida.
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(AC_IN_ZERO), InterrupcionCrucePorCero,
RISING); //Interrupcion cruce por cero
//////////

////////// CONEXION WIFI //////////
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(1000);
  Serial.println("Conectando al WiFi...");
}
Serial.println("Conexión exitosa al WiFi");
//////////
}

void loop() {

  float VoltageSolar = GetVoltage();
  float CorrienteSolar = GetCorriente();
  int Porcentaje = GetPorcentaje();

  bool   ReleStatus   =   ReporteVariablesTomaEstadoReles(VoltageSolar,
CorrienteSolar, Porcentaje, 0.0, 0.0);

```

```

    if (ReleStatus == true){
        SetReleStatusCarga();
    }
    else{
        SetReleStatusDescarga();
    }
}

void SetReleStatusCarga(){
    digitalWrite(CargaGPIO, LOW);
    digitalWrite(DescargaGPIO, HIGH);
}
void SetReleStatusDescarga(){
    digitalWrite(DescargaGPIO, LOW);
    digitalWrite(CargaGPIO, HIGH);
}

float GetVoltage() {
    float Voltage;
    digitalWrite(SolarGPIO, LOW);
    digitalWrite(TermoGPIO, LOW);
    delay(GuardDelayTime);
    Voltage = analogRead(adcPin);
    Voltage = (3.3 / 1023.0) * Voltage;
    return Voltage;
}
float GetCorriente() {
    float Corriente;
    digitalWrite(SolarGPIO, HIGH);
    digitalWrite(TermoGPIO, LOW);
    delay(GuardDelayTime);
    Corriente = analogRead(adcPin);

    Corriente = (3.3/ 1023.0) * Corriente;
    Corriente = (0.0194 * Corriente) / 3.3;

    return Corriente;
}

DynamicJsonDocument SendPost(DynamicJsonDocument DataInfo) {
    HTTPClient http;
    WiFiClient client;

    String full_url = SERVER_ADDRESS + "/Sensor/DeviceUpload";

```

```

http.begin(client, full_url);
http.addHeader("Content-Type", "application/json");
// Post para enviar los datos al controlador DeviceUpload de la aplicacion web.
String jsonData;
serializeJson(DataInfo, jsonData);
int httpResponseCode = http.POST(jsonData);
if (httpResponseCode > 0) {
    String response = http.getString();

    DynamicJsonDocument doc(1024);
    DeserializationError error = deserializeJson(doc, response);
    if (error) {
        Serial.print("Error al analizar JSON: ");
        Serial.println(error.c_str());
        return NULL;
    }
    return doc;
}
else {
    Serial.print("Error en la solicitud. Código de respuesta: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
    return NULL;
}
}

bool ReporteVariablesTomaEstadoReles(float SolarVoltage, float SolarCorriente,
int PorcentajeIrradiancia, float TermoVoltage, float TermoCurrent)
{

    DynamicJsonDocument jsonDoc(200); // El tamaño de los datos

    //Guarda los datos en formato json.
    jsonDoc["SolarVoltage"] = SolarVoltage;
    jsonDoc["SolarCurrent"] = SolarCorriente;
    jsonDoc["Irradiancia"] = PorcentajeIrradiancia;
    jsonDoc["TermoVoltage"] = TermoVoltage;
    jsonDoc["TermoCurrent"] = TermoCurrent;

    DynamicJsonDocument doc = SendPost(jsonDoc);
    if (doc == NULL) { return false; }
    // Obtener el valor de BoolCargaDescarga
    if (doc.containsKey("boolCargaDescarga")) {
        BoolCargaDescarga = doc["boolCargaDescarga"];
        return BoolCargaDescarga;
    }
    return false;
}

```

```

int GetPorcentaje(){
    int Porcentaje = obtenerPorcentaje(); //Obtener porcentaje desde servidor web
    if (Porcentaje > 100) {           //Limitar porcentaje
        Porcentaje = 100;
    }
    AnguloPorcentaje = map(Porcentaje, 0, 100, ANGULO_MAXIMO, 0); // Mapea
    el valor ingresado en la aplicacion web entre 0 y 180
    if (AnguloPorcentaje > 175) {
        AnguloPorcentaje = 175; //Se hace para evitar que el tiempo en el que se activa
        el pulso sea mayor al del cruce por cero, evitando que el bombillo se encienda en
        un momento equivocado
    }
    return Porcentaje;
}

int obtenerPorcentaje() {
    WiFiClient client;
    HTTPClient http;

    static int ultimoValor = 100; // Variable estática para almacenar el último valor
    válido

