

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un sistema de teleoperación para paneles solares

INGE-2619

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica.

Presentado por:

Jonathan Samuel Zavala Ávila

Ana Abigail Vargas Boccanedes

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Gracias a mi familia por darme su apoyo todo el tiempo y no permitir que me rindiera, enseñándome el valor de perseverar y a Dios por estar siempre presente en mi vida.

Ana Vargas.

Dedico este proyecto a Dios por su guía, a mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos por acompañarme en este camino, y a mí mismo por el esfuerzo y la perseverancia.

Jonathan Zavala.

Agradecimientos

En este trabajo quiero mencionar a esos pocos profesores de la carrera que más que educadores son maestros, cuya pasión y dedicación en sus materias no solo inspiran, sino que nos llena del deseo de aprender y superarnos. A mis compañeros y amigos gracias por su ayuda, amistad y apoyo emocional.

Ana Vargas.

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar esta meta, a mi familia por sus consejos y apoyo, a mis profesores por su valiosa orientación, y a mis compañeros con quienes compartí este camino durante toda la carrera.

Jonathan Zavala

Declaración Expresa

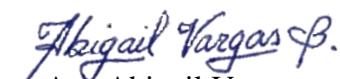
Nosotros Ana Abigail Vargas Boccanedes y Jonathan Samuel Zavala Ávila acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2024


Ana Abigail Vargas

Boccanedes



Jonathan Samuel Zavala

Ávila

Evaluadores

Bryan Puruncajas, Ph.D.

Profesor de Materia

Jorge Hurel, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto aborda el diseño de un sistema de teleoperación para equipos de energía solar, accesible remotamente para estudiantes que no cuentan con equipos en sus centros de estudio. Los objetivos incluyen diseñar un sistema que permita el control remoto preciso de la inclinación de paneles solares, crear una interfaz intuitiva para usuarios remotos, implementar una base de datos para el almacenamiento de datos obtenidos de sensores, y evaluar la precisión del control del sistema. Se plantea que la teleoperación mejora la educación en energías renovables al facilitar el acceso y comprensión de los sistemas solares. El proyecto utiliza un microcontrolador ESP32, sensores de corriente y voltaje, actuadores lineales y Firebase como base de datos en tiempo real. La interfaz web fue desarrollada en Vue 3 siguiendo normas de seguridad. Los resultados muestran un control eficiente de los paneles solares y una interfaz que permite el acceso seguro y remoto al sistema. Se concluye que el sistema es efectivo para la enseñanza remota en energía solar, es financieramente sostenible, y su diseño modular permite futuras expansiones.

Palabras Clave: Firebase, interfaz web, enseñanza remota, sistemas embebidos.

Abstract

This project addresses the design of a teleoperation system for solar energy equipment, remotely accessible to students who do not have equipment at their study centers. The objectives include designing a system that allows precise remote control of the tilt of solar panels, creating an intuitive interface for remote users, implementing a database for storing data obtained from sensors, and evaluating the accuracy of the system control. It is proposed that teleoperation improves renewable energy education by facilitating access and understanding of solar systems. The project uses an ESP32 microcontroller, current and voltage sensors, linear actuators, and Firebase as a real-time database. The web interface was developed in Vue 3 following security standards. The results show efficient control of the solar panels and an interface that allows secure and remote access to the system. It is concluded that the system is effective for remote teaching in solar energy, is financially sustainable, and its modular design allows for future expansion.

Keywords: Firebase, web interface, remote teaching, embedded systems.

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	XI
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	4
1.3 Justificación del Problema.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Marco teórico.....	7
1.5.1 Historia y Evolución.....	7
1.5.2 Elementos de un Sistema de Teleoperación.....	8
1.6 Estado del arte.....	10
Capítulo 2.....	12

2.1 Metodología.....	13
2.2 Selección de alternativas de solución	13
2.3 Etapas de Diseño	17
2.4 Requerimientos de diseño.....	19
2.5 Diseño conceptual.....	20
2.6 Diseño Mecánico y Electrónico.....	22
2.6.1 Diseño Mecánico	22
2.6.2 Diseño Electrónico.....	24
2.7 Diseño Control y Programación	27
2.7.1 Control de actuadores	27
2.7.2 Integración con Firebase	29
2.7.3 Pasos de Configuración del Firebase:	30
2.7.4 Manejo de Datos	30
2.7.5 Desarrollo del Frontend	32
2.7.6 Formulario de Control y Panel de Monitoreo	33
Capítulo 3.....	36
3.1 Resultados y análisis.....	37
3.1.1 Estructura del componente electrónico.....	37
3.1.2 Arquitectura en Firebase	40
3.1.3 Componentes de la aplicación web.....	48

3.1.4 Análisis de costos.....	57
Capítulo 4.....	61
4.1 Conclusiones y recomendaciones	62
4.1.1 Conclusiones.....	62
4.1.2 Recomendaciones	63
Referencias.....	65

Abreviaturas

API	Application Programming Interface
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable
CETE	Centro de Tecnologías Energéticas
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
IEA	Agencia Internacional de Energía
JSON	JavaScript Object Notation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PID	Controlador Proporcional, Integral y Derivativo
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCF	Universidad de Florida Central
UGV	Unmanned Ground Vehicle
VR	Virtual Reality

Simbología

AWS	Amazon Web Service
CO2	Dióxido de Carbono
Gt	Gigatonelada
IoT	Internet of Things.
ONU	Organización de Naciones Unidas

Índice de figuras

Figura 1.1	8
<i>Elementos Sistema Teleoperación.</i>	8
Figura 2.1	20
<i>Diseño conceptual</i>	20
Figura 2.2	23
<i>Estructura de acero para panel solar</i>	23
Figura 2.3	24
<i>Actuador lineal</i>	24
Figura 2.4	26
<i>Base para ESP32</i>	26
Figura 2.5	26
<i>Sensor de Corriente</i>	26
Figura 2.6	29
<i>Diagrama de Flujo Sistema de Control</i>	29
Figura 2.7	32
<i>Ejemplo del archivo. Json</i>	32
Figura 3.1.	39
<i>Conexión de los componentes electrónicos</i>	39
Figura 3.2.	40
<i>Estructura de la base de datos del proyecto</i>	40
Figura 3.3.	42
<i>Proceso para almacenar datos medidos por los sensores</i>	42
Figura 3.4.	43

<i>Proceso para controlar movimiento del panel</i>	43
Figura 3.5.	44
<i>Consola para configuración de las reglas de la base de datos</i>	44
Figura 3.6.	45
<i>Ventana de método de acceso a autenticación de usuario</i>	45
Figura 3.7.	45
<i>Las plantillas de correos para control de usuario que nos permite usar</i>	45
Figura 3.8.	46
<i>Lista de usuarios registrados</i>	46
Figura 3.9.	47
<i>Árbol de estructura de carpetas y archivos del proyecto</i>	47
Figura 3.10.	48
<i>Flujograma de las vistas de la interfaz web</i>	48
Figura 3.11.	49
<i>Vista de la Página de Login</i>	49
Figura 3.12.	50
<i>Vista de Página de Registro de Usuario</i>	50
Figura 3.13.	50
<i>Correo de verificación de cuenta</i>	50
Figura 3.14.	51
<i>Vista principal de la interfaz web</i>	51
Figura 3.15.	52
<i>Vista del panel de control de movimiento y monitoreo de datos</i>	52
Figura 3.16.	53
<i>Acceso a gráficos y tablas desde panel de monitoreo y página de inicio</i>	53

Figura 3.17.....	54
<i>Vista de tablas y gráficos sin datos que presentar</i>	<i>54</i>
Figura 3.18.....	55
<i>Tabla de datos con datos registrados</i>	<i>55</i>
Figura 3.19.....	55
<i>Gráficos generados por los datos de la tabla para cada valor medido</i>	<i>55</i>
Figura 3.20.....	55
<i>Función de impresión de tablas y gráficos para reporte de prácticas de laboratorio</i>	<i>55</i>
Figura 3.21.....	56
<i>Vista del Manual de uso de la interfaz web</i>	<i>56</i>
Figura 3.22.....	57
<i>Vista de especificaciones del equipo a teleoperar</i>	<i>57</i>

Índice de tablas

Tabla 2.1	16
<i>Criterios de Selección para alternativas de solución.</i>	16
Tabla 2.2	16
<i>Matriz de decisión de alternativas de solución.</i>	16
Tabla 2.3	19
<i>Requerimientos del sistema. Presentación de requerimientos específicos del cliente para el diseño.</i>	19
Tabla 3.1	58
<i>Inversión inicial para usar sistema de teleoperación</i>	58
Tabla 3.2	59
<i>Tabla de costos fijos mensual y anual</i>	59
Tabla 3.3	60
Tabla de costos variables	60

Capítulo 1

1.1 Introducción

La creciente demanda de energía y el avance del cambio climático han hecho primordial la transición hacia fuentes de energía sostenibles. Los combustibles fósiles son responsables del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero y del 90% de las emisiones de dióxido de carbono, siendo los principales causantes del calentamiento global [1]. Como alternativa, se ha propuesto el uso de fuentes de energía limpias como la eólica, solar, hidráulica y geotérmica, destacando especialmente la energía solar debido a su abundancia: la Tierra recibe aproximadamente 1.8×10^{14} kW de energía solar. Además, la energía solar es accesible en la mayoría de los países y presenta una implementación relativamente económica [2].

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía alcanzaron un máximo de 36.6 Gt en 2021. Se espera que para 2030 la capacidad mundial de producción de energías limpias, como los electrolizadores y módulos solares, alcance niveles significativos [3]. En 2022, aproximadamente el 29% de la electricidad mundial provino de fuentes de energía renovables, con un 12% atribuido a la energía solar, lo que evidencia una tendencia positiva hacia la reducción de la huella de carbono [4]. Este cambio es impulsado no solo por la necesidad de disminuir las emisiones de carbono, sino también por los beneficios económicos, la independencia energética y la mejora de la salud pública asociadas con las energías limpias.

La transición hacia un futuro energético más sostenible requiere de una fuerza laboral capacitada y conocedora del manejo y operación de estas tecnologías. Por tanto, la educación en energías renovables, especialmente en energía solar, es fundamental, ya que impulsa la innovación y el desarrollo de soluciones energéticas avanzadas. Un estudio publicado en

Renewable Energy resalta que la educación en energías renovables es crucial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que fomenta una mayor comprensión y aceptación de estas tecnologías, mejorando la calidad ambiental global [5]. Además, investigaciones en los países BRICS demuestran que los niveles educativos influyen significativamente en la demanda de energía renovable, subrayando la necesidad de integrar estos conocimientos en los programas educativos para promover un desarrollo sostenible [6].

Una de las principales barreras en la educación sobre energías renovables es el acceso a equipos de energía solar para prácticas y aprendizaje. Muchas instituciones educativas, especialmente en países en desarrollo, carecen de los recursos necesarios para proporcionar a los estudiantes acceso a estas tecnologías, limitando su capacidad para realizar experimentos prácticos y obtener una comprensión profunda de los sistemas solares. La falta de equipos adecuados impide a los estudiantes adquirir habilidades prácticas esenciales, lo que destaca la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras, como los sistemas de teleoperación, para superar estas barreras y mejorar la educación en energías renovables (NREL Home) (The Global Environment Facility).

La implementación de tecnologías de teleoperación puede ayudar a equipar a la próxima generación con las habilidades necesarias para manejar y operar tecnologías avanzadas en energías renovables. La teleoperación de sistemas solares aparece como una alternativa que permite a los estudiantes realizar experimentos de manera remota y monitorear el rendimiento de los paneles solares, ampliando el acceso y la comprensión de estas tecnologías sin la necesidad de contar con equipos físicos in situ (NREL Home) (The Global Environment Facility).

Este proyecto examina el diseño de sistemas de teleoperación de paneles solares en el contexto de la educación en energías renovables. Se propondrá un diseño de teleoperación para sistemas solares, con el objetivo de integrar y utilizar estas tecnologías como herramientas de estudio para usuarios remotos, contribuyendo así a la formación de futuros ingenieros, científicos y personas interesadas en el estudio de las energías renovables, específicamente la solar.

1.2 Descripción del Problema

La principal problemática es la ausencia de un sistema para la teleoperación de paneles solares en entornos educativos avanzados en energías renovables, especialmente para estudiantes universitarios de diferentes países. Esta carencia limita la posibilidad de realizar prácticas en tiempo real, lo que afecta negativamente la adquisición de conocimientos prácticos esenciales y restringe la colaboración internacional en el ámbito de la educación en energías renovables [7]. La falta de plataformas accesibles para teleoperar y controlar paneles solares exacerba esta situación, impactando negativamente en la formación de futuros profesionales en el sector de las energías renovables [8].

Para abordar este problema, es fundamental considerar los siguientes requerimientos: desarrollar una interfaz que permita el acceso remoto al sistema, con capacidad para mostrar datos en tiempo real y ajustar el ángulo del panel solar desde una interfaz web o una aplicación móvil [9]. Los controles deben ser intuitivos y seguros, garantizando una experiencia de usuario eficiente y protegiendo la integridad del sistema [10].

Además, el sistema debe estar conectado a la red CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), facilitando que los diferentes países de Iberoamérica compartan sus tecnologías en energías renovables y las utilicen en prácticas

universitarias. Esto evitará gastos excesivos, ya que una sola universidad no tendría que adquirir todas las tecnologías por su cuenta [11].

Este problema es crítico debido a la creciente demanda de profesionales en energías renovables y la necesidad imperante de fomentar la colaboración internacional. La falta de acceso a plataformas de teleoperación adecuadas se puede observar y medir a través de la evaluación de competencias prácticas de los estudiantes, el uso efectivo de las plataformas y la calidad de la colaboración entre instituciones educativas [9]. Al mejorar el acceso a sistemas de teleoperación de paneles solares, se promoverá una educación más práctica e inclusiva que contribuya al desarrollo de competencias necesarias en el sector energético.

El cliente principal de este proyecto es el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP), el cual fue aprobado por la Comisión Académica del Consejo Politécnico en 1998. Este centro surgió como una extensión del Centro de Tecnologías Energéticas (CETE), y desde entonces ha estado comprometido con el avance de tecnologías sustentables y energías renovables en la región [12]. La implementación de un sistema de teleoperación para paneles solares será un paso significativo para apoyar los objetivos educativos del CDTS y promover la formación de futuros expertos en energías renovables.

