

Sistema de información para la recopilación y análisis de datos relacionados con los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrico y fotovoltaico para laboratorio de la universidad CESMAG

Maria Camila Rueda Prado, [mcrueda.3696@unicesmag.edu.co](mailto:mcrueda.3696@unicesmag.edu.co)

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de sistemas

Asesor:

Magda Fernanda Calvache Argoty, Magister en gestión de tics para la educación

Co-Asesor:

Francisco Javier Eraso Checa, Magister en Ingeniería

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de sistemas

Pasto – Nariño

2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

NOMBRE JURADO 1

---

NOMBRE JURADO 2

San Juan de Pasto, 2025

## NOTA DE EXCLUSIÓN

La autora de esta obra es la única responsable de las ideas expresadas en ella, y esta no refleja o no compromete la ideología de la Universidad CESMAG.

## **Dedicatoria**

Con todo mi amor y gratitud, dedico este proyecto a quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional, estando a mi lado en momentos de alegría y dificultad, secando mis lágrimas, brindándome su paciencia y alentándome a seguir adelante.

A Dios, por darme la fortaleza y las oportunidades necesarias para continuar mi camino, iluminando cada paso y recordándome que con fe y esfuerzo todo es posible. A mis padres, cuyo arduo trabajo y sacrificio hicieron posible que siguiera estudiando; gracias por su amor incondicional, por enseñarme a creer en mí y demostrarme que soy capaz de alcanzar cualquier meta. Nada de esto habría sido posible sin ustedes.

A mis padrinos, por su confianza inquebrantable en mí y su apoyo constante. A mi abuelita, mi segunda madre, por su amor, sus palabras sabias y su fortaleza, fuente de inspiración en mi vida. A mi novio, por compartir cada desvelo, ser mi refugio en los momentos de estrés, darme fuerzas cuando sentía que no podía más y brindarme esa paz mental que tanto necesitaba.

A la ingeniera Magda Calvache, por confiar en mí desde el primer momento, abrirme puertas y darme la oportunidad de seguir apoyando a mis padres mientras continuaba mis estudios. Al ingeniero Francisco Checa, por creer en mí y seguir apoyándome en mi desarrollo profesional con su orientación y palabras de aliento. A las jefas de mi mamá, por su generosidad y apoyo desinteresado, que significaron tanto en este camino.

## **Agradecimientos**

Con gratitud y reconocimiento, expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad CESMAG, por ser el pilar de mi formación académica y brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

A mi asesora de proyecto, Magda Calvache, y a mi CO-Asesor, Francisco Checa, por su invaluable guía y compromiso. Sus aportes, sugerencias y exigencia académica no solo enriquecieron este trabajo, sino que también me permitieron desarrollar un pensamiento crítico y analítico, fundamentales en mi crecimiento profesional.

A los profesores que, con su dedicación, paciencia y pasión por la enseñanza, marcaron mi camino hacia el conocimiento, inspirándome a superar desafíos y a seguir adelante con determinación. Su influencia ha sido clave en mi formación y en la construcción de las bases que hoy me permiten alcanzar mis metas.

## RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO RAE

**Facultad:** Ingeniería.

**Programa:** Ingeniería de Sistemas.

**Fecha de elaboración:** 25 de Marzo del 2025.

**Autores de la investigación:** Maria Camila Rueda Prado

**Asesor:** Magda Fernanda Calvache Argoty

**CO-Asesor:** Francisco Javier Eraso Checa

**Título de la investigación:** Sistema de información para la recopilación y análisis de datos relacionados con los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrico y fotovoltaico para laboratorio de la universidad CESMAG

### **Descripción:**

Ante el incremento del 43.1 % en el consumo de energía no renovable proyectado para 2026 (IEA), se desarrolló un sistema de información para la recopilación y análisis de datos en sistemas de generación hídrica y fotovoltaica. Este laboratorio virtual integra modelamiento teórico con sensores especializados como estaciones meteorológicas, medidores de voltaje y caudal, permitiendo la simulación y evaluación en tiempo real de parámetros técnicos como eficiencia, potencia y compatibilidad. Al superar los métodos tradicionales de enseñanza manual, el sistema se consolida como una herramienta educativa e investigativa que facilita el análisis técnico y empírico de procesos de generación renovable, fortaleciendo la formación en energías limpias y contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 y 11 mediante el diseño y aplicación de soluciones energéticas sostenibles.

### **Objetivos:**

El objetivo general de este proyecto es Implementar un software de recopilación y análisis de datos para los parámetros de evaluación de sistemas de generación hídrico y fotovoltaico en el laboratorio de la Universidad CESMAG

1. Recopilar los requerimientos del sistema para llevar a cabo una estructuración efectiva de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica de manera intuitiva y deductiva.

2. Desarrollar, con base en los requerimientos, un software de recopilación y análisis de datos que integre los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica.
3. Validar la efectividad del software mediante pruebas unitarias, de integración y funcionales.

El marco teórico del proyecto abarcó conceptos fundamentales técnicos y de formulación en sistemas de generación renovable, tanto fotovoltaicos como hídricos. Se consideraron aspectos como eficiencia, cálculo de potencia, manipulación de diversos componentes, junto con márgenes de error para garantizar precisión en los resultados.

La metodología adoptada se basó en un paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo que permitió medir relaciones entre variables mediante análisis numéricos. Se empleó un método científico, incluyendo formulación de hipótesis y recolección de datos, bajo un diseño cuasiexperimental que facilitó la manipulación de variables. La recopilación de información se realizó mediante entrevistas, análisis documental y sensores, centrándose en una estructura fotovoltaica y otra hídrica como población de estudio.

Para el desarrollo del sistema de información, se implementó la metodología ágil Scrum, lo que permitió adaptabilidad en los roles y tiempos. La recolección de datos se apoyó en dispositivos como la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2, sensores de voltaje ZMPT101B, módulos ESP32 y caudalímetros, integrados para monitorear los sistemas de generación en tiempo real.

Como resultado, se obtuvo una base de datos robusta capaz de gestionar grandes volúmenes de información, una interfaz intuitiva para usuarios sin experiencia técnica. El sistema permitió evaluar irradiancia, voltaje y caudal con precisión, facilitando la simulación y construcción de proyectos fotovoltaicos e hídricos funcionales.

En conclusión, el proyecto demostró que la integración de sensores, módulos electrónicos y estaciones meteorológicas optimiza el monitoreo de sistemas de generación renovable. La herramienta desarrollada resultó eficiente para la recolección y análisis de datos, beneficiando a estudiantes, investigadores y docentes al eliminar métodos manuales tradicionales. Esto no solo mejora la precisión, sino que también abre posibilidades para futuras investigaciones en el campo de las energías renovables.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
A. Objeto o Tema de Investigación.....	2
B. Línea de Investigación. ....	2
C. Sublínea de investigación.....	2
D. Planteamiento del problema. ....	2
E. Formulación del problema. ....	3
F. Objetivos .....	3
1) Objetivo general .....	3
2) Objetivos específicos.....	4
G. Justificación.....	4
H. Delimitación .....	5
II. TOPICOS DEL MARCO TEÓRICO .....	7
A. Antecedentes .....	7
1) Internacionales .....	7
a. Optimización de costos de generación de un sistema de microrred insular con generadores distribuidos y fuentes de energía renovables .....	7
b. Diseño de un sistema de generación microhidráulica basado en un tornillo de Arquímedes .....	8
2) Nacionales .....	10
a. Interfaz gráfica para la operación remota de un prototipo de generación de energía hidroeléctrica.....	10
b. Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos.....	13

3)	Regional .....	17
a.	Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de tecnología basada en silicio .....	17
b.	ALTERNAR: Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño .....	22
B.	Enunciado de supuestos teóricos de la investigación .....	25
1)	Generación hídrica .....	25
a.	Caudal del agua .....	26
b.	Turbina pelton .....	28
c.	Diámetro de la tubería de conducción .....	30
2)	Generación fotovoltaica .....	31
a.	Irradiancia solar .....	31
b.	Tipos de paneles solares .....	33
c.	Arreglos de paneles solares .....	35
3)	Parámetros de evaluación .....	36
a.	Eficiencia energética .....	36
1.	Eficiencia energética en sistemas de generación fotovoltaica .....	36
2.	Eficiencia energética en sistemas de generación hídrica .....	36
b.	Energía generada .....	36
1.	Energía generada en sistemas de generación fotovoltaica .....	36
2.	Energía generada en sistemas de generación hídrica .....	37
c.	Comparación de sistemas .....	37
C.	Variables de estudio .....	37
1)	Definición nominal de las variables .....	40
a.	Sistema fotovoltaico definición nominal .....	40
b.	Sistema hídrico definición nominal .....	42