    String full_url = SERVER_ADDRESS + "/LabEnergia/ObtenerUltimoValor";
    http.begin(client, full_url);

    int anguloirradiancia = ultimoValor; // Inicializa con el último valor válido

    int httpCode = http.GET();
    if (httpCode > 0) {
        if (httpCode == HTTP_CODE_OK) {
            String payload = http.getString();
            Serial.println("Valor recibido: " + payload);
            // Procesa el valor recibido según sea necesario
            anguloirradiancia = payload.toInt(); // Convierte el String a un entero
            Serial.println("Valor entero: " + String(anguloirradiancia));
            ultimoValor = anguloirradiancia; // Actualiza el último valor válido
        } else {
            Serial.println("Error al obtener el valor. Código de error HTTP: " +
            String(httpCode));
        }
    } else {
        Serial.println("Error al realizar la solicitud HTTP");
    }

    http.end();
}

```

```

return anguloirradiancia; // Retorna el valor actual o el último valor válido
}
void ICACHE_RAM_ATTR InterrupcionCrucePorCero() {

    // 45uS Es el tiempo de 1 angulo, por lo tanto se multiplica por AnguloIrradiancia
    para obtener el tiempo especifico en el cual se quiere activar el pulso del optotriac.
    delayMicroseconds(46 * AnguloPorcentaje);
    digitalWrite(TRIAC, HIGH);
    delayMicroseconds(46 * 3);
    digitalWrite(TRIAC, LOW);
}

```

8.4. Datos capturador en la prueba de desarrollador

Voltaje	Corriente
0.44193548	0.001232649
0.535483897	0.001289541
1.016129017	0.001175758
1.100000024	0.001194721
1.183870912	0.001175758
1.638709664	0.001156794
1.712903261	0.00113783
2.090322495	0.001043011
2.161290407	0.001005083
2.251612902	0.001005083
2.332257986	0.001005083
2.406451702	0.000967155
2.464516163	0.000948192
2.525806427	0.000929228
2.593548298	0.000929228
2.661290407	0.000929228
2.732258081	0.000910264
2.787096739	0.000872336
3.01935482	0.00064477
3.045161247	0.000606843
3.077419281	0.000568915
3.096774101	0.000474096
3.116128922	0.000455132
3.138709784	0.00039824
3.148387194	0.000322385
3.151612997	0.000303421

3.167742014	0.000284457
3.177419424	0.000265494
3.183871031	0.00024653
3.200000048	0.000170674
3.203225851	0.000132747
3.212903261	0.000132747
3.206451654	0.000151711
3.206451654	0.000132747
3.212903261	0.000132747
3.206451654	0.000113783
3.219354868	0.000113783
3.212903261	9.48E-05
3.212903261	9.48E-05
3.212903261	7.59E-05
3.216129065	0.000132747
3.212903261	0.000113783
3.206451654	0.000113783

8.5. Datos capturados en la prueba del usuario experto

Voltaje	Corriente	Potencia
0.36129	0.001384	0.0005
0.216129	0.000815	0.000176
0.280645	0.000796	0.000224
0.335484	0.000815	0.000274
0.396774	0.000815	0.000324
0.470968	0.000815	0.000384
0.529032	0.000815	0.000431
0.587097	0.000759	0.000445
0.63871	0.000759	0.000484
0.703226	0.000683	0.00048
0.758065	0.000702	0.000532
0.819355	0.000759	0.000622
0.880645	0.000759	0.000668
0.935484	0.00074	0.000692
0.996774	0.00074	0.000737
1.054839	0.000759	0.0008
1.106452	0.000759	0.000839
1.164516	0.000702	0.000817
1.216129	0.00074	0.000899
1.270968	0.00074	0.00094
1.329032	0.00074	0.000983
1.387097	0.000702	0.000973
1.441936	0.000721	0.001039
1.493548	0.000721	0.001076
1.548387	0.00074	0.001145
1.596774	0.000626	0.000999

1.648387	0.000683	0.001125
1.690323	0.000645	0.00109
1.745161	0.000683	0.001191
1.787097	0.000645	0.001152
1.841936	0.000626	0.001153
1.848387	0.000133	0.000245
1.86129	0.000247	0.000459
1.929032	0.000588	0.001134
1.974194	0.000607	0.001198
2.025806	0.000588	0.001191
2.070968	0.000626	0.001296
2.112903	0.000607	0.001282
2.151613	0.000607	0.001306
2.2	0.000588	0.001293
2.248387	0.000588	0.001322
2.316129	0.000588	0.001362
2.351613	0.000588	0.001382
2.403226	0.00055	0.001322
2.441936	0.000569	0.001389
2.483871	0.000512	0.001272
2.525806	0.00055	0.001389
2.567742	0.00055	0.001412
2.603226	0.000512	0.001333
2.641936	0.000531	0.001403
2.677419	0.000474	0.001269