1.3 Justificación del Problema

En muchas universidades, empresas y centros de investigación donde se ofrece educación sobre sistemas de energía solar, el acceso a equipos para la realización de prácticas y experimentos suele ser limitado. Esta restricción se debe principalmente a problemas de espacio y a la insuficiencia de presupuesto para adquirir y mantener equipos adecuados [13],

[14]. Estas limitaciones afectan negativamente el aprendizaje práctico de los estudiantes, el cual es esencial para una formación completa en el campo de las energías renovables.

Una alternativa efectiva para superar estas barreras es la teleoperación, una técnica que permite la manipulación, control y monitorización remota de equipos de energía fotovoltaica en tiempo real. Esta modalidad no solo ofrece una solución accesible desde el punto de vista financiero, ya que no requiere una gran inversión en equipos ni costos elevados por traslados de estudiantes o equipos, sino que también permite un aprovechamiento óptimo de los recursos existentes [15]. La teleoperación facilita el aprendizaje práctico sin las restricciones físicas tradicionales, mejorando así la calidad de la educación en energías renovables.

La relevancia de proporcionar acceso a equipos para prácticas e investigación en la educación de energías solares radica en la necesidad de formar profesionales con una comprensión integral y profunda de estas tecnologías. Además, fomenta el interés en esta área de estudio, promoviendo desde la etapa de formación una conciencia ambiental y sostenible que es crucial para enfrentar los desafíos energéticos globales actuales [13].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de teleoperación para equipos de energía solar, accesible remotamente para estudiantes sin equipos disponibles en sus centros de estudio, utilizando tecnologías de diseño web, bases de datos en tiempo real y sistemas embebidos con conectividad Wifi.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema que permita la teleoperación precisa de la inclinación de un panel solar, integrando la recepción y procesamiento de datos para garantizar un control óptimo del ángulo de inclinación del panel.
2. Crear una interfaz intuitiva que permita a los usuarios acceder de manera remota al sistema, asegurando que solo un usuario esté ingresado a la vez, facilitando así la comprensión y estudio de la energía solar.
3. Implementar una base de datos para almacenar la información obtenida de sensores, permitiendo su análisis y consulta posterior.
4. Evaluar la precisión en el control de la inclinación máxima del panel solar mediante pruebas y validaciones del software.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Historia y Evolución

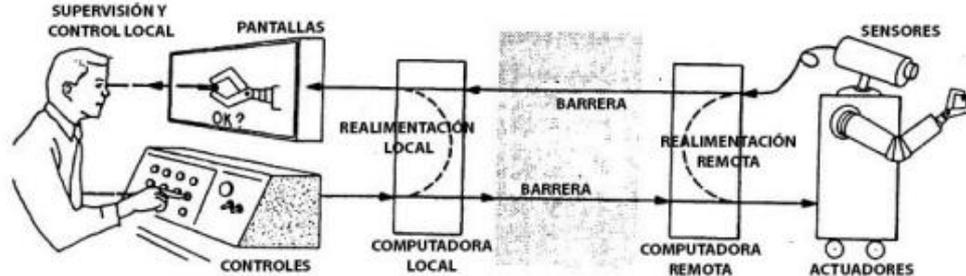
Los primeros desarrollos en sistemas de teleoperación se centraron en la industria nuclear, específicamente para la manipulación segura de materiales radiactivos, minimizando el riesgo para los operadores humanos. En 1948, Raymond Goertz desarrolló el primer telemanipulador mecánico, que marcó un avance significativo en esta tecnología [16]. Desde ese momento, la teleoperación ha evolucionado notablemente, pasando de sistemas mecánicos a sistemas eléctricos y, posteriormente, a sistemas controlados mediante fibra óptica, radio e Internet [9]. Estos avances han permitido superar las limitaciones de distancia y han mejorado la precisión y eficiencia de las operaciones remotas.

1.5.2 Elementos de un Sistema de Teleoperación

Un sistema de teleoperación se compone de varios elementos esenciales que trabajan en conjunto para permitir una operación remota eficiente y segura. Estos elementos incluyen el operador, el dispositivo teleoperado, la interfaz, los controles y canales de comunicación, así como los sensores como se detalla en la Figura 1.1. Cada componente desempeña un papel fundamental, desde la captación de comandos hasta la retroalimentación sensorial, facilitando la interacción efectiva entre el operador y el dispositivo remoto.

Figura 1.1

Elementos Sistema Teleoperación.



1.5.2.1 Arquitecturas de Teleoperación

Las arquitecturas de teleoperación pueden clasificarse en dos categorías principales: centralizadas y distribuidas. En las arquitecturas centralizadas, un único operador controla múltiples dispositivos desde una estación central, permitiendo un control concentrado y eficiente. Por otro lado, las arquitecturas distribuidas permiten que múltiples operadores controlen diferentes dispositivos de manera descentralizada, facilitando la colaboración simultánea en diversas ubicaciones y mejorando la flexibilidad operativa [17].

1.5.2.2 Clasificación de Sistemas Teleoperados

Los sistemas teleoperados se pueden clasificar según su complejidad y funcionalidad en dos grupos: sistemas básicos y sistemas avanzados. Los sistemas básicos incluyen manipuladores simples diseñados para realizar tareas repetitivas, mientras que los sistemas avanzados incorporan robots complejos equipados con capacidades autónomas y sensores avanzados, permitiendo que se adapten a entornos dinámicos y realicen tareas más sofisticadas [9].

1.5.2.3 Tipos de Interfaz

Existen varios tipos de interfaces de teleoperación, cada una con características específicas según el tipo de aplicación y las necesidades operativas. Las interfaces directas utilizan dispositivos como joysticks para un control inmediato y en tiempo real, ideales cuando el retardo de comunicación es mínimo. Las interfaces multimodales o multisensoriales integran información de varios sensores para ayudar al operador a controlar el manipulador con mayor precisión. Por otro lado, el control supervisado emplea dispositivos hápticos y tecnologías de realidad virtual y aumentada para proporcionar una experiencia de telepresencia más inmersiva y detallada [10], [17].

1.5.2.4 Tecnologías de Comunicación entre los Dispositivos Maestro y Esclavo

La comunicación entre los dispositivos maestro y esclavo es un aspecto crítico en los sistemas de teleoperación, ya que determina la calidad y la efectividad del control remoto. Las tecnologías de comunicación pueden ser alámbricas, utilizando cables físicos como coaxiales, fibra óptica y líneas de potencia, o inalámbricas, que emplean señales de radiofrecuencia, redes WLAN y otros métodos que ofrecen mayor flexibilidad y alcance [16].

1.5.2.5 Aplicaciones de la Teleoperación

Los sistemas de teleoperación tienen aplicaciones en diversos campos. En el espacio, se utilizan para la experimentación y exploración planetaria, mantenimiento y operación de satélites, así como para la construcción de estaciones espaciales. Un ejemplo notable es el rover Sojourner de la NASA, que operó en Marte con un retardo de comunicación de 10 a 20 minutos [9].

En la industria nuclear, la teleoperación se emplea para la manipulación y experimentación con sustancias radiactivas, así como para la operación y mantenimiento de reactores y la descontaminación de instalaciones. En entornos submarinos, la teleoperación facilita la inspección, mantenimiento y construcción de instalaciones mediante vehículos operados a distancia como el sistema VICTOR. En el ámbito militar, se utiliza en vehículos aéreos no tripulados (UAV) y terrestres (UGV) para vigilancia, reconocimiento y adquisición de objetivos. Finalmente, en el campo médico, la teleoperación permite telecirugías y telediagnósticos, como la realizada con el sistema Zeus, conectando Nueva York y Francia [18].

1.5.2.6 Métodos de Control en Teleoperación

Los métodos de control en teleoperación incluyen el control bilateral, que proporciona retroalimentación de fuerzas al operador, mejorando la precisión y reduciendo errores, y el control supervisado y coordinado, en el que el manipulador puede realizar tareas de forma autónoma mientras el operador supervisa y da comandos de alto nivel [9].

1.6 Estado del arte

Actualmente, el avance de las tecnologías ha dado lugar a diversas formas innovadoras de abordar la teleoperación. Un ejemplo es el artículo "Solar Energy Systems Design Using

Immersive Virtual Reality: A Multi-Modal Evaluation Approach", que explora la efectividad de una experiencia de realidad virtual inmersiva para el diseño de sistemas de energía solar. La metodología empleada incluyó el uso de un rastreador ocular y sensores portátiles inalámbricos para medir el compromiso del usuario y su desempeño en múltiples escenarios de realidad virtual. Los resultados demostraron que la experiencia en realidad virtual mejoró significativamente la comprensión del diseño de sistemas de energía solar y la capacidad de los usuarios para realizar tareas complejas, además de identificar áreas de mejora para futuros módulos de formación en VR [19].

Otro ejemplo es la implementación de laboratorios virtuales y remotos en la Universidad de Florida Central (UCF), a través del Pegasus Innovation Lab, que proporciona a los estudiantes acceso a simuladores y herramientas en línea para diversas disciplinas de ingeniería y ciencias de la computación. Estos laboratorios permiten realizar experimentos y análisis de datos en un entorno controlado y accesible desde cualquier lugar, utilizando plataformas como JoVE, LabXchange y recursos de PBS LearningMedia para ofrecer contenidos educativos interactivos [20].

Por último, el estudio "Artificial Intelligence in Education" de la Universidad de Stanford explora cómo la inteligencia artificial personaliza la experiencia educativa mediante tutoría adaptativa y analítica predictiva, mejorando significativamente los resultados de aprendizaje. La integración de algoritmos de machine learning en plataformas de aprendizaje en línea proporciona retroalimentación instantánea y recursos personalizados, optimizando el proceso educativo y promoviendo el acceso global a una educación de calidad [21].

Los avances en realidad virtual, laboratorios virtuales y remotos, e inteligencia artificial están transformando la educación en energía solar de maneras innovadoras y efectivas.

Capítulo 2

2.1 Metodología.

El enfoque metodológico abarca desde la selección de la alternativa más adecuada que cumpla con los requerimientos específicos del sistema hasta el diseño conceptual de la solución. Se presentan los criterios utilizados para la elección de hardware y software, así como las herramientas tecnológicas empleadas en el diseño y desarrollo del sistema.

La metodología comienza con un análisis de requisitos del sistema y la identificación de las necesidades del usuario. A partir de esto, se evalúan distintas alternativas de solución que pueden cumplir con estos requisitos. Luego, se define un conjunto de criterios de selección, priorizados según su relevancia para el proyecto, que incluyen costo, accesibilidad, facilidad de uso y desarrollo, fiabilidad, seguridad y escalabilidad. Las alternativas se comparan y puntúan en base a estos criterios, y la opción que obtiene la mayor puntuación se selecciona para su implementación. Finalmente, se procede al diseño del sistema, integrando los componentes de hardware y software seleccionados.

2.2 Selección de alternativas de solución

Para el diseño del sistema de teleoperación de equipos de energía solar, se analizaron varias alternativas tecnológicas. De estas, se seleccionaron las tres opciones más destacadas, cada una de las cuales cumple con los requisitos del usuario de manera eficiente:

Alternativa 1: Teleoperación de equipos solares mediante AWS IoT Core, que permite la gestión de dispositivos y la conexión con el controlador. Esta opción utiliza los servicios de AWS para el almacenamiento y la visualización de datos, lo que proporciona un entorno escalable y seguro para el manejo de los dispositivos.

Alternativa 2: Teleoperación de equipos solares utilizando WebSockets y una aplicación web. Los WebSockets permiten la comunicación en tiempo real entre el controlador y el servidor web, mientras que la aplicación web se utiliza para el control y monitoreo de los equipos. Esta solución ofrece una latencia mínima y es ideal para aplicaciones que requieren actualizaciones rápidas y constantes.

Alternativa 3: Teleoperación de equipos solares con control y monitoreo a través de Firebase y una aplicación web. El uso de Firebase RealTime DataBase facilita el almacenamiento y sincronización de datos en tiempo real, mientras que la aplicación web proporciona una interfaz de usuario para el control y monitoreo. Esta opción es particularmente atractiva por su simplicidad y su capacidad para integrar múltiples plataformas.

La selección de la alternativa óptima se realizó mediante una evaluación basada en varios criterios clave. Estos criterios fueron ponderados y clasificados según su importancia relativa para el proyecto. La decisión final se basó en un análisis cuantitativo que consideró los siguientes factores, organizados por orden de prioridad:

Costo > Accesibilidad > Facilidad de Uso y Desarrollo = Fiabilidad > Seguridad > Escalabilidad

1. Costo: Se refiere al gasto total involucrado en el desarrollo del sistema, incluyendo los costos de componentes, software, servicios en la nube y otros recursos necesarios. Este criterio tiene el mayor peso debido a la necesidad de mantener la solución dentro de un presupuesto razonable.
2. Accesibilidad: Evalúa la facilidad con la que los usuarios pueden acceder y operar el sistema desde ubicaciones remotas. Este criterio considera la disponibilidad del sistema

en diversas plataformas y la capacidad de los usuarios para interactuar con él sin restricciones significativas.

3. **Facilidad de Uso y Desarrollo:** Este criterio evalúa tanto la simplicidad del desarrollo del sistema como la facilidad con la que los usuarios pueden interactuar con él. Se busca una solución que minimice el tiempo y esfuerzo necesarios tanto para su implementación como para su uso.

4. **Fiabilidad:** Se refiere a la capacidad del sistema para estar disponible y operar sin interrupciones, proporcionando datos actualizados en tiempo real. La fiabilidad es esencial para garantizar que el sistema funcione de manera constante y sin fallos críticos.

5. **Seguridad:** Este criterio mide qué tan bien el sistema está protegido contra accesos no autorizados y cómo se garantiza la integridad y confidencialidad de los datos. Dada la naturaleza crítica de los datos involucrados, la seguridad es un factor crucial en la evaluación de las alternativas.

6. **Escalabilidad:** Evalúa la capacidad del sistema para adaptarse a un aumento en la carga de trabajo, ya sea en términos de usuarios o de volumen de datos, sin comprometer su rendimiento o estabilidad. Este criterio es fundamental para asegurar que el sistema pueda crecer según sea necesario.

Cada alternativa fue evaluada utilizando estos criterios, y se les asignó un puntaje de acuerdo con su rendimiento en cada categoría. Esta metodología de evaluación estructurada permitió seleccionar la alternativa que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto, garantizando un balance óptimo entre costo, eficiencia, seguridad y facilidad de uso.