2)	Definición operativa de variables.....	44
a.	Sistema fotovoltaico definición operativa.....	44
b.	Sistema hídrico definición operativa.....	47
D.	Formulación de hipótesis .....	49
1)	Hipótesis de investigación.....	49
2)	Hipótesis nula.....	49
3)	Hipótesis alterna.....	49
III.	METODOLOGÍA .....	50
A.	Paradigma.....	50
B.	Enfoque .....	50
C.	Método .....	50
D.	Tipo de investigación .....	50
E.	Diseño de investigación .....	51
F.	Población.....	51
G.	Muestra.....	52
H.	Técnicas de recolección de información .....	52
1)	Validez de las técnicas de recolección .....	52
2)	Confiabilidad de las técnicas de recolección.....	53
I.	Instrumentos de recolección de información .....	53
IV.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	54
A.	Recopilar los requerimientos del sistema.....	54
1)	Requerimientos funcionales separados por módulos. ....	54
a.	Autenticación y Registro:.....	54
b.	Creación de Proyectos:.....	55
c.	Creación de Componentes:.....	55

d.	Informes y Estadística: .....	56
2)	Implementación de metodología de desarrollo. ....	57
a.	Lista de Historias de Usuario .....	57
b.	Product Backlog .....	57
3)	Diagrama de Proceso.....	58
4)	Realización de Mockups. ....	59
5)	Modelo entidad relación.....	60
B.	Desarrollo del software .....	62
1)	Fórmulas de generación de energía.....	62
a.	Generación de energía Fotovoltaica.....	62
1.	Arreglo de paneles.....	62
2.	Potencia .....	62
3.	Área de panel.....	62
4.	Eficiencia paneles.....	63
5.	Banco de baterías .....	63
6.	Energía generada .....	63
b.	Generación de energía Hídrica.....	64
1.	Altura.....	64
2.	Eficiencia generador.....	65
3.	Energía generada .....	65
2)	Márgenes de error con diversos componentes. ....	65
a.	Margen de error de energía Fotovoltaica .....	65
1.	Capacidad del inversor .....	65
2.	Entradas del inversor .....	66
3.	Capacidad del regulador.....	67

b.	Margen de error de energía Hídrica .....	68
1.	Capacidad Generador .....	68
2.	Validación Presión .....	68
3.	Validación Área.....	68
4.	Validación Velocidad.....	68
3)	Implementación estación meteorológica Davis Vantage Pro2.....	69
a.	Integración con el Sistema de Información.....	69
b.	Desafíos y Soluciones en la Integración .....	70
c.	Optimización de la Visualización de Datos .....	73
4)	Calibración sensores de voltaje con módulo ESP32 IOT. ....	75
5)	Desarrollo e implementación del sistema de información .....	79
6)	Implementación del modelo de predicción LSTM.....	83
C.	Validar la efectividad del software.....	85
1)	Pruebas unitarias. ....	87
2)	Pruebas de integración .....	88
3)	Pruebas funcionales.....	89
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	91
A.	Comparación de datos. ....	92
1)	Sistema fotovoltaico 1.....	92
2)	Sistema fotovoltaico 2.....	95
3)	Sistema hídrico 1.....	99
B.	Análisis de respuesta. ....	103
	CONCLUSIONES .....	105
	RECOMENDACIONES .....	106

## LISTA DE TABLAS

TABLA I: VALORES DE POTENCIA GENERADA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA.....	10
TABLA II: DATOS DE AMPERAJE Y VOLTAJE CON CIELO DESPEJADO.....	14
TABLA III: DATOS DE AMPERAJE Y VOLTAJE CON CIELO NUBOSO .....	14
TABLA IV: PARÁMETROS A Y K PARA LAS TECNOLOGÍAS DE MÓDULOS SOLARES BASADAS EN SILICIO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	19
TABLA V CONVERSIÓN DE UNIDADES DE CAUDAL .....	27
TABLA VI LOS FACTORES C TÍPICOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO .....	28
TABLA VII CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 1.....	94
TABLA VIII REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 1 EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 11 REGISTROS) .....	95
TABLA IX ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA SISTEMA1 .....	95
TABLA X CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 2.....	98
TABLA XI REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 2 EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 10 REGISTROS) .....	98
TABLA XII ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA SISTEMA2 .....	99
TABLA XIII CARACTERÍSTICAS DE GENERADOR DE ENERGIA .....	101
TABLA XIV CARACTERÍSTICAS DE MOTOBOMBA.....	101
TABLA XV REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA HIDRICO EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 10 REGISTROS).....	102
TABLA XVI ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN HIDRICA.....	103
TABLA XVII INTERVALOS Y PROCESOS DE TRANSMISIÓN .....	104

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diseño renderizado del sistema de microgeneración.....	9
Fig. 2. Sistema de microgeneración hidráulica. ....	10
Fig. 3. Esquema general de interconexión hardware, software.....	11
Fig. 4. Detalle de la página de operación. ....	12
Fig. 5. Detalle de la página de despliegue.....	13
Fig. 6. Curva de productos corriente-voltaje P-V y Curva I-V de los paneles fotovoltaicos generada con los datos de la Tabla II.....	17
Fig. 7. Curva P-V de los paneles fotovoltaicos generada con los datos de la Tabla III.....	17
Fig. 8. Circuito equivalente de una celda solar. Según Lien, la corriente foto generada. ....	18
Fig. 9. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio monocristalino. ....	20
Fig. 10. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio policristalino.....	20
Fig. 11. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio amorfo. ....	21
Fig. 12. Respuesta en potencia tecnología monocristalina (valor estimado y real) para el 8 de julio de 2015. ....	21
Fig. 13 Se presentan los mapas de biomasa, solar, viento y potencial hídrico, respectivamente de izquierda a derecha.....	23
Fig. 14 Diagrama esquemático de la red eléctrica de la Universidad de Nariño con la inclusión de generadores con energías alternativas. ....	23
Fig. 15 Estación meteorológica instalada en Bocagrande (Tumaco) y Plataforma de visualización de radiación solar. ....	24
Fig. 16. Componentes de una central de agua fluyente.....	25
Fig. 17. El caudal que circula por el interior de una tubería depende de la sección del tubo y de la velocidad de circulación del agua. $Q = S * v$ .....	27
Fig. 18. Esquema del inyector de una turbina Pelton.....	29
Fig. 19. Detalle del deflector de una turbina Pelton.....	29
Fig. 20. Esquema del rodete de una turbina Pelton.....	29
Fig. 21. Vista frontal y sección lateral (izquierda) y sección inferior de una cuchara.....	30
Fig. 22. Radiación Solar - Irradiación (H) .....	32
Fig. 23. Eficiencia de las tecnologías fotovoltaicas para el año 2014.....	34