2.709677	0.000455	0.001233
2.73871	0.000512	0.001402
2.770968	0.000455	0.001261
2.8	0.000417	0.001168
2.825806	0.00036	0.001018
2.854839	0.00036	0.001029
2.877419	0.000322	0.000928
2.903226	0.000341	0.000991
2.916129	0.000284	0.00083
2.932258	0.000284	0.000834
2.948387	0.000265	0.000783
2.958065	0.000171	0.000505
2.967742	0.000171	0.000507
2.974194	0.00019	0.000564
2.990323	0.000171	0.00051
2.990323	0.000133	0.000397
2.996774	0.000114	0.000341
3.006452	0.000114	0.000342
3.012903	7.59E-05	0.000229
3.019355	9.48E-05	0.000286
3.019355	7.59E-05	0.000229

3.025806	7.59E-05	0.00023
3.029032	7.59E-05	0.00023
3.029032	5.69E-05	0.000172
3.03871	7.59E-05	0.000231
3.035484	3.79E-05	0.000115
3.032258	5.69E-05	0.000173
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.035484	7.59E-05	0.00023
3.035484	5.69E-05	0.000173
3.041935	5.69E-05	0.000173
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	1.90E-05	5.77E-05
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.041935	1.90E-05	5.77E-05
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.032258	3.79E-05	0.000115
3.041935	5.69E-05	0.000173
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	5.69E-05	0.000173
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.045161	3.79E-05	0.000115
3.03871	5.69E-05	0.000173
3.035484	3.79E-05	0.000115
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.045161	3.79E-05	0.000115
3.03871	5.69E-05	0.000173
3.041935	7.59E-05	0.000231
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.035484	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.041935	1.90E-05	5.77E-05
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.041935	3.79E-05	0.000115
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	5.69E-05	0.000173
3.03871	1.90E-05	5.76E-05
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.041935	5.69E-05	0.000173
3.03871	3.79E-05	0.000115
3.03871	1.90E-05	5.76E-05

3.03871	3.79E-05	0.000115
3.035484	3.79E-05	0.000115

9. Referencias Bibliográficas

- [1] M. Gomez, "La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería Dra. María Idalia Gómez de la Fuente," 2013.
- [2] C. G. Iñiguez-Monroy, W. E. Aguilar-Salinas, M. De Las Fuentes-Lara, and A. C. Justo-López, "Challenges of remote teaching of basic engineering sciences in a contingency situation," *Formacion Universitaria*, vol. 15, no. 5, pp. 61–74, Oct. 2022, doi: 10.4067/S0718-50062022000500061.
- [3] D. Rosselli, "Covid-19 en Colombia: los primeros 90 días," *Acta Neurológica Colombiana*, vol. 36, no. 2 Supl. 1, pp. 1–6, May 2020, doi: 10.22379/24224022287.
- [4] A. Heimann, A. Ruiz, and N. Ayala, "DIFICULTADES EN LA APLICACIÓN DE CLASES REMOTAS DURANTE LA PANDEMIA DE COVID-19 EN LA FACITEC," *Saeta Digital Tecnología, Diseño e Innovación*, pp. 1–17, Oct. 2020.
- [5] J. Pineda, D. Coaquira, L. Coaquira, D. De la Cruz, and M. Jara, "IMPORTANCIA DEL TRABAJO EN EL LABORATORIO EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE EN INGENIERÍA," *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, vol. 3, no. Vol. 3, Num. 1, pp. 37–48, Oct. 2020, doi: 10.47190/nric.v3i1.125.
- [6] D. C. Herrera, K. Triana, and W. Mesa, "Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior Importance of Remote and Virtual Labs in Higher Education." [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-1923-5187>
- [7] M. I. Gomez de la Fuente, "La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería Dra. María Idalia Gómez de la Fuente."
- [8] J. Sebastián and C. Cano, "SISTEMA REMOTO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO ESTRATEGIA EDUCACIÓN 4.0 EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS ELECTRÓNICOS," Bogota, Sep. 2020.
- [9] S. C. Castillo, J. Sebastián, R. Aguilar, and E. F. Forero, "DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA."
- [10] X. Chen, "Remote-Lab-v6," Houston, Mar. 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/298792638>