Tabla 2.1*Criterios de Selección para alternativas de solución.*

Criterios de Selección			
Peso	Criterio	Rango de Importancia	% decisión
6	Costo	1	28,57
5	Accesibilidad	2	23,81
3,5	Facilidad de uso y desarrollo	3	16,67
3,5	Fiabilidad	3	16,67
2	Seguridad	4	9,52
1	Escalabilidad	5	4,76
21	Total		100

Como se ve en la Tabla 2.1 midiendo las 3 soluciones a través de estos seis criterios por separado se obtuvieron los pesos, en la tabla de resultados se resume el proceso:

Tabla 2.2*Matriz de decisión de alternativas de solución*

Alternativas	Criterios						Resultados	
	Costo	Accesibilidad	Facilidad de uso y desarrollo	Fiabilidad	Seguridad	Escalabilidad	Puntajes	Prioridad
Alternativa #1	0,17	0,33	0,33	0,42	0,5	0,5	2,25	2
Alternativa #2	0,33	0,33	0,17	0,17	0,17	0,17	1,33	3
Alternativa #3	0,50	0,33	0,50	0,42	0,33	0,33	2,42	1

La Tabla 2.2 muestra los criterios de costo, accesibilidad, facilidad de uso y desarrollo, fiabilidad, seguridad y escalabilidad, siendo la alternativa 3 la teleoperación basada en Firebase y aplicación web, se considera la más adecuada siendo un de bajo costo, gran accesibilidad al estar conectarse por internet, de fácil desarrollo y fácil uso para el cliente final, la fiabilidad del

sistema permite que sea estable, es seguro al tener implementadas medidas de seguridad para proteger los datos y comunicación, y también escalable para añadir un gran número de usuarios y datos, teniendo una plataforma robusta. La alternativa elegida fue la tercera, siendo la más prioritaria según los resultados de la matriz de decisión de criterios.

2.3 Etapas de Diseño

El proceso de diseño del sistema de teleoperación para equipos de energía solar se divide en tres etapas principales que aseguran un desarrollo estructurado y eficiente. Cada etapa aborda aspectos específicos del sistema, desde la recolección de datos hasta el monitoreo y control en tiempo real.

Etapas 1: Recolección de Datos y Configuración del Controlador

En esta primera etapa, se implementa un microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos y el control de los componentes del sistema. El ESP32, un microcontrolador de bajo costo y alta versatilidad con conectividad WiFi y Bluetooth, se conecta a diversos sensores de corriente, voltaje y distancia para recolectar datos en tiempo real. Estos sensores permiten medir los parámetros críticos del sistema de energía solar, como la generación de energía, el estado de la batería y la posición del panel. Además, se configura un actuador lineal que permitirá ajustar la orientación del panel solar según las condiciones del entorno, optimizando la captación de energía. La precisión en la configuración del microcontrolador y los sensores es crucial para garantizar la eficiencia del sistema y la fiabilidad de los datos recolectados.

Etapa 2: Transmisión y Recepción de Datos

La segunda etapa se enfoca en la comunicación del sistema, utilizando la conectividad WiFi integrada del microcontrolador ESP32 para transmitir y recibir datos. La transmisión de datos se realiza mediante el protocolo HTTP hacia la base de datos Firebase, que actúa como backend. Firebase RealTime Database es ideal para este propósito ya que permite una sincronización instantánea de los datos recolectados, facilitando el almacenamiento, la gestión, y la accesibilidad de la información. Esta etapa es crucial para asegurar la continuidad y la precisión de los datos transmitidos, permitiendo que el sistema de teleoperación funcione de manera fluida y sin interrupciones. También se implementan mecanismos de seguridad, como la autenticación basada en tokens y la encriptación de datos, para proteger la integridad de la información.

Etapa 3: Visualización, Monitoreo y Control

La tercera etapa está centrada en el desarrollo de la interfaz de usuario, que se realiza utilizando Vue.js, un framework progresivo de JavaScript conocido por su simplicidad y capacidad de respuesta. Esta interfaz proporciona una visualización en tiempo real de los datos recolectados por los sensores, incluyendo gráficos y tablas que muestran información relevante como la corriente, el voltaje y la orientación del panel. A través de esta interfaz, los usuarios pueden monitorear el rendimiento del sistema, controlar el actuador direccional para ajustar la posición del panel solar, acceder a los datos almacenados y visualizar imágenes en vivo desde una cámara conectada al sistema. La interfaz no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también facilita la toma de decisiones rápidas y eficientes, lo cual es esencial para maximizar la eficiencia del sistema de energía solar.

2.4 Requerimientos de diseño

Para diseñar el sistema de teleoperación que controlará los actuadores, los cuales moverán el panel solar, y monitoreará los datos que son medidos por el mismo, es esencial conocer y entender los requerimientos del cliente. La Tabla 2.3 detalla estos requerimientos de diseño y sus detalles.

Tabla 2.3

Requerimientos del sistema. Presentación de requerimientos específicos del cliente para el diseño.

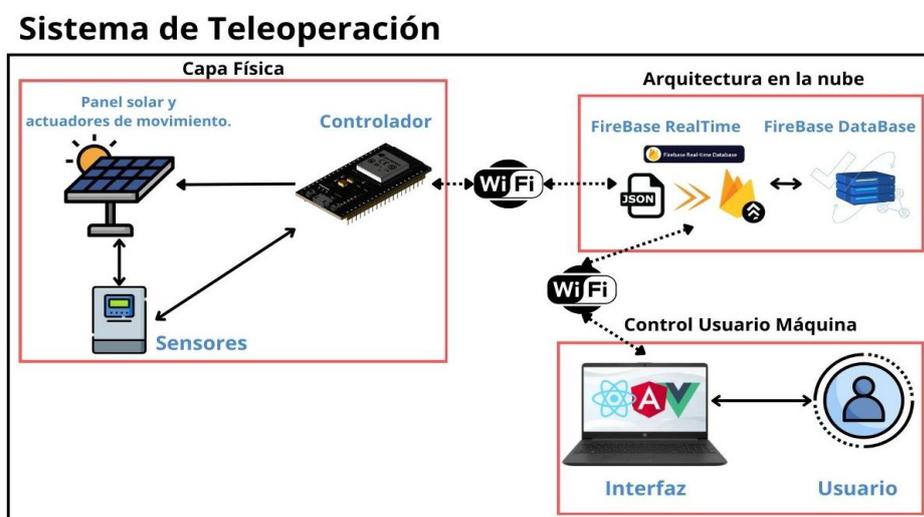
Acceso	La interfaz debe permitir el acceso remoto al sistema por parte de los estudiantes.
Monitoreo	Debe mostrar en tiempo real la orientación del panel solar y otros datos relevantes como la radiación solar y la energía generada, voltaje y corriente.
Control	Debe permitir a los usuarios ajustar el ángulo del panel solar en tiempo real.
Interfaz	La teleoperación del panel solar debe ser posible desde una interfaz web o una aplicación móvil.
Seguridad	Los controles deben ser intuitivos y seguros para evitar manipulaciones incorrectas.
Conectividad	El sistema debe ser capaz de conectarse a la red de CYTED, que engloba a varios países de Iberoamérica.
Usabilidad	La interfaz debe ser fácil de usar y accesible para estudiantes de diferentes niveles de conocimiento técnico.
Restricciones de uso	Debe permitir el ingreso de un usuario a la vez, es decir, varios usuarios no pueden usar el equipo simultáneamente.

2.5 Diseño conceptual

La Figura 2.1 muestra el esquema del diseño conceptual seleccionado entre las alternativas planteadas previamente. Este esquema presenta los fundamentos del diseño, incluyendo los componentes involucrados, las conexiones realizadas, la arquitectura del sistema, los modos de conexión, así como los flujos de envío y recepción de datos.

Figura 2.1

Diseño conceptual



El diseño conceptual proporciona una visión inicial del sistema a desarrollar, permitiendo identificar y organizar las diferentes etapas necesarias para cumplir con los requerimientos del cliente. Para ello, el diseño se ha dividido en tres etapas principales: capa física, arquitectura del sistema y almacenamiento en la nube, y el frontend para la teleoperación.

La primera etapa, conocida como la capa física, comprende todos los componentes mecánicos y electrónicos ensamblados que conforman el sistema operativo del proyecto. En esta etapa, se emplea un controlador, específicamente un microcontrolador ESP32, que se

programa para recibir y procesar los datos enviados por el usuario. A su vez, este controlador envía información útil para el monitoreo preciso del sistema. Los comandos recibidos del operador a través de la interfaz de usuario son enviados al controlador, que actúa sobre los actuadores para generar el movimiento requerido, como, por ejemplo, orientar el panel solar en el ángulo especificado para maximizar la captación de energía solar.

Además, en esta etapa se incluyen sensores para medir parámetros críticos como voltaje, corriente y posición del panel solar. Estos sensores envían datos al controlador, que posteriormente los retransmite al usuario para su interpretación y toma de decisiones en tiempo real. Este flujo bidireccional de datos es fundamental para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y que el operador tenga control total sobre las variables de operación.

La segunda etapa abarca la arquitectura del sistema y el almacenamiento en la nube. Se utiliza Firebase como backend para este propósito, debido a su capacidad de ofrecer una base de datos en tiempo real que permite gestionar datos de manera interactiva. Gracias a Firebase y sus librerías, los datos generados por los sensores y actuadores son almacenados y sincronizados en tiempo real, proporcionando una plataforma confiable para el control y monitoreo remoto. Los usuarios pueden enviar comandos y recibir actualizaciones sin latencia significativa, lo cual es crucial para el control de sistemas dinámicos como los paneles solares.

Además de la gestión de datos, Firebase facilita el manejo de autenticación y control de acceso, garantizando la seguridad y confiabilidad del sistema. Este control asegura que solo usuarios autorizados puedan operar el sistema y que no haya conflictos en el control simultáneo de los actuadores. La capacidad de manejar la autenticación y la gestión de usuarios de manera eficiente es esencial para evitar accesos no autorizados y asegurar que los datos sean protegidos en todo momento.

La tercera fase corresponde al frontend del sistema, es decir, la interfaz de usuario que permite la teleoperación. Esta parte del diseño se desarrollará utilizando tecnologías web modernas como HTML, CSS y JavaScript, junto con frameworks como Vue, React, Angular o Flutter. El objetivo es crear una interfaz intuitiva y altamente interactiva que permita a los usuarios enviar comandos, como el valor del ángulo deseado para ajustar la orientación del panel solar, y monitorear en tiempo real los valores medidos por los sensores, tales como voltaje, corriente y posición del panel.

A través de esta interfaz, el usuario puede conocer en todo momento cuál es la posición más eficiente del panel respecto al sol, cuánta energía (en términos de voltaje y corriente) puede generar el panel en una posición específica, y realizar ajustes dinámicos para maximizar la captación de energía solar. Las peticiones y respuestas entre el frontend y el backend (Firebase) permiten que este control sea continuo y eficiente, asegurando una operación precisa y en tiempo real del sistema de teleoperación.

En conjunto, estas tres etapas del diseño conceptual establecen una base sólida para la implementación del sistema de teleoperación, proporcionando un marco que abarca desde la configuración del hardware hasta el desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y funcional, garantizando así una solución completa y eficaz que cumple con los requerimientos del proyecto.

2.6 Diseño Mecánico y Electrónico

2.6.1 Diseño Mecánico

En el diseño mecánico del sistema de teleoperación, el cliente ha desarrollado una estructura robusta que permite mover y ajustar la inclinación de los paneles solares para optimizar su exposición al sol. Esta estructura ha sido construida utilizando materiales

seleccionados por su durabilidad y resistencia, asegurando la estabilidad y eficiencia del sistema. Los materiales clave son:

- Acero: Este material proporciona una estructura resistente y duradera, capaz de soportar los paneles solares y los componentes asociados. El uso de acero garantiza la longevidad del sistema bajo condiciones ambientales diversas, resistiendo tanto cargas estáticas como dinámicas generadas por el movimiento de los paneles solares.
- Actuador Lineal: Este componente es esencial para el movimiento preciso de los paneles solares, permitiendo ajustar su ángulo en función de la posición del sol. El actuador lineal convierte la energía eléctrica en movimiento lineal, proporcionando el ajuste angular necesario para maximizar la captación de energía solar.

Figura 2.2

Estructura de acero para panel solar



En esta Figura 2.2 se puede observar la instalación de un panel, que se repite para el conjunto, con un movimiento de inclinación al activarse el actuador lineal, mientras que a continuación, en la Figura 2.3 se muestra la ubicación del actuador lineal en la estructura.

Figura 2.3*Actuador lineal*

2.6.2 Diseño Electrónico

En cuanto al diseño electrónico, se han seleccionado y adquirido diversos componentes que facilitan la adquisición de datos, el control de actuadores, y la comunicación con el sistema de backend en la nube. Estos componentes electrónicos han sido elegidos en función de su rendimiento, fiabilidad y compatibilidad con el sistema de teleoperación. Los componentes más destacados son:

- **ESP32-WROOM:** Este microcontrolador es el núcleo del sistema electrónico. Equipado con conectividad WiFi y Bluetooth, el ESP32-WROOM facilita la comunicación en tiempo real con Firebase y otros dispositivos, gestionando tanto la recepción de comandos del usuario como el envío de datos de los sensores. Su capacidad de procesamiento y conectividad es crucial para el funcionamiento fluido del sistema.

- **Sensor Ultrasónico Resistente al Agua:** Este sensor mide la distancia y detecta obstáculos alrededor del panel solar, proporcionando datos esenciales para ajustar automáticamente la posición del panel y evitar posibles daños. Su resistencia al agua lo hace adecuado para operaciones en exteriores, garantizando un rendimiento confiable en diversas condiciones climáticas.
- **Módulo de Sensor de Corriente AC/DC:** Este módulo mide la corriente generada por los paneles solares. Los datos recopilados por este sensor son fundamentales para monitorear el rendimiento del sistema, ayudando a evaluar la eficiencia energética y a detectar cualquier anomalía en la generación de electricidad.
- **Fuente de Poder AC/DC:** Este componente proporciona la alimentación necesaria para todos los dispositivos electrónicos del sistema, asegurando un suministro de energía constante y estable, esencial para mantener el funcionamiento continuo del controlador, sensores, actuadores, y otros componentes.
- **Kit de Conectores Macho-Hembra de Cable Puente:** Estos conectores permiten establecer conexiones seguras y fiables entre los diferentes componentes electrónicos. Facilitan el cableado, permitiendo la rápida instalación y mantenimiento del sistema, reduciendo al mismo tiempo el riesgo de fallos de conexión.
- **Puente H Modelo ZK-5AD:** Este módulo es utilizado para controlar los actuadores lineales, permitiendo movimientos precisos y eficientes del sistema de inclinación de los paneles solares. El Puente H permite invertir la dirección de los motores, logrando así el ajuste necesario para orientar los paneles de manera óptima.