Fig. 24. Densidad de potencia generada por intervalos de una hora, por tecnología fotovoltaica con un ángulo inclinación de 45 ° año 2014 .....	34
Fig. 25. Arreglo de paneles 2 x 3 .....	35
Fig. 26 Requerimientos funcionales por módulos.....	56
Fig. 27 Diagrama de Proceso para la Visualización y Descarga de Datos de Irradiancia .....	58
Fig. 28 Diagrama de Proceso para la Visualización y Descarga de Datos de Irradiancia .....	59
Fig. 29 Mockup de Visualización de Datos de Irradiancia – Vantage Pro 2 .....	60
Fig. 30 Diagrama Relacional de RELAB.....	61
Fig. 31 MPPT (Maximum Power Point Tracking) de un inversor fotovoltaico .....	67
Fig. 32 API WeatherLink V1 .....	71
Fig. 33 Datos obtenidos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 enviados a la plataforma WeatherLink.....	71
Fig. 34 Datos de irradiancia extraídos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2.....	74
Fig. 35 Visualización grafica de datos de irradiancia extraídos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 .....	74
Fig. 36 Esquema ZMPT101B Transformador de Voltaje .....	77
Fig. 37 Modal para validación de ejecución de proyecto.....	78
Fig. 38 Modal para validación de ejecución de proyecto.....	79
Fig. 39 Sistema fotovoltaico realizado desde el sistema de información.....	80
Fig. 40 Sistema hídrico realizado desde el sistema de información.....	81
Fig. 41 Gráfica de los datos recolectados de un sistema fotovoltaico.....	82
Fig. 42 Datos recolectados en el modelo de predicción.....	84
Fig. 43 Gráfica de los datos recolectados en el modelo de predicción. ....	85
Fig. 44 validación de efectividad de pruebas unitarias. ....	88
Fig. 45 validación de efectividad de prueba de integración. ....	89
Fig. 46 validación de efectividad de prueba unitarias. ....	90
Fig. 47 Esquema de configuración del primer sistema fotovoltaico en el software RELAB .....	93
Fig. 48 Instalación experimental de módulos fotovoltaicos en área de pruebas físicas.....	93
Fig. 49 Curva de generación de energía del sistema fotovoltaico 1 durante el 23/04/2025.....	94
Fig. 50 Esquema de configuración del segundo sistema fotovoltaico en el software RELAB.....	96
Fig. 51 Instalación experimental de módulos fotovoltaicos en área de pruebas físicas.....	97

Fig. 52 Curva de generación de energía del sistema fotovoltaico 2 durante el 23/04/2025.....	98
Fig. 53 Esquema de configuración del sistema hídrico en el software RELAB .....	100
Fig. 54 Instalación experimental de sistema hídrico en área de pruebas físicas .....	100
Fig. 55 Grafica de generación de energía del sistema hídrico durante el 23/04/2025 .....	102

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se centró en la creación de un laboratorio para la experimentación en generación eléctrica renovable, abordando tanto la generación hídrica como la fotovoltaica. Este laboratorio permitió la modificación de parámetros con el propósito de brindar un contexto académico y científico, facilitando la comprensión profunda del funcionamiento de los sistemas renovables y explorando sus posibles aplicaciones en diversos escenarios.

La necesidad de contar con una herramienta adecuada para la experimentación y pruebas relacionadas con la generación de energía renovable impulsó el desarrollo de este proyecto. Se implementó un laboratorio que permitió la recopilación y el análisis de datos relacionados con los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrico y fotovoltaico, estableciendo métricas de diseño para evaluar su eficiencia y capacidad de suministro energético.

El objetivo general fue implementar un software de recopilación y análisis de datos vinculados a la evaluación de sistemas de generación hídrico y fotovoltaico para el laboratorio de la Universidad CESMAG. Para alcanzar este propósito, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

1. Recopilar los requerimientos del sistema para llevar a cabo una estructuración efectiva de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica de manera intuitiva y deductiva.
2. Desarrollar, con base en los requerimientos, un software de recopilación y análisis de datos que integre los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica.
3. Validar la efectividad del software mediante pruebas unitarias, de integración y funcionales.

Se adoptó un enfoque cuantitativo, utilizando el método científico para manipular variables en un estudio descriptivo. Los datos se recopilaron y analizaron mediante el software desarrollado, que monitoreó las variables del sistema de generación de energía renovable.

## I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### ***A. Objeto o Tema de Investigación.***

El objeto de investigación fue el diseño, desarrollo y validación de un software para la recopilación y análisis de datos en sistemas de generación de energía hidráulica y fotovoltaica.

### ***B. Línea de Investigación.***

Para este proyecto se utilizó como línea de investigación Gestión, desarrollo e innovación en las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

### ***C. Sublínea de investigación.***

Para este proyecto se utilizó como sublínea de investigación Ingeniería del software.

### ***D. Planteamiento del problema.***

La proyección de un aumento del 43,1% en la generación energética para 2026, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), presenta un desafío adicional. Este incremento significa una transición hacia fuentes de energía no renovables, como el carbón y el gas natural, aumentando de 7.912,8 TWh, año a 11.323,5 TWh, año, lo que redujo sus reservas y generó efectos invernadero[1]. Esto también contradujo los objetivos de la UNESCO de promover la energía asequible y no contaminante (Objetivo 7), así como ciudades y comunidades sostenibles (Objetivo 11)[2].

La problemática se centró en la necesidad urgente de fortalecer la formación en sistemas de generación de energía hídrica y fotovoltaica. A pesar de disponer de ecuaciones para calcular la capacidad de generación de energía, estas no siempre tomaban en cuenta las variables climáticas reales que podían influir en el rendimiento de los sistemas. La falta de un enfoque más preciso para verificar el comportamiento de los generadores en condiciones variables dificultó su capacidad para anticipar y comprender los resultados. Esto complicó la verificación, el control y el ajuste de estas variables en sistemas ya desplegados, lo que resultó en un rendimiento subóptimo y una producción de energía reducida.

Los antecedentes del problema son diversos y revelaron una compleja situación en el campo de la generación de energía renovable. El aumento proyectado en el uso de energías no renovables, como el carbón y el gas natural, planteó un desafío significativo para el cambio hacia fuentes más limpias y sostenibles[1]. La incapacidad para gestionar parámetros en sistemas ya implementados dificultó la optimización del rendimiento de los sistemas y puede conducir a un uso ineficiente de los recursos.

Las consecuencias de este problema fueron significativas, evidenciándose en un aumento continuo en la dependencia de fuentes no renovables de energía, lo que generó emisiones de gases de efecto invernadero[1] y degradación ambiental. La falta de enfoque en el desarrollo de tecnologías renovables dificultó la comprensión y adopción de alternativas energéticas más sostenibles, limitando su implementación efectiva en el futuro.

Este problema es crucial en ingeniería de sistemas porque abordó la necesidad de fortalecer la formación en sistemas de generadores de energías hídricas y fotovoltaicas. La falta de verificación del comportamiento de los generadores en condiciones variables dificultó la comprensión y optimización de estos sistemas. El aumento proyectado en la generación energética subrayó la urgencia de adoptar soluciones sostenibles y la implementación de un software para recopilar y analizar datos, lo que contribuyó significativamente a este campo.

### ***E. Formulación del problema.***

¿Cómo recopilar y analizar datos con parámetros de evaluación de sistemas de generación hídrico y fotovoltaico para laboratorio de la Universidad CESMAG?

### ***F. Objetivos***

#### ***1) Objetivo general***

Implementar un software de recopilación y análisis de datos para los parámetros de evaluación de sistemas de generación hídrico y fotovoltaico en el laboratorio de la Universidad CESMAG

## **2) *Objetivos específicos***

1. Recopilar los requerimientos del sistema para llevar a cabo una estructuración efectiva de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica de manera intuitiva y deductiva.
2. Desarrollar, con base en los requerimientos, un software de recopilación y análisis de datos que integre los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica.
3. Validar la efectividad del software mediante pruebas unitarias, de integración y funcionales.

## **G. *Justificación***

La importancia de este proyecto radicó en su capacidad para abordar la necesidad urgente de fortalecer la formación en sistemas de generación de energía renovable, especialmente en ámbitos hídricos y fotovoltaicos, en un contexto donde la transición hacia fuentes de energía renovable es crucial. Se proporcionó una herramienta práctica y significativa para estudiantes, investigadores y profesionales[3], permitiéndoles comprender de manera más efectiva los procesos de generación de energía y manipular variables de manera controlada[4]. Se contribuyó al avance hacia un futuro más sostenible y energéticamente efectivo al fomentar el desarrollo de proyectos de estructuras hídricas y fotovoltaicas eficientes y funcionales.

El aumento proyectado del 43.1% en energía no renovable para el 2026, según la Agencia Internacional de Energía (IEA)[1], resaltó la necesidad de desarrollar un laboratorio para estructuras de generadores de energía renovable, específicamente hídricos y fotovoltaicos. Este laboratorio proporcionó a los estudiantes una herramienta empírica y clara para la experimentación e investigación de los procesos de generación eléctrica, permitiéndoles manipular variables y determinar los efectos y comportamiento del sistema. Esto trascendió las clases teóricas, brindando una experiencia de aprendizaje significativa y facilitando el dominio de los contenidos curriculares relacionados con la energía renovable durante su formación[4], contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible 7 y 11 de la UNESCO[2].