- [11] M. K. Hamza, B. Alhalabi, S. Hsu, M. M. Larrondo-Petrie, and D. M. Marcovitz, "Remote Labs: The Next High-Tech Step Beyond Simulation for Distance Education," *Computers in the Schools*, vol. 19, no. 3–4, pp. 171–190, 2003, doi: 10.1300/J025v19n03_14.
- [12] J. Grodotzki, T. R. Ortelt, and A. E. Tekkaya, "Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University," Elsevier B.V., 2018, pp. 1349–1360. doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.126.
- [13] J. L. Guzmán, M. Berenguel, and F. Rodríguez, "LABORATORIO REMOTO PARA EL CONTROL DE UNA MAQUETA DE INVERNADERO."
- [14] J. Carvajal, "La Cuarta Revolución Industrial o Industria4.0y su Impacto en la Educación Superior en Ingeniería en Latinoamérica y el Caribe," Jul. 2017.

- [15] M. K. Kirar, "IoT Based Remote Monitoring, Control, and Protection of Irrigation Water Pumping System," *Journal of Operation and Automation in Power Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 69–75, 2023, doi: 10.22098/joape.2023.9265.1647.
- [16] J. Álvarez Ariza and C. Nomesqui Galvis, "RaspyControl Lab: A fully open-source and real-time remote laboratory for education in automatic control systems using Raspberry Pi and Python," *HardwareX*, vol. 13, p. e00396, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.OHX.2023.E00396.
- [17] C. Lavayssière, B. Larroque, and F. Luthon, "Laborem Box: A scalable and open source platform to design remote lab experiments in electronics," *HardwareX*, vol. 11, p. e00301, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.OHX.2022.E00301.
- [18] N. ABEKIRI, A. RACHDY, M. AJAAMOUM, B. NASSIRI, L. ELMAHNI, and Y. OUBAIL, "Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and NOD-red," *Sci Afr*, vol. 19, p. e01502, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.SCIAF.2022.E01502.
- [19] R. M. Ramli and W. A. Jabbar, "Design and implementation of solar-powered with IoT-Enabled portable irrigation system," *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 2, pp. 212–225, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.IOTCPS.2022.12.002.
- [20] P. E. Tham *et al.*, "Sustainable smart photobioreactor for continuous cultivation of microalgae embedded with Internet of Things," *Bioresour Technol*, vol. 346, p. 126558, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2021.126558.
- [21] J. B. Cano *et al.*, "DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN ELECTRONIC PROTOTYPE FOR SOLAR PANEL CHARACTERIZATION ON EXTERIOR CONDITIONS," 2015.
- [22] T. Vargas Augusta Abrahamse and U. Privada Boliviana, "AN OPEN-SOURCE HARDWARE I-V CURVE TRACER FOR MONITORING PV OUTPUT IN BOLIVIA," 2014. [Online]. Available: http://www.appropedia.org/I-V_Curve_tracer.
- [23] D. Zambrano and G. Chafila, "ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DE NUEVAS ARQUITECTURAS WEB BASADAS EN WEBRTC ALOJADA EN LA NUBE Y FACTIBLE IMPLEMENTACION PARA APLICACIONES DE VOZ SOBRE IP (VoIP).," Quito, 2015.
- [24] A. Campisano, C. Modica, F. Musmeci, C. Bosco, and A. Gullotta, "Laboratory experiments and simulation analysis to evaluate the application potential of pressure remote RTC in water distribution networks," *Water Res*, vol. 183, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.116072.
- [25] J. M. Aguilar, *SignalR Programming in Microsoft ASP.NET*. 2014. [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/about/legal/en/us/IntellectualProperty>
- [26] M. Julio and C. Jerez, "Introducción a SignalR," *Revista Telem@tica*, vol. 12, no. 3, pp. 1–10, 2013, [Online]. Available: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele>
- [27] R. Manzanares, "Dimensionamiento de sistemas híbridos de energías renovables para la generación de energía eléctrica en México," 2011, doi: 10.13140/RG.2.2.30843.21285.

- [28] J. Díaz-Rodríguez, L. Pabón-Fernández, and A. Pardo-García, "Sistema Híbrido de Energía Utilizando Energía Solar y Red Eléctrica," *Lámpsakos*, no. 7, p. 69, Jun. 2012, doi: 10.21501/21454086.846.