La combinación de estos componentes electrónicos garantiza un control preciso, una comunicación eficiente y un monitoreo continuo del sistema de teleoperación de los paneles solares, asegurando la eficiencia en la captación de energía y la operación remota del sistema.

Figura 2.4

Base para ESP32



Figura 2.5

Sensor de Corriente



En la Figura 2.4 y 2.5 se muestran los insertos para el microcontrolador y los sensores de voltaje y corriente.

2.7 Diseño Control y Programación

2.7.1 Control de actuadores

El control de los actuadores en el sistema de teleoperación de los paneles solares es gestionado por el microcontrolador ESP32, que envía señales en base a los comandos recibidos del usuario. Para garantizar un ajuste preciso y eficiente de la posición de los paneles solares, se implementará un algoritmo de control PID (Proporcional, Integral, Derivativo). Este tipo de control permite corregir la posición del panel con base en los datos sensados (voltaje, corriente y posición) y los objetivos definidos por el usuario, minimizando el error y optimizando la captación de energía solar.

- **Diagrama de Flujo para control de actuadores:**

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso de control de los actuadores utilizando el algoritmo PID:

- 1) Inicio
- 2) Inicialización del Sistema
 - Configurar parámetros del controlador PID.
 - Establecer conexiones con sensores y actuadores.
- 3) Lectura de Sensores
 - Obtener datos en tiempo real de voltaje, corriente y posición del panel solar.
- 4) Cálculo del Error
 - Comparar la posición actual del panel con la posición deseada.
 - Calcular el error (diferencia entre la posición actual y la deseada).
- 5) Ajuste del Controlador PID

- Calcular las acciones proporcionales, integrales y derivativas basadas en el error.
- Ajustar la señal de control en función de los parámetros del PID.

6) Enviar Señales a los Actuadores

- Enviar las señales de control ajustadas a los actuadores para cambiar la posición del panel.

7) Actualización y Monitoreo

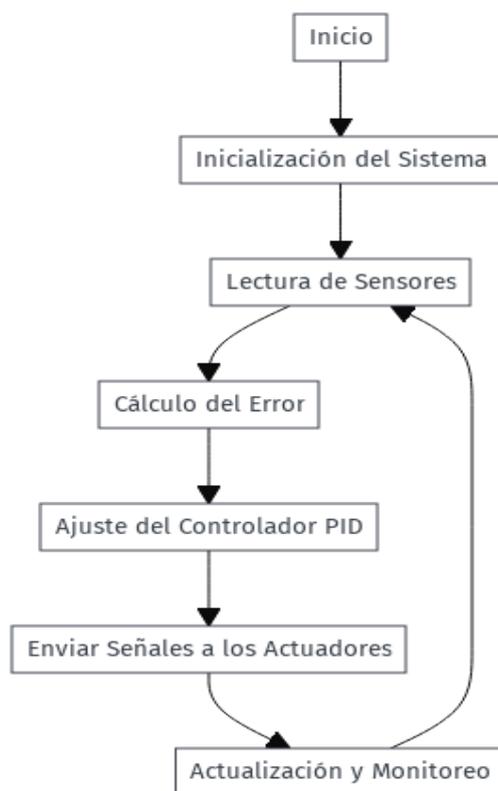
- Actualizar la base de datos en tiempo real con los nuevos valores de posición, voltaje y corriente.
- Verificar que los ajustes se han realizado correctamente.

8) Repetir el Ciclo

- Continuar con la lectura de sensores y el ajuste del control en un bucle continuo.

Figura 2.6

Diagrama de Flujo Sistema de Control



En esta Figura 2.6 se muestra un diagrama de flujo del Sistema de control para la implementación de un seguidor solar.

2.7.2 Integración con Firebase

Firestore es una plataforma robusta que se utiliza para asegurar la sincronización en tiempo real de los datos y el control eficiente del sistema de teleoperación de los paneles solares. La integración con Firestore permite el almacenamiento, sincronización, y gestión de datos de manera interactiva, además de ofrecer servicios de autenticación de usuarios y reglas de seguridad para proteger el acceso al sistema.

2.7.3 Pasos de Configuración del Firebase:

1.- Creación del Proyecto en Firebase Console:

- Acceder a Firebase Console y crear un nuevo proyecto, proporcionando un nombre y seleccionando la ubicación del servidor.
- Una vez creado, se habilitan los diversos servicios de Firebase, como la Realtime Database.

2.- Configuración de Firebase Realtime Database:

- Configurar la Realtime Database para almacenar y sincronizar datos en tiempo real. Se debe habilitar la opción de Realtime Database en Firebase Console.
- Definir la estructura inicial de los datos que se almacenarán, como nodos para datos de sensores, estado de actuadores, y la información del usuario.

3.- Implementación de Reglas de Seguridad:

- Las reglas de seguridad son esenciales para proteger el acceso y las operaciones que se realizan en la base de datos. Utilizan un sistema basado en JSON para definir permisos de lectura y escritura.
- Por ejemplo, solo el controlador ESP32 podrá enviar datos de sensores y recibir comandos de control, mientras que los usuarios solo podrán acceder a los datos necesarios para monitorear y ajustar los paneles solares.

2.7.4 Manejo de Datos

El manejo de datos en Firebase se realiza mediante un archivo JSON que define la estructura de los datos almacenados como se visualiza en la figura 2.7. Este archivo incluye

etiquetas para cada valor sensado, datos del usuario y los comandos enviados para el control del sistema. Esta estructura de datos permite:

- **Organización Clara y Eficiente:** Los datos se organizan en nodos jerárquicos, facilitando tanto el acceso como la manipulación en tiempo real.
- **Actualización en Tiempo Real:** A medida que los datos de los sensores cambian o se envían nuevos comandos, la base de datos se actualiza automáticamente, permitiendo que los usuarios y el controlador interactúen sin latencia significativa.

La utilización de Firebase para el manejo de datos asegura un control fluido y seguro de los paneles solares, maximizando la eficiencia del sistema y proporcionando una experiencia de usuario optimizada.

Figura 2.7

Ejemplo del archivo. Json

```
{
  "rules": {
    ".read": "auth != null",
    ".write": "auth != null",
    "sensores": {
      ".read": "auth != null",
      ".write": "auth != null"
    },
    "actuadores": {
      ".read": "auth != null",
      ".write": "auth != null"
    },
    "usuarios": {
      "$uid": {
        ".read": "$uid === auth.uid",
        ".write": "$uid === auth.uid"
      }
    }
  }
}
```

2.7.5 Desarrollo del Frontend

El desarrollo del frontend del sistema de teleoperación de los paneles solares implica la creación de una interfaz web que sea robusta, dinámica y responsiva. Esta interfaz permitirá a los usuarios interactuar con el sistema, monitorear el rendimiento de los paneles solares en tiempo real y enviar comandos para ajustar su posición. Para lograr esto, se utilizan varias tecnologías clave:

- **JavaScript:** Es un lenguaje de programación fundamental en el desarrollo web que permite agregar interactividad a la interfaz. En este proyecto, JavaScript se utiliza para manejar eventos del usuario (como clics y entradas de datos), realizar

validaciones en los formularios, actualizar dinámicamente el contenido de la página sin necesidad de recargarla y comunicarse con el backend (Firebase) en tiempo real, utilizando técnicas como AJAX y WebSockets.

- **Vue.js:** Vue.js es un framework progresivo de JavaScript que facilita la creación de aplicaciones web modernas y eficientes. Su enfoque en la reactividad y componentes modulares permite desarrollar interfaces de usuario escalables y fáciles de mantener. Vue.js es especialmente adecuado para este proyecto debido a su simplicidad, rendimiento y capacidad para integrarse con otras bibliotecas y sistemas ya existentes. Además, proporciona herramientas como Vue Router para el manejo de rutas y Vuex para la gestión del estado de la aplicación, lo cual es útil para mantener la sincronización del estado de la interfaz con los datos del backend.

2.7.6 Formulario de Control y Panel de Monitoreo

El frontend de la aplicación web se compone principalmente de dos módulos: el Formulario de Control y el Panel de Monitoreo, ambos diseñados para facilitar la interacción del usuario con el sistema de teleoperación de los paneles solares.

2.7.6.1 Formulario de Control

El Formulario de Control es una sección interactiva donde los usuarios pueden enviar comandos al sistema para ajustar la posición de los paneles solares. Este formulario permite la entrada de parámetros específicos y la ejecución de acciones que afectan el sistema de control.

- **Componentes del Formulario:**
 - **Campo de Entrada para el Ángulo del Panel:** Un input numérico donde el usuario ingresa el ángulo deseado al cual deben orientarse los paneles solares.

Este campo incluye validaciones para evitar entradas no válidas o fuera de rango.

- Botón de Envío: Un botón que, al ser presionado, envía el comando al backend (Firebase). Este botón también puede cambiar de estado (por ejemplo, de "Enviar" a "Enviando...") para indicar al usuario que el comando está en proceso.
- Indicador de Estado: Una sección que muestra la respuesta del sistema después de enviar un comando. Puede mostrar mensajes como "Comando enviado con éxito", "Error de comunicación" o "Ajuste realizado correctamente"

2.7.6.2 Panel de Monitoreo

El Panel de Monitoreo proporciona una visualización en tiempo real de los datos generados por los sensores instalados en los paneles solares. Este panel permite a los usuarios supervisar el rendimiento del sistema y detectar cualquier anomalía que pueda requerir ajustes.

- **Componentes del Panel:**
 - Gráficos en Tiempo Real: Visualizaciones dinámicas (como gráficos de líneas o de barras) que muestran la evolución de los datos sensados, como voltaje, corriente y posición del panel solar a lo largo del tiempo. Estos gráficos se actualizan automáticamente a medida que nuevos datos llegan desde Firebase.
 - Indicadores Numéricos: Muestran los valores actuales de los sensores, como el voltaje en tiempo real, la corriente generada, y la posición del panel en grados. Estos indicadores permiten al usuario realizar un seguimiento rápido de los parámetros clave.

- Alertas y Notificaciones: En caso de que los valores de los sensores superen los límites establecidos o se detecte alguna condición fuera de lo normal (por ejemplo, baja eficiencia en la captación solar), se generan alertas visuales (como mensajes en rojo o notificaciones emergentes) para advertir al usuario sobre la situación y sugerir acciones correctivas.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

En esta sección se presentan los resultados del proyecto de diseño e implementación de un sistema de teleoperación de paneles solares, detallando las conexiones, configuraciones y arquitecturas establecidas para lograr un control eficiente y un monitoreo en tiempo real del sistema. Se abordarán, en particular, las interacciones entre los componentes electrónicos, el microcontrolador ESP32 WRoom 32U, la plataforma de Firebase, y la interfaz de usuario desarrollada. A continuación, se profundiza en cómo se logra la comunicación en tiempo real para el manejo de datos y la integración eficiente y segura de todos estos elementos para ofrecer una experiencia intuitiva a los usuarios finales.

3.1.1 Estructura del componente electrónico

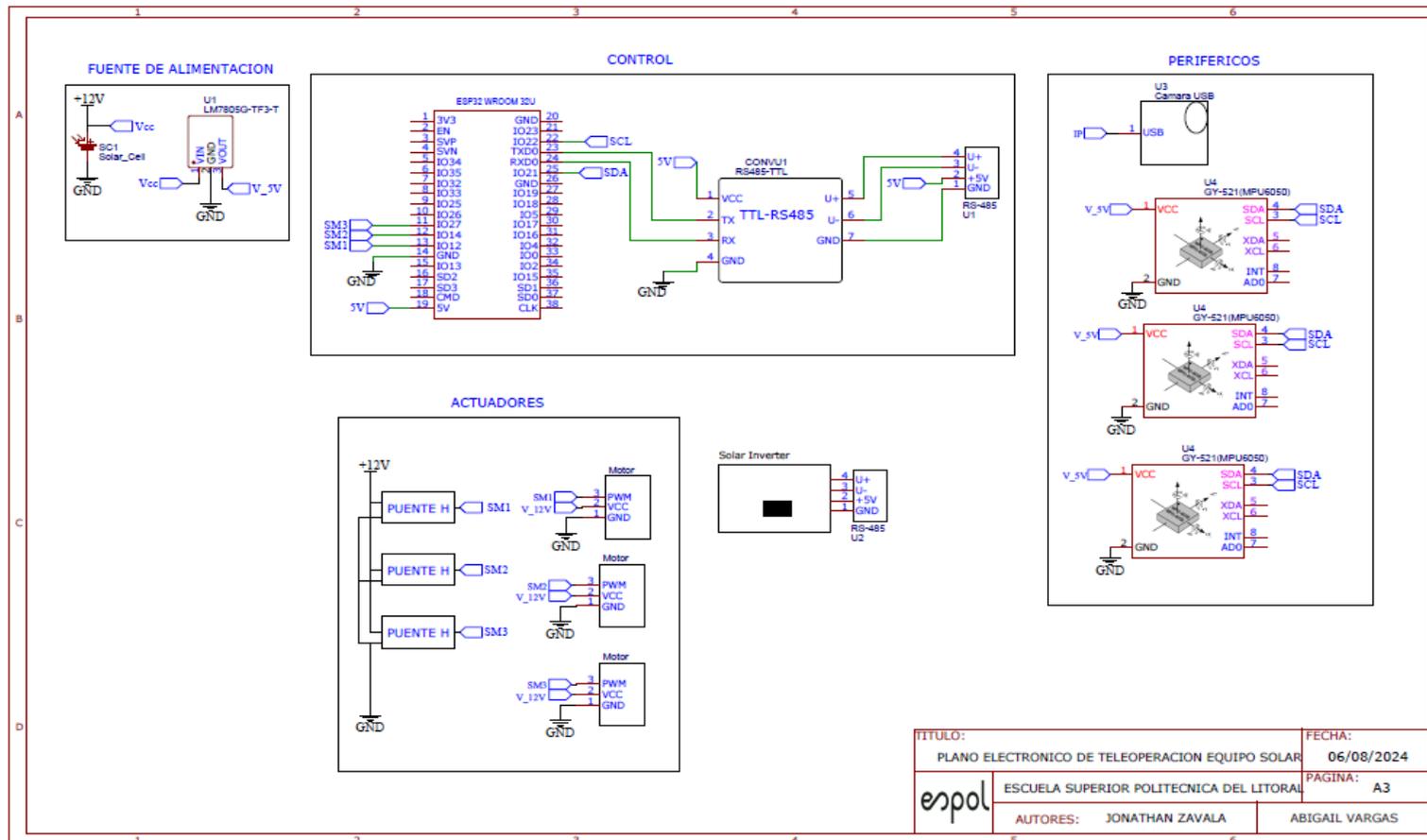
La estructura del sistema de control electrónico se basa en la integración del microcontrolador ESP32 WRoom 32U con diversos componentes electrónicos, que permiten tanto la adquisición de datos como el control de actuadores. La Figura 3.1 ilustra la conexión entre los componentes clave, que incluye sensores, actuadores, y módulos de comunicación.