Este laboratorio no solo facilitó la experimentación y análisis de datos de generación de energía renovable, sino que también permitió validar los resultados simulados comparándolos con

estructuras físicas reales. Al permitir esta comparación, los estudiantes, docentes e investigadores pudieron evaluar la precisión de las simulaciones y saber con certeza si una estructura virtual ofrecerá resultados viables y efectivos en el mundo real. Esto es clave para futuras investigaciones y el desarrollo de soluciones sostenibles.

El valor potencial de esta investigación como proyecto de grado radicó en su capacidad para contribuir al desarrollo y soluciones de energías sostenibles a largo plazo al ofrecer una herramienta donde los estudiantes e investigadores pudieron realizar experimentación y análisis de datos relacionados con los parámetros de evaluación de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica. Esto ayudó al alineamiento con los objetivos de promover la energía asequible y no contaminante, así como ciudades y comunidades sostenibles establecidos por la UNESCO[2], implicando la integración de sistemas descentralizados que podían estar ubicados en sectores residenciales de diferente dimensión y capacidad instalada. Este sistema se pudo llevar a cabo mediante el uso de micro redes[5], lo que significó que, al contar con este laboratorio, se permitieron prácticas y técnicas de control de estructuración de sistemas de energía renovable confiable y segura, obteniendo resultados potencialmente eficientes.

El desarrollo de este laboratorio fue fundamental para abordar la necesidad urgente de fortalecer la formación en sistemas de generación de energía renovable. Proporcionó un enfoque empírico y claro, permitiendo observar y experimentar procesos de generación eléctrica de manera intuitiva y deductiva para estudiantes[6], así como información para investigadores y profesionales, facilitando la implementación eficiente de estos sistemas.

#### ***H. Delimitación***

El proyecto investigativo se desarrolló en la Universidad CESMAG, específicamente en la sede centro de Pasto – Nariño. Este se enfocó en la estructuración y desarrollo de sistemas de generación de energía hídrica y fotovoltaica, integrando a investigadores, docentes y, estudiantes. El período de este proyecto investigativo abarcó ocho meses académicos completos, desde agosto de 2024 hasta mayo de 2025.

El enfoque del proyecto fue la validación de los resultados obtenidos en las simulaciones virtuales mediante la comparación con datos de estructuras físicas reales. Esto permitió que las estructuras virtuales diseñadas en el laboratorio pudieran ser aplicadas en proyectos reales con un alto nivel de confianza en su efectividad, facilitando la experimentación y el desarrollo de proyectos sostenibles en energías renovables.

Para asegurar la representatividad y fiabilidad de los datos, se utilizó una muestra no probabilística de 4 estructuras de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica virtuales. Se emplearon entrevistas a expertos en energías renovables, análisis documentales para la investigación, sensores y una estación meteorológica, así como una base de datos sólida y modelos de simulación para evaluar diferentes parámetros. El proyecto integró parámetros de evaluación de estos sistemas de generación de energía renovable, convirtiéndose en una herramienta eficaz y accesible para uso educativo e investigativo en un entorno experimental, de enseñanza y análisis.

## II. TOPICOS DEL MARCO TEÓRICO

### A. Antecedentes

#### 1) Internacionales

##### a. *Optimización de costos de generación de un sistema de microrred insular con generadores distribuidos y fuentes de energía renovables*

El artículo presentado por Duy C. Huynh et al. [7], India, del 19 al 22 de diciembre de 2021, resalta la urgencia de abordar los desafíos inherentes a la generación de energía no renovable, impulsada mayormente por el crecimiento urbano y demográfico. Este enfoque convencional ha evidenciado ser insostenible debido a su impacto ambiental negativo y su ineficiencia económica.

En respuesta a esta problemática, los autores proponen la adopción de sistemas de microrred, que combinan generadores distribuidos y fuentes de energía renovable. Este paradigma persigue ofrecer una alternativa más sostenible y eficaz para la generación de electricidad. Para demostrar la viabilidad y eficacia de esta propuesta, se analizan diferentes tipos de generadores distribuidos, como generadores diésel, de gas natural, plantas de cogeneración, plantas solares fotovoltaicas y generadores de turbinas eólicas, para el interés del proyecto de investigación que se está abordando, se tiene presente las plantas solares fotovoltaicas que emergen como una pieza clave dentro de este contexto, destacando su contribución a la sostenibilidad energética.

El estudio se enfoca en optimizar los costos de generación en estos sistemas de microrred, empleando un algoritmo mejorado de colonias artificiales de abejas (ABC). Este algoritmo se utiliza para enfrentar los desafíos inherentes a la combinación de diversas fuentes de generación y así alcanzar una eficiencia económica óptima. La validación de esta estrategia se realiza mediante la comparación con otros algoritmos de optimización, como el ABC estándar y el algoritmo de optimización de enjambre de partículas (PSO).

Este artículo se alinea con la tendencia mundial de promover el aprovechamiento de fuentes de energía renovable, destacando los beneficios asociados. Este enfoque refleja una

visión progresista y comprometida con la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica en la generación de energía eléctrica, agregando el estudio a diversos análisis de comparación de datos arrojados por la misma investigación.

Proponiendo una solución innovadora para abordar los problemas relacionados con la generación de energía eléctrica, mediante la implementación de sistemas de microrred que integran fuentes de energía renovable y demostrando la eficacia de esta estrategia mediante la aplicación de algoritmos avanzados de optimización, confirmando así su viabilidad en términos de eficiencia, económica y sostenibilidad ambiental.

***b. Diseño de un sistema de generación microhidráulica basado en un tornillo de Arquímedes***

En este antecedente realizado por A. C. Sánchez et al. [8], en 2022, se presenta un proyecto didáctico sobre generación hidroeléctrica a pequeña escala, aplicado en cursos sobre energías renovables en Ecuador. El objetivo fue construir un micro generador hidráulico que permitiera la experimentación con la energía cinética del agua y su conversión en energía mecánica y eléctrica. Esta herramienta, de bajo costo y fácil implementación, se usa en entornos educativos para enseñar conceptos de energía hidráulica, especialmente en zonas rurales.

El sistema emplea el modelo del tornillo de Arquímedes, una estructura helicoidal que simula un pequeño caudal y permite generar hasta 8W con un flujo de 10 L/s. Se consideran factores como el suministro de agua, costos e instalación, destacando su viabilidad y eficiencia (hasta 90%) con caídas mínimas de agua. Este tipo de soluciones busca suplir la falta de acceso a energía eléctrica convencional en comunidades rurales, aprovechando recursos hídricos locales mediante sistemas microhidráulicos sostenibles.



Fig. 1. Diseño renderizado del sistema de microgeneración.

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/journal/5055/505573889010/>

Este antecedente de investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema didáctico y rentable, para poder llevar a cabo el fortalecimiento del conocimiento en áreas como la microhidráulica generando energía limpia y renovable, a través del abastecimiento de demanda de diversas cargas de iluminación partiendo de la energía cinética del agua, pasando energía mecánica y como resultado final generando electricidad.

Una vez ya realizado se procedieron a hacer varias pruebas para diferentes caudales de entrada, teniendo en cuenta la potencia generada para poder aprovisionar la determinada carga, se observa por la microturbina construida desde cero en 3D, en función del caudal de entrada, obteniendo como resultados potencia generada, que muestra que con el transcurso que aumenta el caudal de entrada también lo hace la potencia teniendo en cuenta unos datos relevantes como el caudal mínimo de 0.583 (L, s), que obtuvieron como corriente 0.4(A) y 6(V), con lo cual se puede alimentar una luz led, por otro lado con un caudal de 10(L, s) se puede alimentar tres luces LED. Lo que quiere decir que la microturbina construida es una opción de enseñanza intuitiva y deductiva para que los estudiantes de escuelas, colegios y universidades puedan llevar a cabo conocimiento de microhidráulica con resultados óptimos.