- [29] C. Vilchis Munguía, "INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY ESCUELA DE GOBIERNO Y TRANSFORMACIÓN PÚBLICA "LAS ENERGÍAS HÍBRIDAS Y/O RENOVABLES COMO MODELO ALTERNATIVO DE," 2020.
- [30] D. Rekioua, "Green Energy and Technology Hybrid Renewable Energy Systems Optimization and Power Management Control." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8059>
- [31] I. Lopez Merodio, "La energía renovable: Importancia de su implantación y desarrollo," 2019.
- [32] R. Zamora Musa, "Laboratorios Remotos: Actualidad y Tendencias Futuras," *Scientia et Technica Año XVII*, vol. 51, 2012.
- [33] D. A. Segura-Torres and E. F. Forero-García, "Architecture for the management of a remote practical learning platform for engineering education," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/519/1/012020.
- [34] M. A. RADA, D. RESTREPO, and J. M. LOPEZ-LEZAMA, "Diseño de guías de laboratorio para un curso de sistemas de potencia," *Espacios*, vol. 41, no. 44, pp. 184–200, Nov. 2020, doi: 10.48082/espacios-a20v41n44p14.
- [35] D. J. Tigreros, "MANEJO_HERRAMIENTAS_OPERACIÓN_DESARROLLO_GUÍAS_LABORATORIO_ASOCIADAS_RECURSOS_DIDÁCTICOS_SOFTWARE_DISPONIBLE," 2020.
- [36] K. Herrera, "Rediseño de front-end y back-end de una aplicación web de un sistema de administración escolar," 2020.
- [37] S. Graciela, P. Ibarra, R. Quispe, F. F. Mullicundo, D. A. Lamas, and L. Presente, *HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO WEB DESDE EL FRONTEND AL BACKEND*. 2021. [Online]. Available: <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Desar>
- [38] Bootstrap, "Bootstrap."
- [39] P. Yair and C. Sánchez, "Implementación del patrón arquitectónico MVC en aplicaciones web para la arquitectura del software del sistema de capellanía de la UM."
- [40] Mercedes. Marqués, *Bases de datos*. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions, 2009.
- [41] J. M. Aguilar, *SignalR programming in Microsoft ASP.NET*. Microsoft Press, 2014.
- [42] S. Labs, "efm32gg-datasheet".
- [43] S. Labs, "Simplicity Studio Software." Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.silabs.com/developers/simplicity-studio>
- [44] L. Technology Corporation, "DC2080A - Energy Harvesting (EH) Multi-Source Demo Board with Transducers." [Online]. Available: <http://www.linear.com/demo/DC2080A>
- [45] "ESP8266EX Datasheet," 2015. [Online]. Available: <http://bbs.espressif.com/>

- [46] L. Umbarila, F. Alfonso, and J. Rivera, "Importancia de las energías renovables en la seguridad energética".
- [47] J. E. N. Jerez, M. Alfaro, I. Alfaro, and R. Guerra, "Determining the efficiency of a mini photovoltaic solar panel: A laboratory experience in renewable energy," *Educacion Quimica*, vol. 31, no. 2, pp. 22–37, Apr. 2020, doi: 10.22201/fq.18708404e.2020.2.70300.
- [48] L. Llerena, F. Viscaino, and W. Culque, "Desarrollo de software con Net Core," 2022, [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-1760-6992>
- [49] Microsoft, "Paseo por el lenguaje C#," in <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>, Jul. 2023.
- [50] Microsoft, "¿Qué es Visual Studio?" Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022>
- [51] Microsoft, "Información general sobre ASP.NET MVC." Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/aspnet/mvc/overview/older-versions-1/overview/asp-net-mvc-overview>
- [52] Microsoft, "¿Qué es SQL Server Management Studio (SSMS)?" Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/sql/ssms/sql-server-management-studio-ssms?view=sql-server-ver16>
- [53] Microsoft, "Capítulo 1: Introducción a HTTP y HTTPS." Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/rto/netx-duo/netx-duo-web-http/chapter1>
- [54] Amazon AWS, "¿Qué es AJAX?" Accessed: Sep. 21, 2023. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/ajax/>
- [55] J. M. Aguilar, *SignalR programming in Microsoft ASP.NET*. Microsoft Press, 2014.