- **ESP32 WRoom 32U:** Actúa como el controlador central del sistema. Este microcontrolador está configurado para leer los datos de sensores (como voltaje, corriente, y posición del panel) y enviar comandos a los actuadores (actuadores lineales) para ajustar la posición de los paneles solares en tiempo real.
- **Sensores de Corriente y Voltaje:** Estos sensores están conectados al ESP32 para medir continuamente los niveles de corriente y voltaje generados por los paneles solares. Los datos capturados son enviados a Firebase para su almacenamiento y monitoreo en tiempo real.

- **Actuadores Lineales:** Los actuadores se conectan a través de un puente H para recibir las señales de control que ajustan el ángulo de inclinación de los paneles solares. La configuración del puente H permite controlar el sentido y la velocidad del movimiento de los actuadores.
- **Módulo de Comunicación WiFi/Bluetooth:** Integrado en el ESP32, permite la comunicación en tiempo real con la base de datos de Firebase, garantizando que los datos capturados por los sensores y las instrucciones de control se actualicen y sincronicen de manera continua.

Figura 3.1.

Conexión de los componentes electrónicos



3.1.2 Arquitectura en Firebase

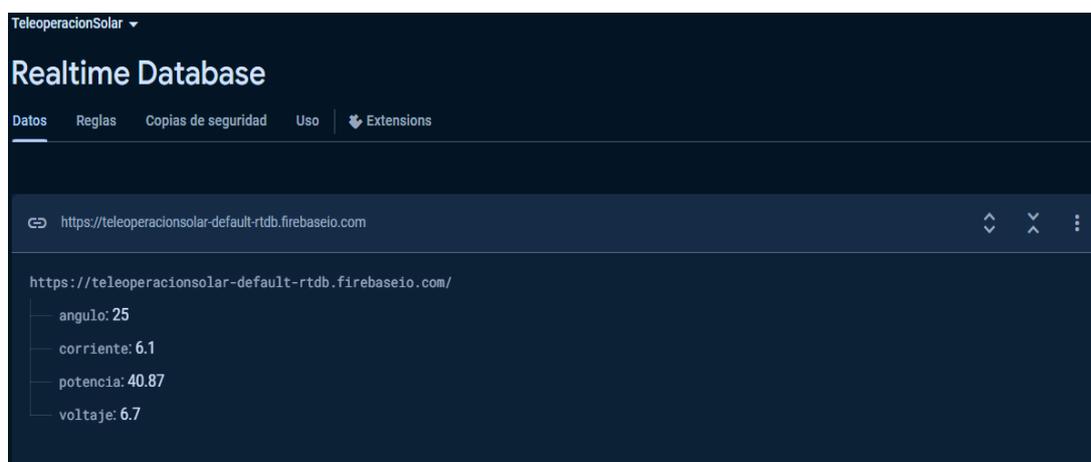
Firebase es una plataforma central en este proyecto, utilizada para el almacenamiento y sincronización de datos en tiempo real, así como para el control de acceso y la seguridad del sistema. La configuración y arquitectura de Firebase garantizan una comunicación eficiente entre los diferentes componentes del sistema y la interfaz de usuario.

3.1.2.1 Configuración de la base de datos en tiempo real

La configuración de la base de datos en tiempo real en Firebase comienza con la creación y configuración del proyecto en Firebase Console. Una vez creado el proyecto, se habilita la opción de Realtime Database, lo que permite el almacenamiento y sincronización de datos en tiempo real entre todos los dispositivos conectados. Este proceso incluye la definición de la estructura inicial de la base de datos, que, en este caso, contempla la creación de nodos para almacenar datos clave como el ángulo de inclinación del panel solar, la corriente, la potencia generada, y el voltaje medido.

Figura 3.2.

Estructura de la base de datos del proyecto



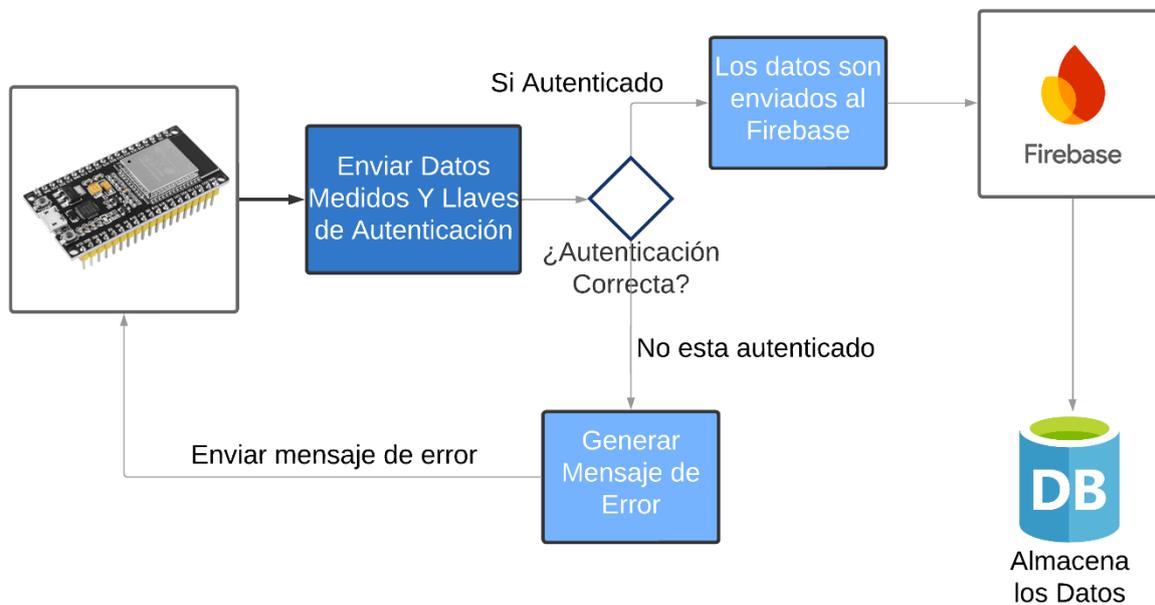
La Figura 3.2 muestra la estructura de la base de datos configurada en Firebase. Se pueden observar los nodos principales que almacenan los datos del sistema, tales como el ángulo de inclinación, la corriente, la potencia generada, y el voltaje. Esta estructura permite una sincronización eficiente de datos en tiempo real.

La integración del microcontrolador ESP32 con Firebase es fundamental para que el sistema pueda enviar y recibir datos de manera eficiente. Esta integración se realiza configurando el ESP32 para que se conecte a Firebase mediante la `apiKey`, `authDomain`, y `databaseURL` proporcionados por Firebase. Una vez que la conexión está establecida, el ESP32 puede enviar datos en tiempo real a la base de datos, como las lecturas de los sensores de corriente y voltaje, y recibir instrucciones para ajustar la inclinación del panel solar

Cada vez que el ESP32 recoge nuevas lecturas de los sensores, estos datos se envían directamente a la base de datos y se almacenan bajo las etiquetas correspondientes. La página web puede leer estos datos en tiempo real y reflejarlos en la interfaz de usuario, permitiendo actualizaciones instantáneas sin necesidad de recargar la página. Esto es posible gracias a la arquitectura de Firebase, que gestiona la sincronización de datos entre el servidor y los clientes de manera eficiente.

Figura 3.3.

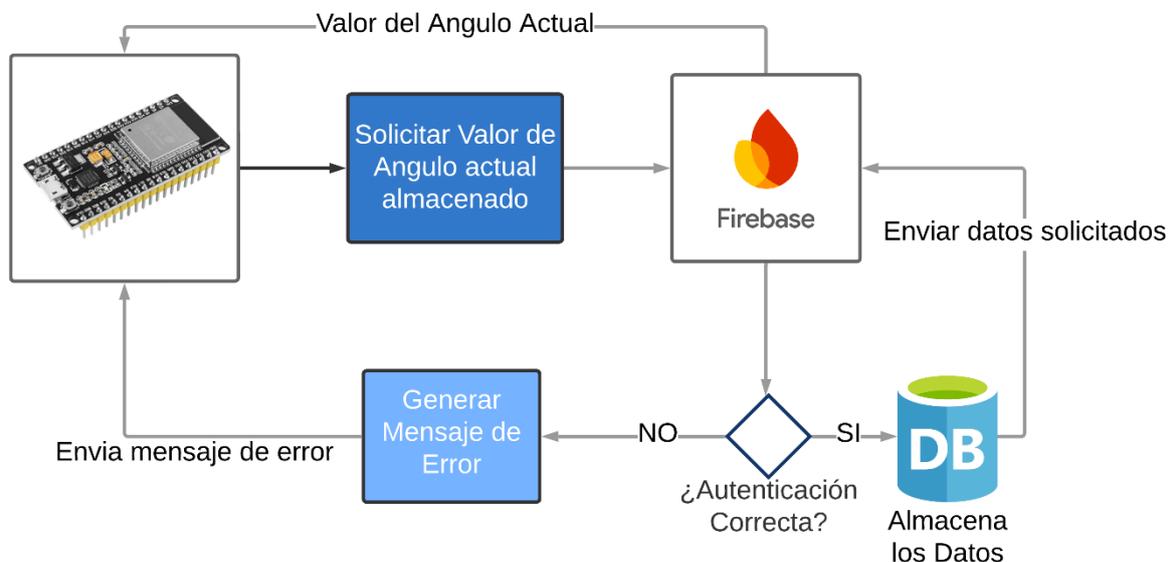
Proceso para almacenar datos medidos por los sensores



La Figura 3.3 ilustra el proceso de almacenamiento de datos medidos por los sensores en la base de datos de Firebase. Muestra cómo los datos se envían desde el microcontrolador ESP32 hacia la base de datos en tiempo real, y cómo estos datos se organizan y almacenan en los nodos definidos.

Figura 3.4.

Proceso para controlar movimiento del panel

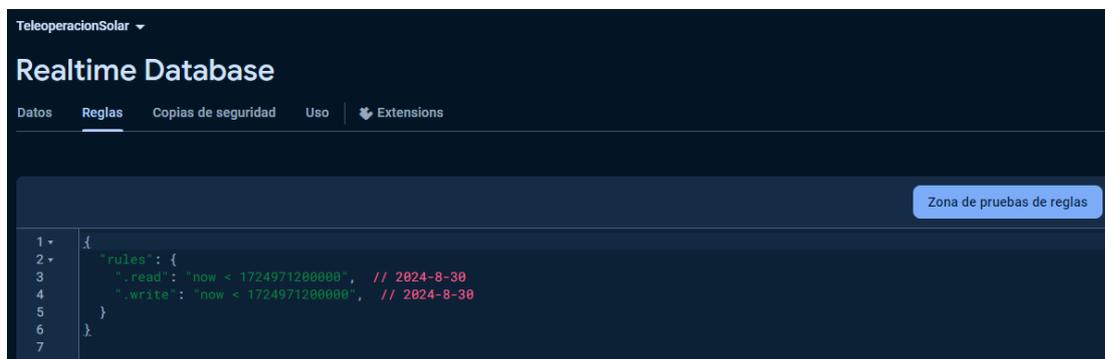


La Figura 3.4 presenta el proceso mediante el cual se controla el movimiento del panel solar. Este diagrama describe cómo las instrucciones para ajustar la inclinación del panel se envían desde la base de datos a los actuadores lineales a través del ESP32.

Para garantizar que solo usuarios autorizados puedan acceder y modificar los datos, Firebase permite la configuración de reglas de acceso basadas en JSON. Estas reglas de seguridad aseguran que solo el ESP32 y los usuarios autenticados puedan interactuar con la base de datos, protegiendo así los datos del sistema.

Figura 3.5.

Consola para configuración de las reglas de la base de datos



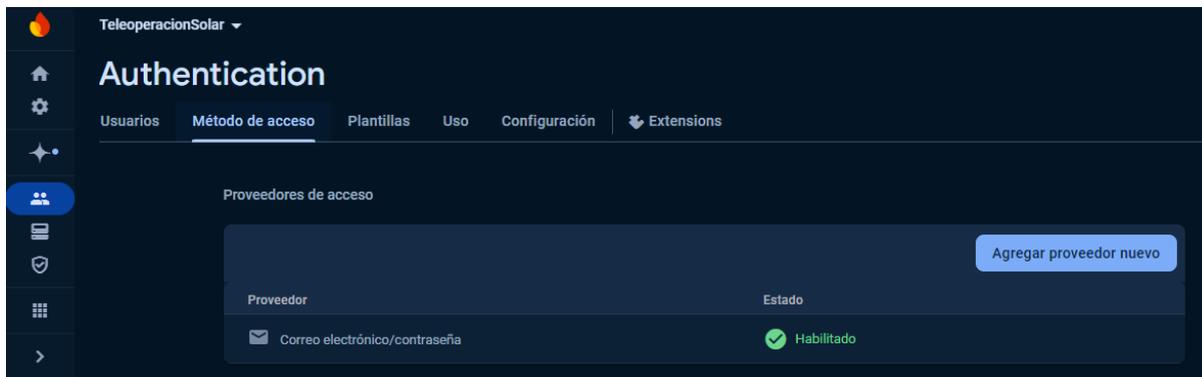
La Figura 3.5 muestra la consola de configuración de las reglas de la base de datos en Firebase. Aquí se definen las reglas que controlan el acceso a los datos, permitiendo que solo los dispositivos y usuarios autorizados puedan leer o escribir en la base de datos.