**TABLA I: VALORES DE POTENCIA GENERADA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA**  
**NOTA: FUENTE [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/JOURNAL/5055/505573889010/](https://www.redalyc.org/journal/5055/505573889010/)**

<b>Caudal de entrada (l, s)</b>	<b>Potencia generada (W)</b>
0.583	0.57
1.243	0.93
1.846	1.24
2.394	1.38
2.749	1.47
3.198	1.78
3.639	2.16
4.957	2.78
5.293	3.11
5.384	3.21
6.393	4.09
7.475	5.28
8.273	6.14
9.583	7.32
10	7.95

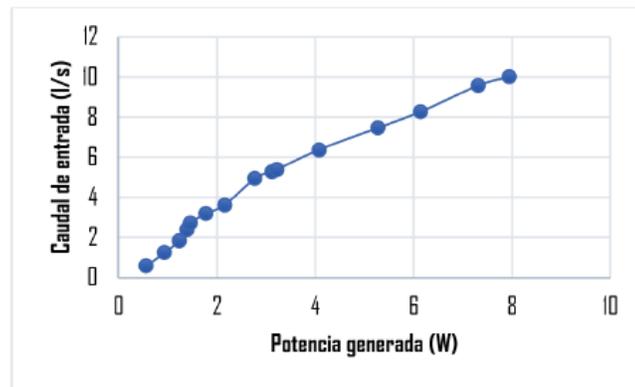


Fig. 2. Sistema de microgeneración hidráulica.  
 Nota: fuente <https://www.redalyc.org/journal/5055/505573889010/>

## 2) Nacionales

### a. Interfaz gráfica para la operación remota de un prototipo de generación de energía hidroeléctrica

En este artículo realizado por A. Bernal et al. [9], 2009 , se presenta el diseño de una interfaz gráfica para la operación remota de un laboratorio de enseñanza sobre generación hidroeléctrica (SGEH), ubicado en la Universidad del Valle. El proyecto no solo se enfoca en

el desarrollo del software, sino también en la instalación de los elementos físicos e instrumentación del sistema, permitiendo su control y monitoreo a distancia.

El sistema cuenta con un motor trifásico de 25 HP que acciona una bomba, generando un caudal de hasta 1100 L/min y una presión máxima de 70 psi. El agua es impulsada desde un tanque hacia una turbina, simulando una caída de 40 metros en un ciclo cerrado. Este proceso se realiza en cinco etapas: arranque, sincronización, interconexión, operación y desconexión.

La interfaz gráfica se basa en tres componentes: instrumentación, control y monitoreo remoto, utilizando controladores SNAP-PAC-R1 y sensores de 4-20mA para medir variables como nivel del tanque, caudal, presión, velocidad, corriente, tensión y potencia del generador. La comunicación y gestión de datos se realiza mediante el software Opto DataLink, que conecta el PAC con una base de datos en un servidor, permitiendo almacenar y consultar variables en tiempo real, así como seleccionar el intervalo de muestreo.

El sistema es compatible con gestores de base de datos como MySQL, SQL Server y Access, destacando MySQL por ser gratuito y por permitir tanto el almacenamiento de datos como el envío de órdenes al sistema, facilitando la operación remota desde una aplicación web.

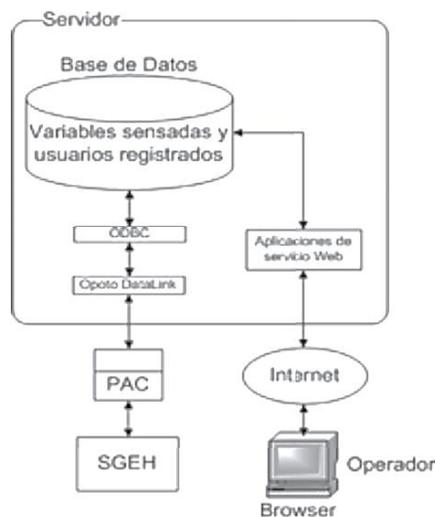


Fig. 3. Esquema general de interconexión hardware, software.  
Nota: fuente <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812225011>

Por medio de una autenticación de usuario, permite el restringir el uso del mismo sistema desde la web de manera anónima dando seguridad de la información, el sistema software tiene tres tipos de usuario: administrador, operador y los que solo realizan monitoreo. El administrador otorga permisos para el acceso, supervisa la conexión de actividad del usuario, por otro lado los usuarios restantes solo pueden hacer monitoreo del sistema sin aplicar algún cambio, todo esto por medio de la interfaz gráfica de usuario (GUI).

La interfaz gráfica de usuario (GUI) para el monitoreo y operación de este software, se estará llevando por medio de una página web que se desarrolló con Javascript, PHP, también con el método asíncrono de Ajax con el fin de mostrar información de manera dinámica, más eficiente sin recargar la página del usuario.

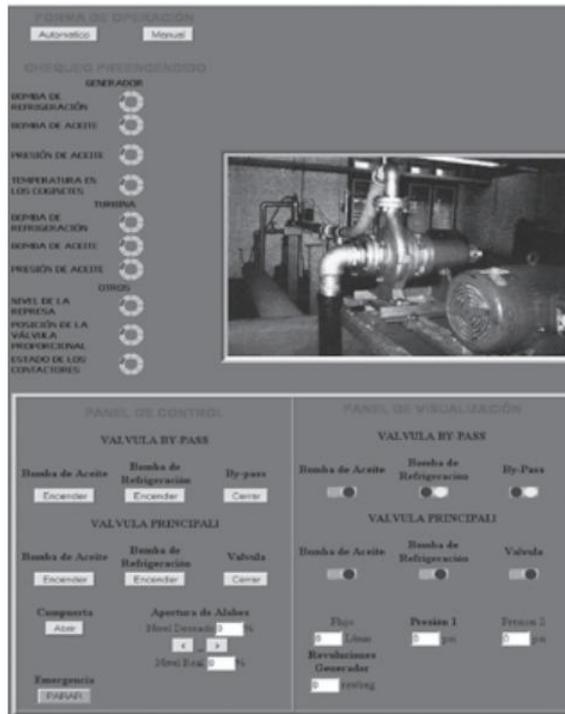


Fig. 4. Detalle de la página de operación.

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812225011>

La manera de funcionamiento de este software se basa en primer lugar que el usuario pueda acceder a operar el sistema, posteriormente identificar y especificar las partes de los componentes de la hidroeléctrica y escoge el modo de operación automático o manual, para poder realizar esto primero debe pasar por la fase de autenticación, se desplegará la interfaz de operación principal, desde la cual se visualizará el estado de la planta antes de proceder a

ejecutarse, también el estado de sistemas auxiliares, el estado de las variables hidráulicas, mecánicas y eléctricas.

Si el modo de operación es automático, se mostrará en la interfaz, la transmisión indicando muestras del estado de la operación de la planta. Si la operación es manual, los indicadores se visualizarán como botones lo que permitirá que se ejecuten cuando los operadores lo deseen a una secuencia apropiada, la interfaz gráfica permite desplegar estadísticas de ondas relacionadas con las variables medidas y censadas, para poder proporcionar la información al usuario de todo el monitoreo.

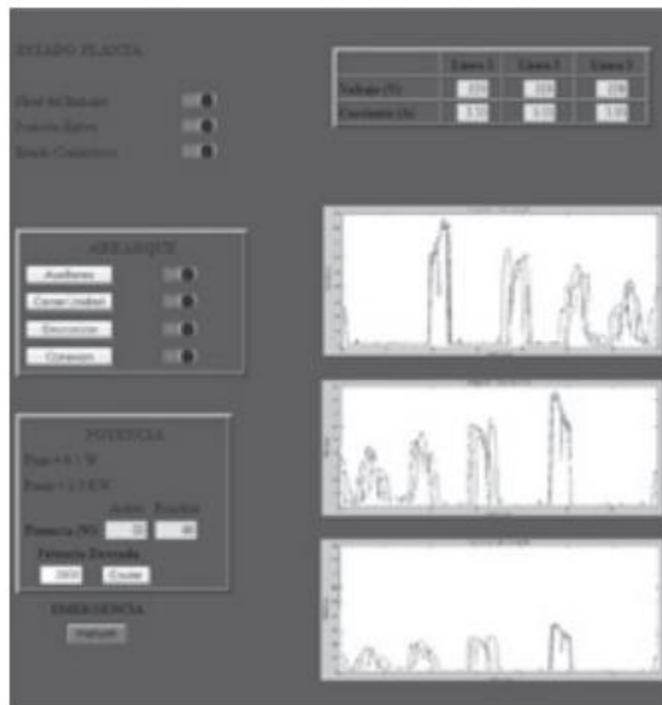


Fig. 5. Detalle de la página de despliegue.