3.1.2.2 Sistema de autenticación

La seguridad y autenticación son componentes esenciales en cualquier sistema que maneje datos sensibles. Firebase facilita la gestión de usuarios mediante su sistema de autenticación integrado, el cual permite verificar la identidad de los usuarios a través de correo electrónico, contraseñas y otros métodos de autenticación segura. Esta capa de seguridad garantiza que solo usuarios autorizados puedan acceder y modificar la información almacenada en la base de datos, protegiendo así la integridad del sistema.

Figura 3.6.

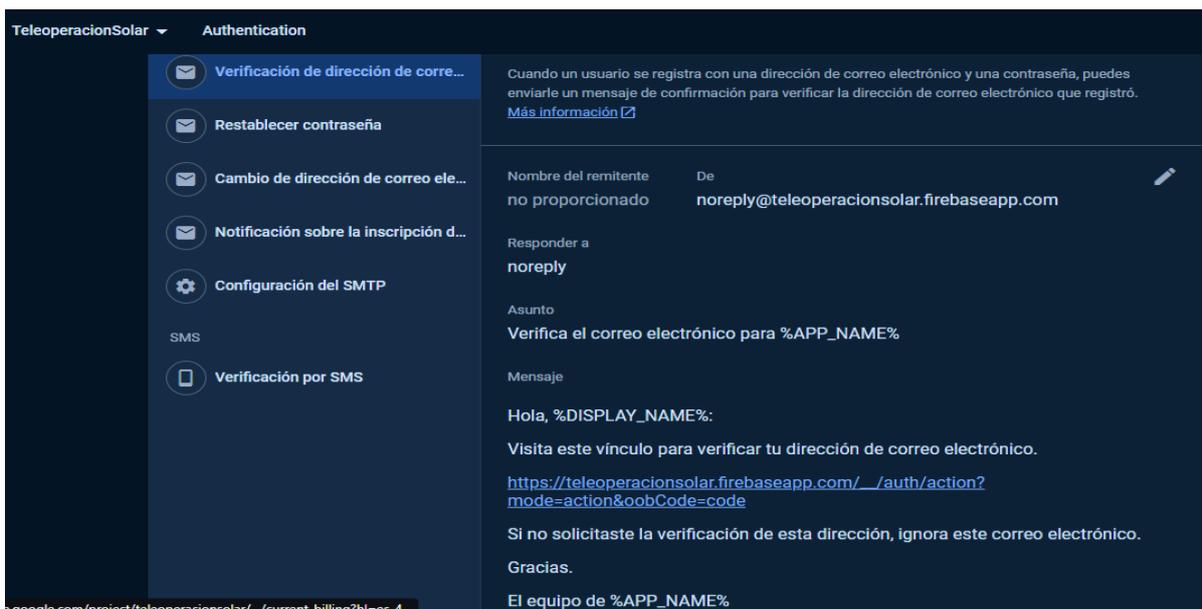
Ventana de método de acceso a autenticación de usuario



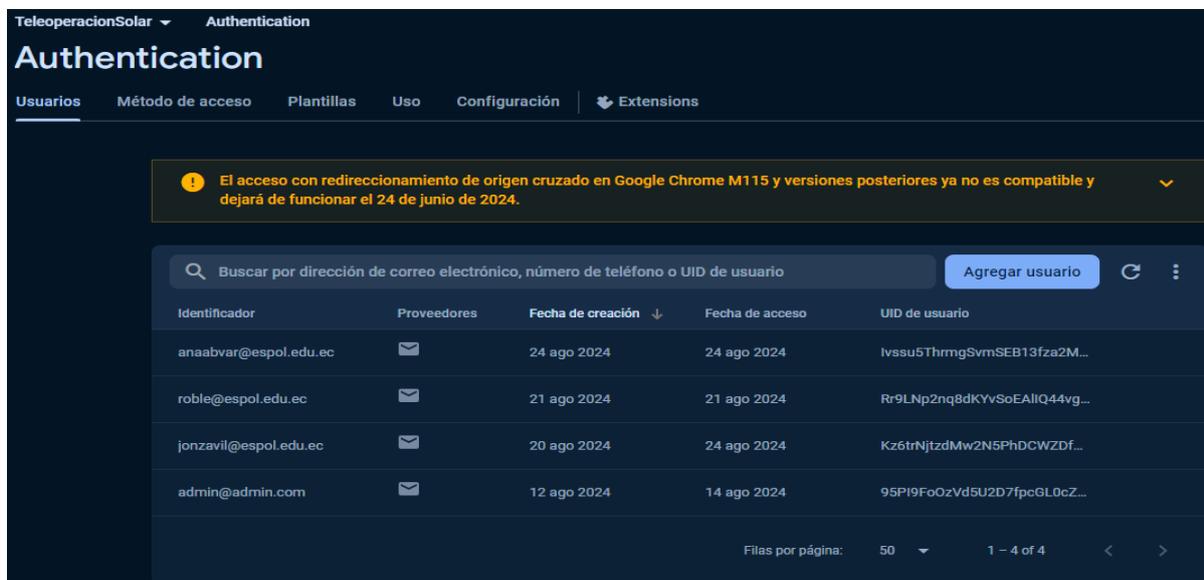
La Figura 3.6 ilustra la ventana de métodos de acceso a la autenticación de usuario en Firebase. Muestra los diferentes métodos disponibles para que los usuarios inicien sesión en el sistema de manera segura.

Figura 3.7.

Las plantillas de correos para control de usuario que nos permite usar



La Figura 3.7 presenta las plantillas de correos electrónicos utilizadas para la gestión de usuarios, incluyendo la verificación de cuentas y recuperación de contraseñas.

Figura 3.8.*Lista de usuarios registrados*


The screenshot shows the 'Authentication' section of a web application. At the top, there is a navigation bar with 'TeleoperacionSolar' and 'Authentication'. Below this, the 'Authentication' title is displayed, followed by a menu with 'Usuarios', 'Método de acceso', 'Plantillas', 'Uso', 'Configuración', and 'Extensions'. A yellow warning banner at the top states: 'El acceso con redireccionamiento de origen cruzado en Google Chrome M115 y versiones posteriores ya no es compatible y dejará de funcionar el 24 de junio de 2024.' Below the banner is a search bar with the text 'Buscar por dirección de correo electrónico, número de teléfono o UID de usuario' and a blue 'Agregar usuario' button. The main content is a table with the following columns: 'Identificador', 'Proveedores', 'Fecha de creación', 'Fecha de acceso', and 'UID de usuario'. The table contains four rows of user data. At the bottom right, there is a pagination control showing 'Filas por página: 50' and '1 - 4 of 4'.

Identificador	Proveedores	Fecha de creación ↓	Fecha de acceso	UID de usuario
anaabvar@espol.edu.ec	✉	24 ago 2024	24 ago 2024	lvssu5ThrmgSvmSEB13fza2M...
roble@espol.edu.ec	✉	21 ago 2024	21 ago 2024	Rr9LNp2nq8dKYvSoEAliQ44vg...
jonzavil@espol.edu.ec	✉	20 ago 2024	24 ago 2024	Kz6trNjtzdMw2N5PhDCWZdf...
admin@admin.com	✉	12 ago 2024	14 ago 2024	95PI9FoOzVd5U2D7fpc6L0cZ...

La Figura 3.8 muestra una lista de usuarios registrados en el sistema, permitiendo la gestión y visualización de los usuarios activos.

3.1.2.3 Interfaz web

La interfaz web del sistema se ha desarrollado utilizando Vue 3 y proporciona una plataforma intuitiva y eficiente para la gestión remota de los equipos de generación fotovoltaica.

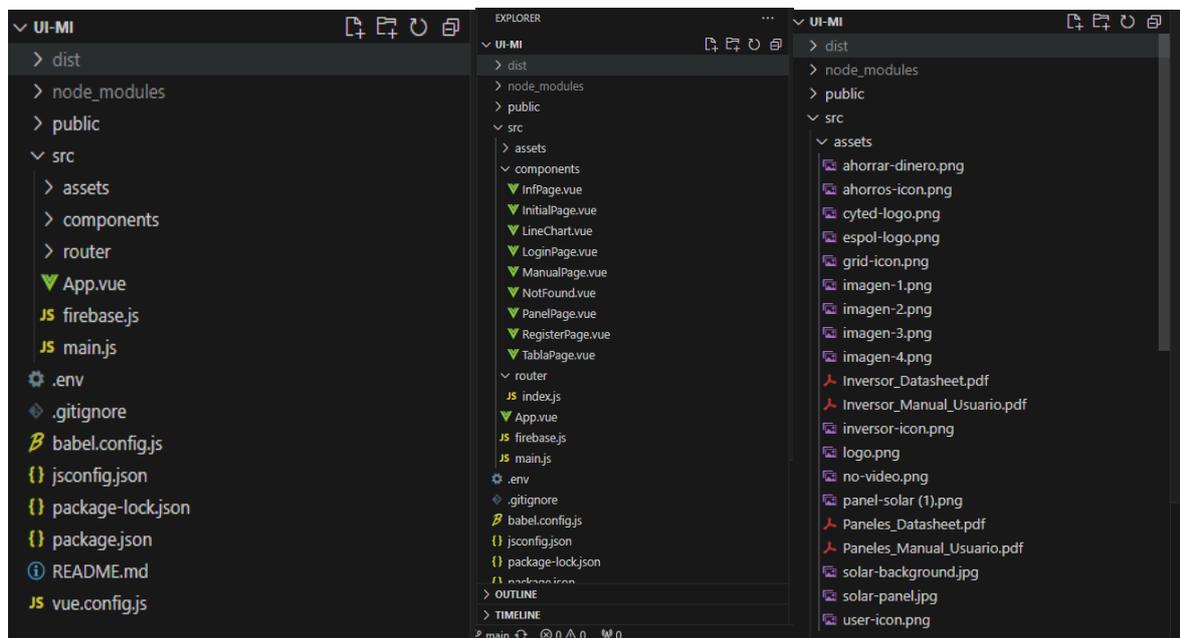
3.1.2.4 Estructura del proyecto en Vue 3.

El proyecto web desarrollado en Vue 3 ofrece una arquitectura modular que facilita la gestión y sincronización de datos en tiempo real con Firebase. Cada componente de la aplicación, como la tabla de datos y el panel de monitoreo, se ha separado en módulos independientes, mejorando la manejabilidad y la reutilización del código. La capacidad reactiva de Vue 3 permite que las actualizaciones de datos sean instantáneas al ocurrir un cambio en la

base de datos, brindando a los usuarios una experiencia sin pérdida de conexión o retrasos perceptibles.

Figura 3.9.

Árbol de estructura de carpetas y archivos del proyecto

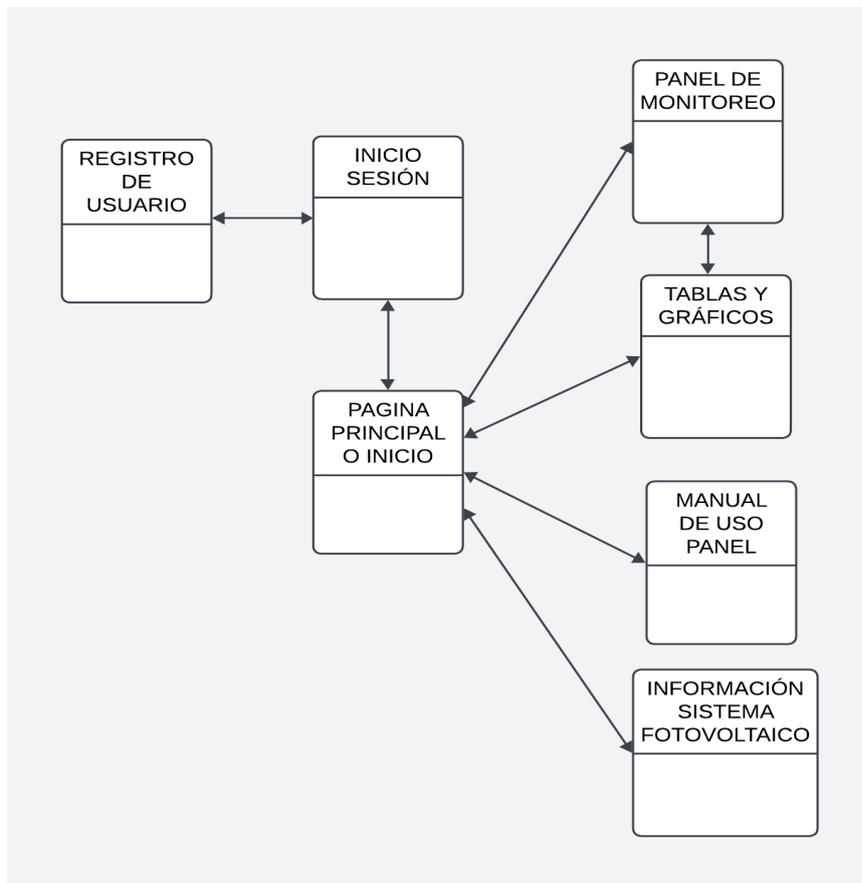


La Figura 3.9 presenta el árbol de estructura de carpetas y archivos del proyecto en Vue 3. Esta estructura modular facilita la organización del código y la gestión de los componentes de la aplicación web.

La aplicación web emplea la reactividad de Vue 3 para sincronizar datos en tiempo real con Firebase, permitiendo actualizaciones instantáneas en la interfaz de usuario. Se ha diseñado una interfaz intuitiva, rápida y eficiente que permite iniciar sesión, acceder al control remoto, monitoreo, y visualización de datos guardados. El flujo entre componentes se organiza de la siguiente manera:

Figura 3.10.

Flujograma de las vistas de la interfaz web



La Figura 3.10 ilustra el flujo entre las diferentes vistas de la interfaz web. Muestra cómo los usuarios navegan a través de las distintas secciones de la aplicación, como el panel de monitoreo, gráficos, tablas, manual de uso e información del sistema.

3.1.3 Componentes de la aplicación web

El sistema de teleoperación utiliza una página web para la gestión remota del equipo de generación fotovoltaica, con las siguientes secciones:

- **Página de Login:** Permite el acceso a la plataforma mediante un correo institucional y contraseña. Incluye opciones para registro y recuperación de contraseñas.

Figura 3.11.