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812225011>

### ***b. Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos***

Este artículo realizado en la universidad Santo Tomás, Colombia por E. Rúa-Ramírez et al. [6], 2020 realizado en la Universidad Santo Tomás (Colombia), presenta la construcción de un banco de pruebas para la caracterización y medición del rendimiento de sistemas solares

fotovoltaicos. Este banco está diseñado como herramienta didáctica para que estudiantes y usuarios puedan conocer, manipular y entender los componentes de un sistema fotovoltaico residencial, incluyendo protecciones, conexiones, y conversión de corriente DC a AC.

El objetivo principal es facilitar prácticas de laboratorio enfocadas en la identificación de conexiones en serie y paralelo, evaluación de curvas de operación de los paneles según la irradiación solar, y la medición de voltaje y corriente de salida.

Una de las partes más importantes del sistema es la medición del rendimiento de los paneles solares, para lo cual se emplea una carga resistiva variable que permite crear la curva I-V (corriente vs voltaje). En este proceso, un multímetro conectado en paralelo mide el voltaje, mientras que otro, conectado en serie, mide la corriente. Este montaje permite una evaluación precisa del comportamiento del sistema fotovoltaico en distintas condiciones.

**TABLA II: DATOS DE AMPERAJE Y VOLTAJE CON CIELO DESPEJADO**  
**NOTA: FUENTE [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/JOURNAL/5537/553770380001/](https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380001/)**

$R(\Omega)$	$I(mA)$	$V(V)$	$P(W)$
10	5.23	20.89	109.25
30	3.42	21.39	73.15
82	2.63	21.80	57.33
120	1.87	21.70	40.58
220	1.03	21.89	22.55
300	0.76	21.93	16.67
390	0.58	21.40	12.41
470	0.48	22.01	10.56
510	0.43	21.99	9.46

**TABLA III: DATOS DE AMPERAJE Y VOLTAJE CON CIELO NUBOSO**  
**NOTA: FUENTE [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/JOURNAL/5537/553770380001/](https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380001/)**

$R(\Omega)$	$I(mA)$	$V(V)$	$P(W)$
30	4.81	11.30	54.35
52	3.53	17.62	62.20
82	2.47	19.43	47.99
220	0.95	19.95	18.95
310	0.71	20.62	14.64
390	0.51	20.64	11.35
470	0.34	20.51	9.02
510	0.30	20.70	8.28

Teniendo como resultados poder identificar la eficiencia de los paneles solares a medida que cambia la posición el sol, también identificar su temperatura y ver si esta afecta el rendimiento del panel, por último, se determina la cantidad de energía especificada por el fabricante.

En este artículo se describen cómo se lleva a cabo el procedimiento de desarrollo de la construcción de un banco de pruebas didáctico para el aprendizaje y medición de rendimientos de paneles solares fotovoltaicos, así como los resultados obtenidos mediante el desarrollo de este banco, como se había mencionado fue diseñado para realizar prácticas o aplicaciones de sistemas fotovoltaicos aislados, permitiendo manejarlo a diferentes voltajes y corrientes cambiando diversas configuraciones de conexión (serie y paralelo), tanto de los paneles como de las baterías, variando también los ángulos de incidencia solar en los paneles y la adaptación de otros equipos solares fotovoltaicos, permitiendo a estudiantes y usuarios ensayar estas instalaciones, visualizando y analizando funcionamientos reales y diversos parámetros de medición forjando así la importancia de la implementación para obtener resultados óptimos y eficientes llevando así maximizar la captación de radiación.

Teniendo en cuenta todos los aspectos de construcción se identifica la eficiencia de un dispositivo fotovoltaico, como potencia máxima dividida por el producto de la irradiación de la entrada y su área, teniendo en cuenta diversas investigaciones esa eficiencia depende muchos factores como la irradiación, el material y la temperatura.

Siguiendo con la investigación se tiene en cuenta las ecuaciones de potencia, corriente y ecuaciones del rendimiento de un panel fotovoltaico, también en este antecedente se tuvo en cuenta condiciones estándares de medida (STC) que conllevan a la norma IEC 60904-1.

- Irradiación 1000 W, m<sup>2</sup>
- Temperatura de las células: 25°C
- Distribución espectral de luz: AM1.5G (de acuerdo con IEC 60904-3)

**Potencia:**

$$P = V * I \quad (1)$$

**Corriente:**

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

**Eficiencia:**

$$\eta_1 = \frac{FF * Voc * Isc}{G * A} \quad (3)$$

Se utilizaron dos paneles fotovoltaicos de 100 W de potencia nominal, con una eficiencia del 16%, voltaje de 18 V, intensidad máxima de 5.56 A, voltaje de cortocircuito Voc de 22.32V y corriente de cortocircuito Isc de 6A. Se eligió un regulador de carga de 12V y 30A, con una entrada máxima de voltaje de 55 V. Dos baterías de gel con voltaje de 12 V y 26 A. Finalmente un inversor de 300W como potencia nominal, 12V de voltaje de entrada y 220V, 110V voltaje de salida.

Para verificar el funcionamiento de un banco de pruebas de paneles fotovoltaicos, se midió el rendimiento de dos paneles utilizando un circuito eléctrico que mide corriente y voltaje. Se variaron las cargas resistivas y se midió la corriente con un multímetro en serie y el voltaje en paralelo. Los datos recopilados permitieron graficar las curvas de corriente y potencia en función del voltaje, analizando así el comportamiento de los paneles bajo diferentes cargas.

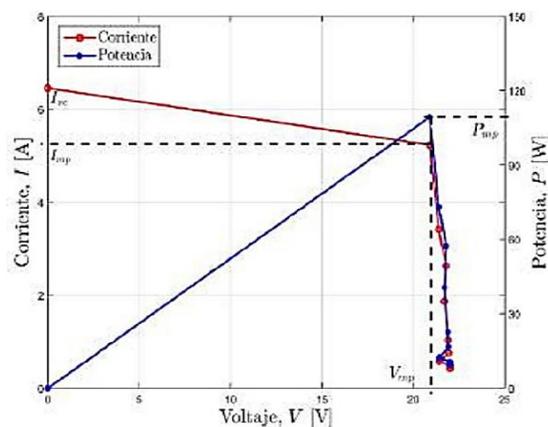


Fig. 6. Curva de productos corriente-voltaje P-V y Curva I-V de los paneles fotovoltaicos generada con los datos de la Tabla II.

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380001/>

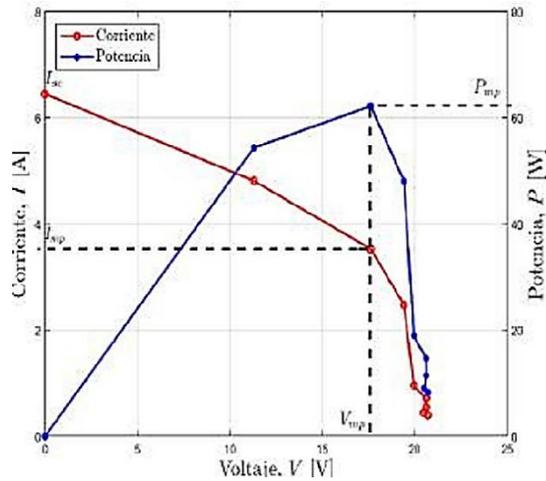


Fig. 7. Curva P-V de los paneles fotovoltaicos generada con los datos de la Tabla III.

Nota: fuente <https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380001/>

Según el artículo el banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos será un equipo útil en toda rama con contexto de energía, utilizándolo como un laboratorio de prácticas y aprendizaje, para diseñar, dimensionar, seleccionar e instalar sistemas fotovoltaicos para una posterior implementación en viviendas aisladas, iluminación pública, semaforización solar, bombeo de agua, entre otros, llevando así la práctica en la vida real.