Vista de la Página de Login

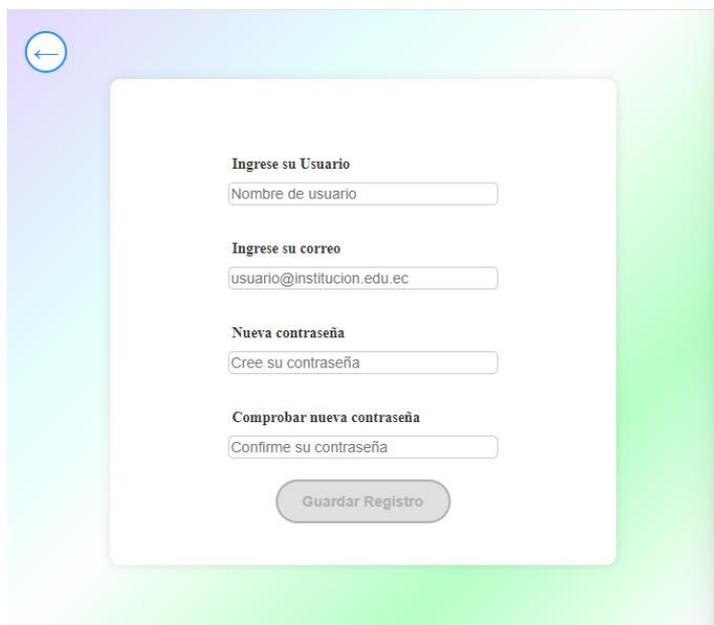


La Figura 3.11 muestra la vista de la página de inicio de sesión, donde los usuarios ingresan sus credenciales para acceder al sistema.

- **Página de Registro de Usuario:** Permite a nuevos usuarios registrarse con un correo institucional y una contraseña segura. Incluye autenticación por correo electrónico para activar la cuenta.

Figura 3.12

Vista de Página de Registro de Usuario



Formulario de registro de usuario con los siguientes campos:

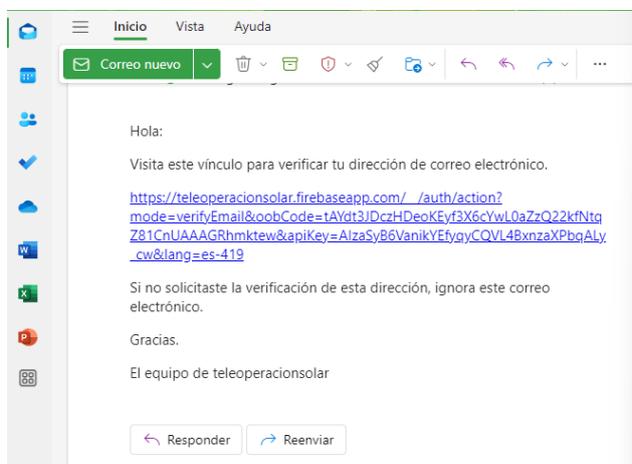
- Ingrese su Usuario:** Nombre de usuario
- Ingrese su correo:** usuario@institucion.edu.ec
- Nueva contraseña:** Cree su contraseña
- Comprobar nueva contraseña:** Confirme su contraseña

Botón: Guardar Registro

La Figura 3.12 presenta el formulario de registro para nuevos usuarios, incluyendo los campos necesarios y el proceso de activación de cuenta.

Figura 3.13.

Correo de verificación de cuenta



La Figura 3.13 muestra el correo electrónico de verificación enviado a los nuevos usuarios para activar sus cuentas.

- Vista Principal de la Interfaz Web: Una vez verificada la cuenta, los usuarios pueden acceder a la sección principal de la interfaz, que incluye un panel de monitoreo, gráficos y tablas, manual de uso, e información del sistema.

Figura 3.14.

Vista principal de la interfaz web



La Figura 3.14 ilustra la vista principal de la interfaz web, mostrando el diseño y los elementos principales de la aplicación.

Figura 3.15.

Vista del panel de control de movimiento y monitoreo de datos



La Figura 3.15 presenta el panel de control y monitoreo de datos, donde se visualizan parámetros eléctricos y se controla el movimiento de los paneles solares. En la parte derecha se muestran recuadros para mostrar valores importantes como corriente, voltaje, potencia y demás. Estos datos se obtienen desde el inversor y de la ficha de los paneles, se considerándose importantes para las prácticas de laboratorios, los parámetros eléctricos se dan en tiempo real. El botón de “Guardar Valores” permite capturar los parámetros eléctricos del inversor y ángulos de inclinación. En la parte derecha se encuentra una vista de cámara para conectar en tiempo real video de movimiento de paneles, debajo está el control de inclinación, con un rango de 0 a 23 grados, se mueven los actuadores lineales de los 3 paneles viendo reflejada la medida de ángulos obtenida por los sensores de giroscopio.

- Sección de Gráficas y Tablas: Proporciona herramientas para visualizar los datos capturados, generar gráficos, y gestionar los registros. Los datos se pueden imprimir para generar informes de prácticas de laboratorio.

Figura 3.16.

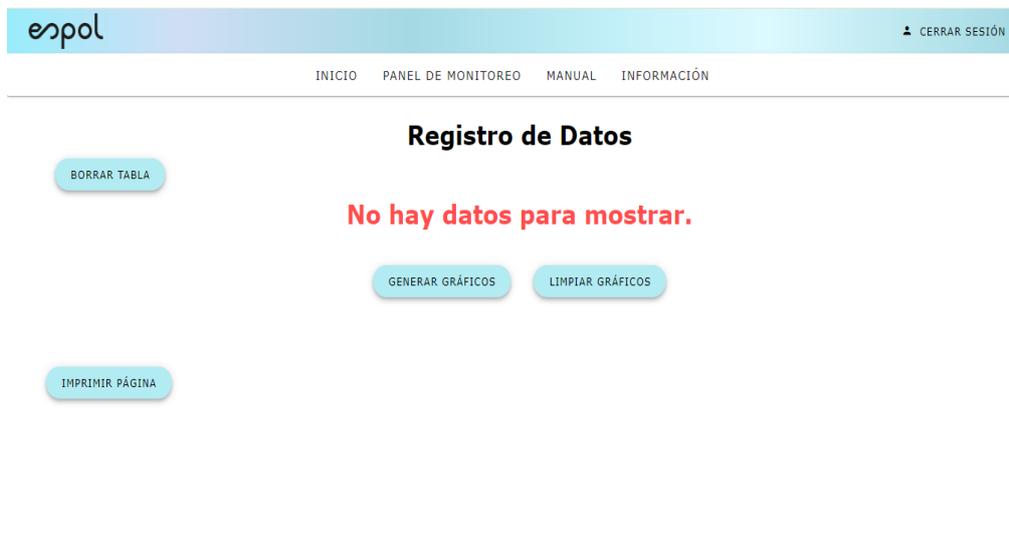
Acceso a gráficos y tablas desde panel de monitoreo y página de inicio



La Figura 3.16 muestra cómo acceder a las secciones de gráficos y tablas desde el panel de monitoreo y la página de inicio de la aplicación web. Dentro de la sección de gráficos y tablas, se encuentran varios botones que permiten realizar diferentes acciones: regresar a la página de inicio, visualizar la tabla de registro de datos, limpiar el contenido de la tabla, generar gráficos y eliminar gráficos existentes. También es posible eliminar valores de forma individual. Además, existe una opción para imprimir todos los datos presentados, lo que facilita la creación de reportes.

Figura 3.17.

Vista de tablas y gráficos sin datos que presentar



La Figura 3.17 ilustra la vista de las tablas y gráficos antes de que se ingresen datos. En esta etapa, no se presentan gráficos ya que no hay datos registrados.

Una vez que se capturan los datos, como se muestra en la Figura 3.18, la tabla se llena automáticamente con la información registrada. Después, usando el botón "Graficar", se generan gráficos que representan los datos de voltaje, corriente y potencia producida, como se observa en la Figura 3.19.

La Figura 3.20 muestra la función de impresión disponible para tablas y gráficos, útil para generar reportes de prácticas de laboratorio. Esta característica permite imprimir tanto los datos como los gráficos generados, facilitando la documentación de los resultados obtenidos.

Figura 3.18.

Tabla de datos con datos registrados

Ángulo	Voltaje	Corriente	Potencia	Fecha	Hora	Acciones
0	0.5	6.4	3.2	24/8/2024	9:11:06 p. m.	Eliminar
2	7.5	6.1	45.75	24/8/2024	9:11:11 p. m.	Eliminar
4	5.2	8.6	44.72	24/8/2024	9:11:14 p. m.	Eliminar
6	1.7	6.1	10.37	24/8/2024	9:11:16 p. m.	Eliminar
8	1.7	6.1	10.37	24/8/2024	9:11:18 p. m.	Eliminar
10	8.7	2.1	18.27	24/8/2024	9:11:21 p. m.	Eliminar
12	3.2	0.1	0.32	24/8/2024	9:11:23 p. m.	Eliminar
14	0.3	8.2	2.46	24/8/2024	9:11:26 p. m.	Eliminar
16	5.8	4.1	23.78	24/8/2024	9:11:28 p. m.	Eliminar
18	2.5	4.5	11.25	24/8/2024	9:11:31 p. m.	Eliminar
20	1.4	7.9	11.06	24/8/2024	9:11:33 p. m.	Eliminar
22	0	3.9	0	24/8/2024	9:11:36 p. m.	Eliminar
24	0	2.0	0	24/8/2024	9:11:38 p. m.	Eliminar

Figura 3.19.

Gráficos generados por los datos de la tabla para cada valor medido

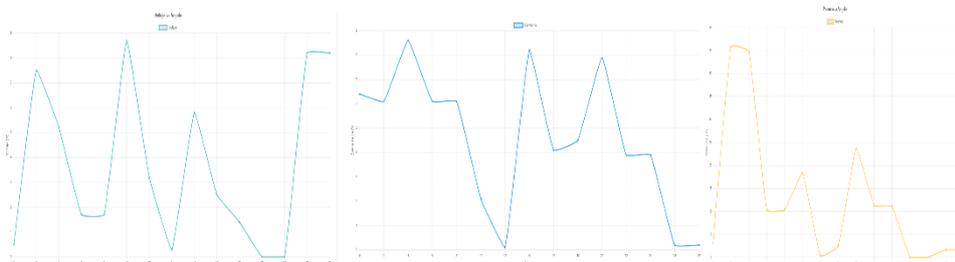


Figura 3.20.

Función de impresión de tablas y gráficos para reporte de prácticas de laboratorio

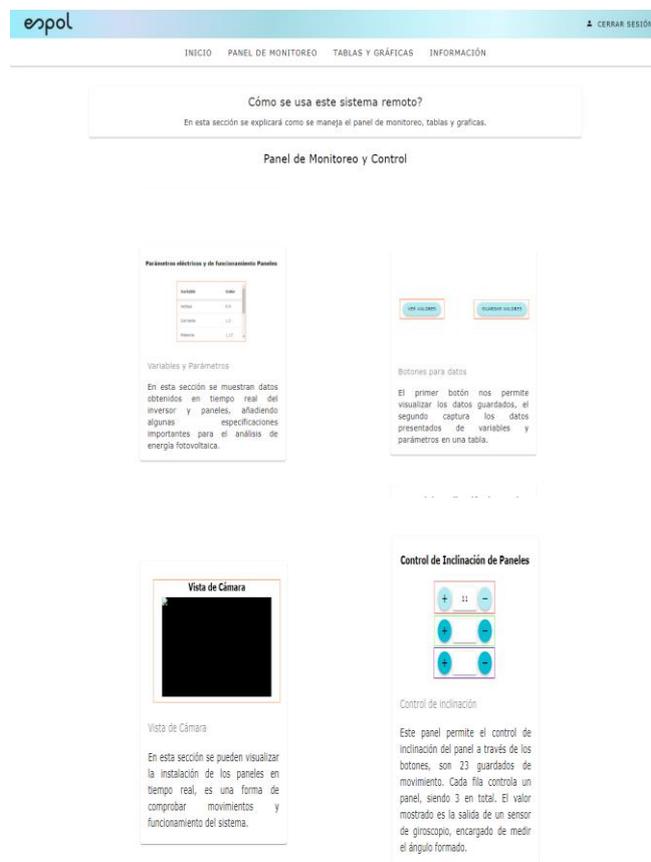
The screenshot shows a software interface for generating a report. On the left, there is a graph showing Power (W) vs. Angle. In the center, a table titled "Registro de Datos" displays the recorded data. On the right, a print settings panel is visible, including options for "Destino" (Microsoft Print to PDF), "Páginas" (Todo), "Diseño" (Vertical), and "Color" (Color). Buttons for "Imprimir" and "Cancelar" are at the bottom.

Ángulo	Voltaje	Corriente	Potencia	Fecha	Hora	Acciones
0	0.5	6.4	3.2	24/8/2024	9:11:06 p. m.	Eliminar
2	7.5	6.1	45.75	24/8/2024	9:11:11 p. m.	Eliminar
4	5.2	8.6	44.72	24/8/2024	9:11:14 p. m.	Eliminar
6	1.7	6.1	10.37	24/8/2024	9:11:16 p. m.	Eliminar
8	1.7	6.1	10.37	24/8/2024	9:11:18 p. m.	Eliminar
10	8.7	2.1	18.27	24/8/2024	9:11:21 p. m.	Eliminar
12	3.2	0.1	0.32	24/8/2024	9:11:23 p. m.	Eliminar
14	0.3	8.2	2.46	24/8/2024	9:11:26 p. m.	Eliminar
16	5.8	4.1	23.78	24/8/2024	9:11:28 p. m.	Eliminar
18	2.5	4.5	11.25	24/8/2024	9:11:31 p. m.	Eliminar
20	1.4	7.9	11.06	24/8/2024	9:11:33 p. m.	Eliminar
22	0	3.9	0	24/8/2024	9:11:36 p. m.	Eliminar
24	0	2.0	0	24/8/2024	9:11:38 p. m.	Eliminar

La aplicación web desarrollada proporciona una plataforma integral para el monitoreo y control remoto de un sistema de energía fotovoltaica. Entre las funciones más destacadas se encuentran: la visualización en tiempo real de datos cruciales para fines educativos, la capacidad de ajustar el ángulo de inclinación de los paneles solares conforme a los requerimientos del usuario, y la opción de almacenar y procesar datos específicos. Estas herramientas son fundamentales para analizar el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo, facilitando tanto la comprensión de su comportamiento como la optimización de su uso en contextos educativos y operativos.

Figura 3.21.