### 3) Regional

#### a. Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de tecnología basada en silicio

Este antecedente es realizado por F. J. Eraso et al. [10], 2019, presenta el desarrollo y evaluación de un modelo para estimar la potencia generada por módulos fotovoltaicos de silicio (monocristalino, policristalino y amorfo), utilizando datos de temperatura e irradiación recopilados por un sistema meteorológico. El modelo fue ajustado mediante un algoritmo cuasi-Newton con actualizaciones BFGS, y su precisión se validó comparándolo con una instalación real que emplea los tres tipos de tecnología, mostrando una alta correspondencia entre los resultados simulados y reales.

El estudio también aborda cómo las energías renovables pueden contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se analizan diferentes tecnologías de conversión solar a eléctrica a través del efecto fotoeléctrico, incluyendo materiales como obleas delgadas, compuestos orgánicos y puntos cuánticos.

El modelo de celda fotovoltaica empleado se basa en una fuente de corriente generada por la radiación solar, un diodo y dos resistencias: una asociada al material conductor y otra a defectos estructurales del dispositivo. Este enfoque permite simular con mayor precisión el comportamiento eléctrico de las celdas bajo diferentes condiciones climáticas a lo largo del tiempo.

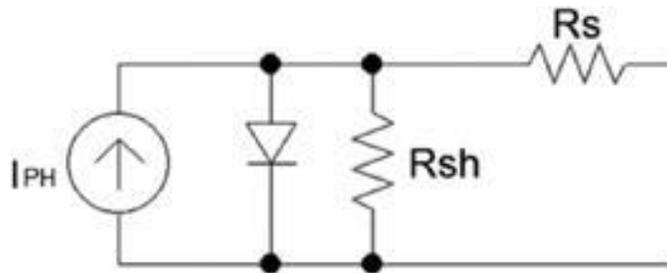


Fig. 8. Circuito equivalente de una celda solar. Según Lien, la corriente foto generada.  
Nota: fuente [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188)

Este estudio establece parámetros de evaluación para celdas solares, enfocándose en las condiciones operativas y en la obtención de curvas de densidad de corriente contra voltaje (J-V), comúnmente brindadas por los fabricantes. Las pruebas se realizaron bajo condiciones estándar: 25 °C de temperatura, irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> y un espectro solar acorde a una latitud de 48,2°. La eficiencia de la celda se define como la relación entre la energía generada y la energía solar incidente.

La recolección de datos se hizo en dos etapas simultáneas: una mediante una estación meteorológica Davis Pro2 con el software Weatherlink, y otra a través de mediciones de voltaje y corriente en módulos solares conectados a cargas resistivas. Estos datos fueron almacenados en la base de datos RAMPA FOTOVOLTAICA y analizados con herramientas estadísticas,

considerando condiciones climáticas reales (irradiancia promedio de 391,7 W/m<sup>2</sup> y temperatura media de 16,8 °C).

Con los datos recolectados, se calcula las corrientes  $I_{PH}, I_{S1}, I_{S2}$ , la resistencia es paralelo  $R_{sh}$ , y serie  $R_s$ , y el factor de idealidad A. Debido a su naturaleza no lineal, estas variables no se resolvieron de forma analítica, sino utilizando un algoritmo cuasi-Newton, a diferencia del algoritmo Newton-Raphson empleado en el modelo de Gow. Solo algunos parámetros dependientes se obtuvieron mediante las ecuaciones propuestas por Gow, en función de la irradiancia, temperatura y constantes específicas, minimizando el error cuadrático entre los datos del modelo y los valores experimentales.

**TABLA IV: PARÁMETROS A Y K PARA LAS TECNOLOGÍAS DE MÓDULOS SOLARES BASADAS EN SILICIO DE LA ZONA DE ESTUDIO.**  
**NOTA: FUENTE [HTTPS://WWW.SCIELO.CL/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI\\_ARTTEXT&PID=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188).**

Parámetro	Tecnología		
	Monocristalina	Policristalina	Si Amorfo
A	2	2	2
$K_0$	$-6,62 \times 10^{-5}$	$-7,68 \times 10^{-5}$	$-8,31 \times 10^{-5}$
$K_1$	-0,1098	-0,1098	-
$K_2$	44,5355	44,5355	-
$K_3$	-12640	-12640	-12640
$K_4$	11,8003	11,8003	11,8003
$K_5$	-7317,4	-7317,4	-7317,4
$K_6$	2	2	2
$K_7$	0,0028	$1,703 \times 10^{-8}$	$1,13 \times 10^{-8}$
$K_8$	0,0132	0,0147	0,0147
$K_9$	16,126	16,126	16,126
$K_{10}$	-0,4253	$-4,53 \times 10^{-5}$	$-4,48 \times 10^{-5}$
$K_{11}$	2303000	2303000	2303000
$K_{12}$	-0,0281	-0,02812	-0,02812

Para evaluar el modelo, se usan los datos reales de irradiación y temperatura de la estación meteorológica y se comparan con la potencia generada por el modelo y los datos de cada tecnología fotovoltaica. En la figura se muestran los valores reales y simulados de voltaje y corriente de la tecnología monocristalina, evidenciando cómo el modelo pronostica el comportamiento fotovoltaico con un error cuadrático de 0,0069.

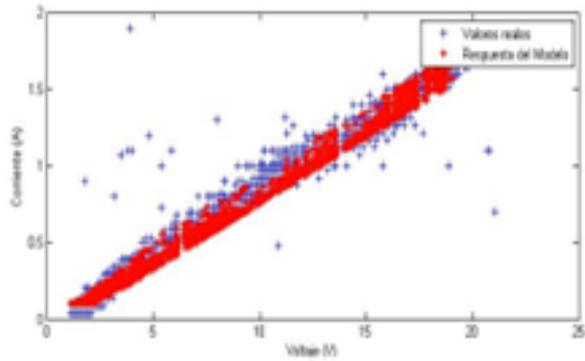


Fig. 9. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio monocristalino.  
 Nota: fuente [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188)

De la misma manera se realiza la predicción de corriente y voltaje del modelo desarrollado para la tecnología de silicio policristalino, con un error cuadrático medio igual a 0,06 85.

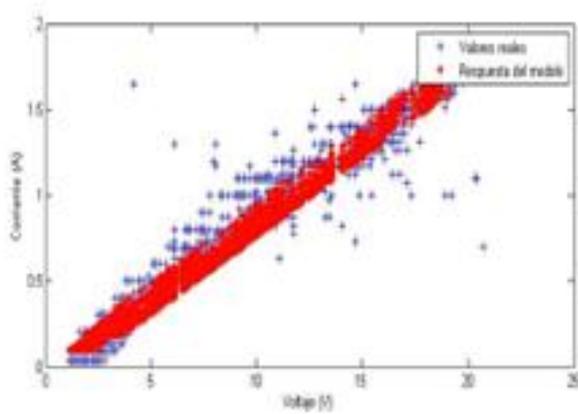


Fig. 10. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio policristalino.  
 Nota: fuente [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188)

Por último, la misma acción con el comportamiento del modelo de la tecnología silicio amorfo, dando un error cuadrático de 0,1317.

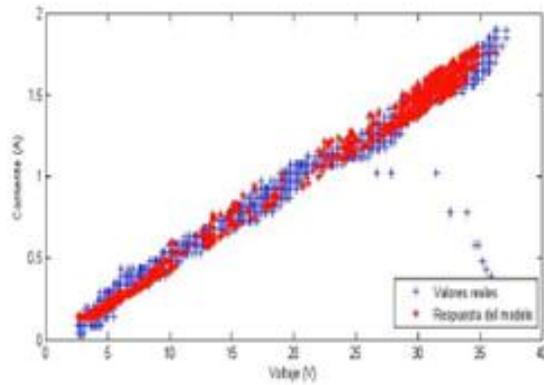


Fig. 11. Evaluación del modelo matemático para la tecnología de silicio amorfo.  
 Nota: fuente [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188)

El error cuadrático para los tres tipos de tecnología indica que la potencia generada por el modelo es similar a la respuesta del modelo para la tecnología monocristalina (línea azul) y el sistema meteorológico (línea verde). La correlación es de 0.9824 y la determinación es de 0.965, lo que sugiere una alta correspondencia entre estos dos casos.