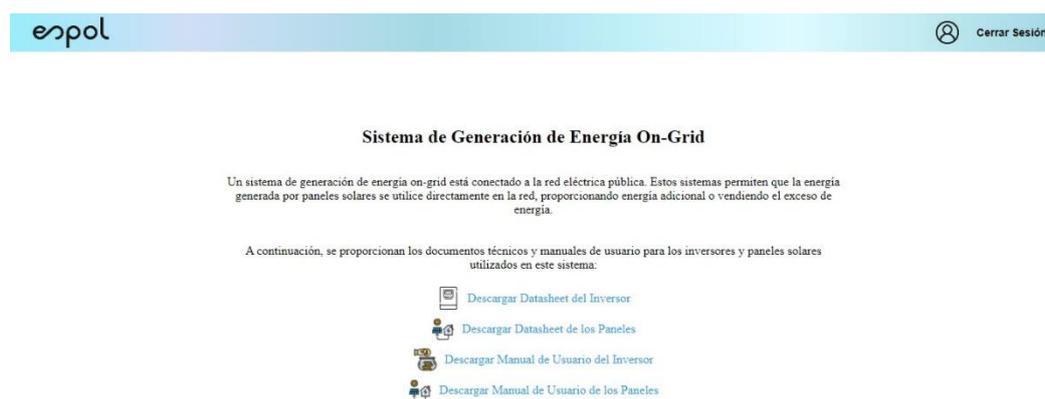
Vista del Manual de uso de la interfaz web



La Figura 3.21 muestra una vista del Manual de Uso de la interfaz web. Esta sección detalla el manejo del panel de control, donde se visualizan los datos en tiempo real y se realizan ajustes para modificar la inclinación del panel, explicando de dónde se obtiene cada información y cómo se utilizan los distintos controles.

Figura 3.22.

Vista de especificaciones del equipo a teleoperar



En la Figura 3.22, se presenta la vista de las especificaciones del equipo a teleoperar. Esta sección proporciona las hojas de datos de los componentes clave, como el panel solar y el inversor. Además, se pueden agregar más especificaciones según las necesidades específicas de cada práctica de laboratorio.

3.1.4 Análisis de costos

El análisis de costos se centra en los gastos asociados con el desarrollo e implementación de un sistema de teleoperación para tres paneles solares utilizando un microcontrolador ESP32, un inversor, giroscopios, y la plataforma Firebase. Los costos se dividen en tres categorías principales: inversión inicial, costos fijos, y costos variables, ajustados al contexto del proyecto.

3.1.4.1 Costos de Inversión Inicial

Los costos de inversión inicial incluyen todos los gastos necesarios para adquirir los componentes clave del sistema, así como las licencias de software y los servicios de instalación y configuración. Estos elementos son fundamentales para asegurar que el sistema funcione de manera efectiva desde el principio.

Tabla 3.1

Inversión inicial para usar sistema de teleoperación

Ítem	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio Total (USD)
Microcontrolador ESP32(3 unidades)	3	\$15	\$45
Giroscopios	3	\$5	\$15
Actuador Lineal	3	\$12	\$36
Paneles Solares	3	\$200	\$600
Inversor	1	\$1000	\$1000
Instalación y Configuración	2	\$100	\$200
Programador full stack	1	\$1000	\$1000
Computadoras	1	\$250	\$250
	Total		\$3146,00

Como describe la Tabla 3.1 costo total cubre todos los elementos necesarios para poner en marcha el sistema de teleoperación y garantizar su funcionamiento eficiente.

3.1.4.2 Costos Fijos

Los costos fijos corresponden a los gastos recurrentes necesarios para mantener el sistema de teleoperación de equipos de energía solar en funcionamiento de manera continua y eficiente a largo plazo. Estos costos son esenciales para garantizar la operatividad del sistema, minimizando el riesgo de interrupciones que podrían afectar tanto el acceso remoto como la integridad de los datos y el hardware. A continuación, se detalla un análisis de los principales componentes de los costos fijos asociados al sistema:

Tabla 3.2*Tabla de costos fijos mensual y anual*

Ítem	Descripción	Costo (USD)
Servicio de Internet	Conexión a internet para que el ESP32 se comunique continuamente con Firebase y permita el acceso remoto al sistema.	\$25,00/mes
Mantenimiento de Hardware	Reemplazo y reparación de componentes clave como los sensores, giroscopios, y actuadores.	\$100,00/año
Hosting del Sitio Web	Alojamiento de la aplicación web que proporciona la interfaz de usuario para controlar y monitorear el sistema solar.	\$10,00\$/mes
Total Mensual		\$43,00/mes
Total Anual		\$520,00/año

En la Tabla 3.2 los costos fijos mensuales ascienden a \$43,00, mientras que los costos anuales totalizan \$520,00. Estos costos están diseñados para cubrir las necesidades esenciales del sistema de teleoperación, asegurando una operación continua y sin interrupciones. El servicio de internet y el hosting del sitio web son fundamentales para la conectividad remota y el monitoreo en tiempo real, mientras que el mantenimiento de hardware es crucial para preservar la integridad y funcionalidad del equipo.

3.1.4.3 Costos Variables

Los costos variables dependen del uso del sistema y pueden fluctuar según la intensidad de la operación, el consumo energético, y la cantidad de datos gestionados. Estos costos son importantes para prever los gastos adicionales que pueden surgir durante la operación del sistema de teleoperación. A continuación, se describen los costos variables:

Tabla 3.3

Tabla de costos variables

Ítem	Descripción	Costo Estimado (USD)
Consumo Energético	Energía utilizada por el microcontrolador ESP32, los sensores, giroscopios y el inversor durante la operación del sistema.	\$15,00/mes
Datos en la Nube (Firebase)	Costo adicional por el uso de almacenamiento y tráfico de datos en la nube, dependiendo del volumen de datos gestionados.	\$5,00/mes
Soporte Técnico	Asistencia técnica requerida para resolver problemas específicos o realizar actualizaciones en el sistema.	\$20,00/hora

Para la Tabla 3.3 los costos variables deben ser monitoreados y gestionados cuidadosamente para asegurar la sostenibilidad financiera del sistema de teleoperación. Un análisis detallado de los costos, tanto fijos como variables, es esencial para planificar de manera efectiva y asegurar la viabilidad a largo plazo del proyecto.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

1. El sistema desarrollado permite la teleoperación precisa de equipos de energía solar, incluyendo el ajuste de la inclinación de los paneles solares. Utilizando un microcontrolador ESP32, sensores de corriente y voltaje, y actuadores lineales, el sistema puede controlar y monitorizar de manera remota la inclinación de los paneles solares en tiempo real. La integración de estos componentes con la plataforma Firebase ha demostrado ser eficiente para la sincronización de datos y el control remoto.
2. La creación de una interfaz de usuario intuitiva con tecnologías web como Vue 3 ha permitido una gestión remota efectiva de los equipos de energía solar. La funcionalidad de inicio de sesión con control de acceso asegura que solo un usuario esté logueado a la vez, proporcionando una experiencia segura y organizada para la operación del sistema. Esto ha facilitado que los usuarios comprendan y estudien los conceptos de energía solar de manera práctica.
3. La implementación de una base de datos en tiempo real con Firebase permite almacenar y consultar datos obtenidos de los sensores de manera eficiente. Este sistema de almacenamiento no solo soporta la operación continua, sino que también facilita el análisis detallado del rendimiento de los equipos y el monitoreo del sistema en tiempo real, lo cual es crucial para optimizar el uso de los paneles solares.
4. Las pruebas y validaciones realizadas indican que el sistema de control de la inclinación de los paneles solares es preciso y responde adecuadamente a las instrucciones recibidas. Esto asegura un rendimiento óptimo del sistema, maximizando la eficiencia de captación de energía solar.

5. El análisis de costos demuestra que el sistema es financieramente sostenible. Los costos fijos (como el servicio de internet, mantenimiento de hardware y hosting del sitio web) y los costos variables (como el consumo energético y los datos en la nube) son manejables. Sin embargo, es necesario tener una gestión eficiente para asegurar la viabilidad del proyecto a largo plazo.

4.1.2 Recomendaciones

1. Se recomienda optimizar el uso de la red y el consumo energético ajustando la frecuencia de transmisión de datos y mejorando la eficiencia de los componentes electrónicos. Esto ayudará a reducir los costos operativos y prolongará la vida útil de los equipos.
2. Se sugiere implementar medidas de seguridad adicionales para proteger los datos almacenados en Firebase y asegurar la integridad del sistema. Esto puede incluir la encriptación de datos, autenticación de usuarios más robusta y monitoreo de actividades sospechosas.
3. Para mejorar la experiencia de los usuarios, se podrían agregar módulos educativos interactivos en la interfaz web que permitan simulaciones y análisis de datos. Además, incluir herramientas de análisis predictivo para identificar patrones de eficiencia en el uso de los paneles solares podría ser beneficioso.
4. Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo para los componentes del sistema es fundamental para prevenir fallos inesperados. Esto incluye la revisión periódica de los actuadores lineales, sensores, y la actualización del firmware del microcontrolador ESP32.
5. Es recomendable realizar evaluaciones periódicas del sistema para identificar posibles áreas de mejora. Esto puede incluir pruebas adicionales de precisión de los sensores y

actuadores, así como la optimización del código del software para mejorar la eficiencia y la velocidad de respuesta.

6. Proporcionar sesiones de capacitación y manuales de uso detallados para los usuarios del sistema puede aumentar la eficiencia operativa y reducir la necesidad de soporte técnico. También se sugiere crear un canal de soporte en línea para resolver dudas y problemas de manera rápida y eficiente.

Estas conclusiones y recomendaciones están dirigidas a optimizar el funcionamiento, seguridad y sostenibilidad del sistema de teleoperación para equipos de energía solar, asegurando su impacto positivo y utilidad práctica.

REFERENCIAS

- [1] N. Rathore, N. L. Panwar, F. Yettou, and A. Gama, “A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 42, no. 10, pp. 1200–1217, 2021, doi: 10.1080/01430750.2019.1592774.
- [2] N. Kannan and D. Vakeesan, “Solar energy for future world: - A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1092–1105, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>.
- [3] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2022*. International Information Administration, 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [4] M. Wiatros *et al.*, *Global Electricity Review 2023*, 4th ed. EMBER, 2023. [Online]. Available: https://ember-climate.org/app/uploads/2023/04/Global-Electricity-Review-2023_ES.pdf
- [5] U. Mehmood, “Contribution of renewable energy towards environmental quality: The role of education to achieve sustainable development goals in G11 countries,” *Renew. Energy*, vol. 178, pp. 600–607, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.118>.
- [6] M. Mahalik, H. Mallick, and H. Padhan, “Do educational levels influence the environmental quality? The role of renewable and non-renewable energy demand in selected BRICS countries with a new policy perspective,” *Renew. Energy*, vol. 164, pp. 419–432, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.090>.
- [7] E. Zambrano, *Diseño de un sistema de respaldo por energías renovables para la operación de una central hidroeléctrica, ubicada en el cantón de Pujilí provincia de Cotopaxi*. Universidad Indoamérica, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/5857/1/chango_masaquiza_william_vinicio.pdf

- [8] C. Sandoval, “Arreglos Fotovoltaicos Inteligentes con Modelo LFSR-Reconfigurable,” *Rev. Ing.*, vol. 30, no. 2, pp. 32–61, 2020, doi: 10.15517/ri.v30i2.39484.
- [9] S. Alarcón and S. Jaimes, *Sistema de teleoperación para un robot móvil diferencial de carga*. Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2023. [Online]. Available: <https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/25251/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] B. Iniguez, M. Arbulu, G. Arias, J. Mendez, R. Barreto, and J. Cornejo, “Interfaz de Usuario para Robot Móvil de Mantenimiento de Canaletas en Alturas 4.0 e Inclusión de Trabajo Seguro,” *AmITIC 2023 - 6th Congr. Int. en Intel. Ambient. Ing. Softw. y Salud Electron. y Movil*, 2023, doi: 10.1109/AmITIC60194.2023.10366375.
- [11] L. Aguilera and L. Becerra, “El uso de herramientas tic para el apoyo de los procesos de gestión en redes temáticas: caso red cyted iberincu,” *INNODOCT 2022*, vol. 2, no. 7, pp. 151–157, 2023, doi: 10.4995/inn2022.2023.15692.
- [12] B. Moreno and J. Daza, *Centro de investigación de energías renovables*. Universidad La Gran Colombia, 2023. [Online]. Available: <https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/8007d6ef-d2f7-444a-ad7f-6c4519948724/content>
- [13] L. Zuñiga and A. Valenzuela, “Vista de Educación en energías renovables desde el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS,” *Pensam. y Acción*, vol. 28, no. 28, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/11057/9331

- [14] J. Peralta, E. Delgado, and A. Quinteros, “Enseñanza para el desarrollo de la sostenibilidad energética en el hogar en zonas urbano – marginales de la ciudad de Guayaquil,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 16, no. 2, pp. 188–198, 2020, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.366.
- [15] I. Pacheco, C. Fernández, and E. Pazzi, “Control y teleoperación de vehículo de guiado automático,” *RINDERESU*, vol. 7, no. 1–2, pp. 81–88, 2022, [Online]. Available: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/133>
- [16] R. Vidal del Cura, *Célula multi-robot para el montaje de una luminaria, basado en robots ABB controlados mediante un interface de Matlab, empleando el protocolo de comunicaciones OPC*. Universidad de Valladolid, 2022. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/53931>
- [17] J. Roldán, J. De León, P. Garcia, and A. Barrientos, “Una revisión de los sistemas multi-robot: Desafíos actuales para los operadores y nuevos desarrollos de interfaces,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 17, no. 3, pp. 294–305, 2020, doi: 10.4995/RIAI.2020.13100.
- [18] D. Calapaqui, *Diseño y simulación de un sistema de teleoperación de un robot humanoide NAO: sistema de teleoperación de un robot humanoide NAO*. Escuela Politécnica Nacional, 2023. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22544?locale=en>
- [19] N. AlQallaf, A. AlQallaf, and R. Ghannam, “Solar Energy Systems Design Using Immersive Virtual Reality: A Multi-Modal Evaluation Approach,” *Solar*, vol. 4, no. 2, pp. 329–350, 2024, doi: 10.3390/solar4020015.

[20] University of Central Florida, “College of Engineering and Computer Science Virtual and Remote Lab Resources,” *Pegasus Innovation Lab*, 2024.

<https://digitalllearning.ucf.edu/ilab/remote-labs/college-of-engineering-and-computer-science-remote-lab-resources/#virtual-labs>

[21] Stanford University, “Artificial Intelligence Teaching Guide,” *Teaching Commons*, 2022. <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/>