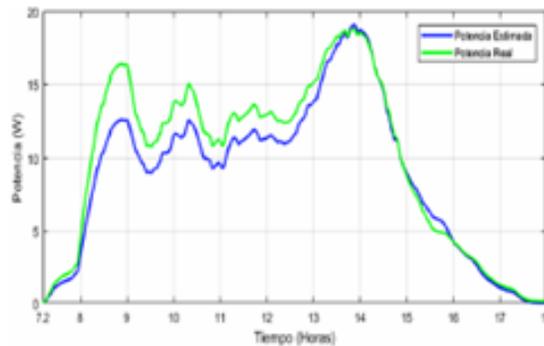


Fig. 12. Respuesta en potencia tecnología monocristalina (valor estimado y real) para el 8 de julio de 2015.  
 Nota: fuente [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052019000200188](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200188)

Dándonos, así como resultados que la tecnología más eficiente es la monocristalina con un porcentaje mayor del 10,8%, posterior a ella le sigue la tecnología policristalina con una eficiencia del 10,07% Y por último la tecnología amorfa con un 5,74%.

***b. ALTERNAR: Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño***

En este antecedente realizado por A. Pantoja et al.[11], 2015, se analiza la problemática energética y la cobertura del servicio en las zonas apartadas del departamento de Nariño. Para abordar esta problemática, se desarrolló un modelo basado en fuentes de energía renovable, aprovechando los recursos locales con tecnologías avanzadas como las redes inteligentes.

Se planteó una caracterización de los recursos locales y una investigación sobre el suministro de energía en las zonas no interconectadas (ZNI) para fomentar el desarrollo económico y social. En Nariño, la dificultad de acceso geográfico y las condiciones socioeconómicas de la población impiden el suministro de servicios energéticos. Aunque el departamento cuenta con abundantes recursos naturales, estos no han sido identificados, clasificados ni cuantificados adecuadamente. Este proyecto se basa en los resultados del Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño (PERS), que diagnosticó las condiciones sociales, económicas y las necesidades energéticas de las zonas rurales.

En Colombia, las ZNI representan el 52% del territorio nacional y la generación de energía en estas áreas se basa principalmente en grupos electrógenos diésel. Solo el 3.9% de la cobertura energética del país llega a estas zonas, dejando a unas 470,000 viviendas sin servicio, de las cuales el 12% tienen soluciones aisladas. Para abordar esta problemática, se propuso soluciones basadas en microrredes rurales, técnica y económicamente viables para las zonas apartadas del país.

El proyecto incluyó un estudio técnico de las fuentes disponibles en las zonas rurales con menor cobertura eléctrica del departamento, utilizando fuentes secundarias para elaborar mapas energéticos detallados. Estos mapas se construyeron utilizando datos de estaciones meteorológicas y un sistema de información geográfica para visualizar las posibilidades energéticas de viento, luz solar, hidrogenación y biomasa.

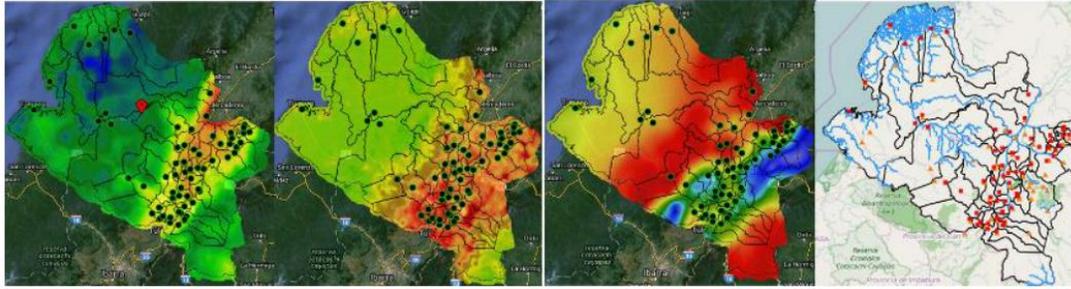


Fig. 13 Se presentan los mapas de biomasa, solar, viento y potencial hídrico, respectivamente de izquierda a derecha.

Nota: fuente Artículo-ALTERNAR-Premio-AMBAR-2016

Gracias a datos reales y proyecciones estadísticas, se seleccionó dos zonas potenciales para el diseño técnico completo de generación alternativa, redes de distribución, medición inteligente y un sistema de información basado en telecomunicaciones. Para validar la propuesta, se diseñó un prototipo de red en la Universidad de Nariño, permitiendo pruebas a gran escala, validación de sistemas comerciales y formulación de proyectos colectivos.

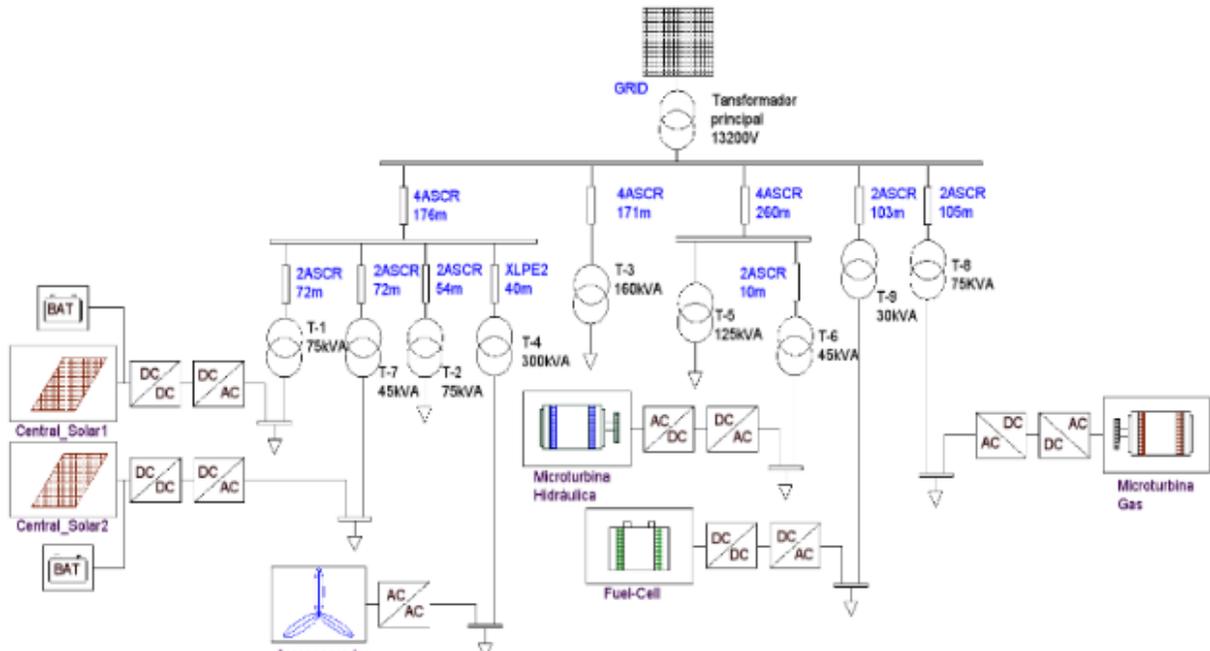


Fig. 14 Diagrama esquemático de la red eléctrica de la Universidad de Nariño con la inclusión de generadores con energías alternativas.

Nota: fuente Artículo-ALTERNAR-Premio-AMBAR-2016

La primera fase del proyecto incluyó la caracterización de los potenciales energéticos de Nariño. Utilizando el proyecto MODIS, se procesó imágenes satelitales diarias tomadas entre 2005 y 2015, recolectando 3910 imágenes para estimar la irradiación solar. Para el potencial hídrico, se elaboró un mapa basado en RASTER, identificando las principales corrientes de las cuencas hidrográficas y calculando los caudales promedio con el programa HIDROSIG.

El proyecto consideró la utilización de sistemas fotovoltaicos, sensores de velocidad y dirección del viento, medición de radiación solar, temperatura, humedad y pluviosidad, todos conectados a una unidad de almacenamiento y monitoreados en la plataforma de visualización de la Universidad de Nariño. También se diseñó una microrred rural aislada en Bocagrande (Tumaco) y El Naranjo (Mosquera), basándose en datos meteorológicos locales.

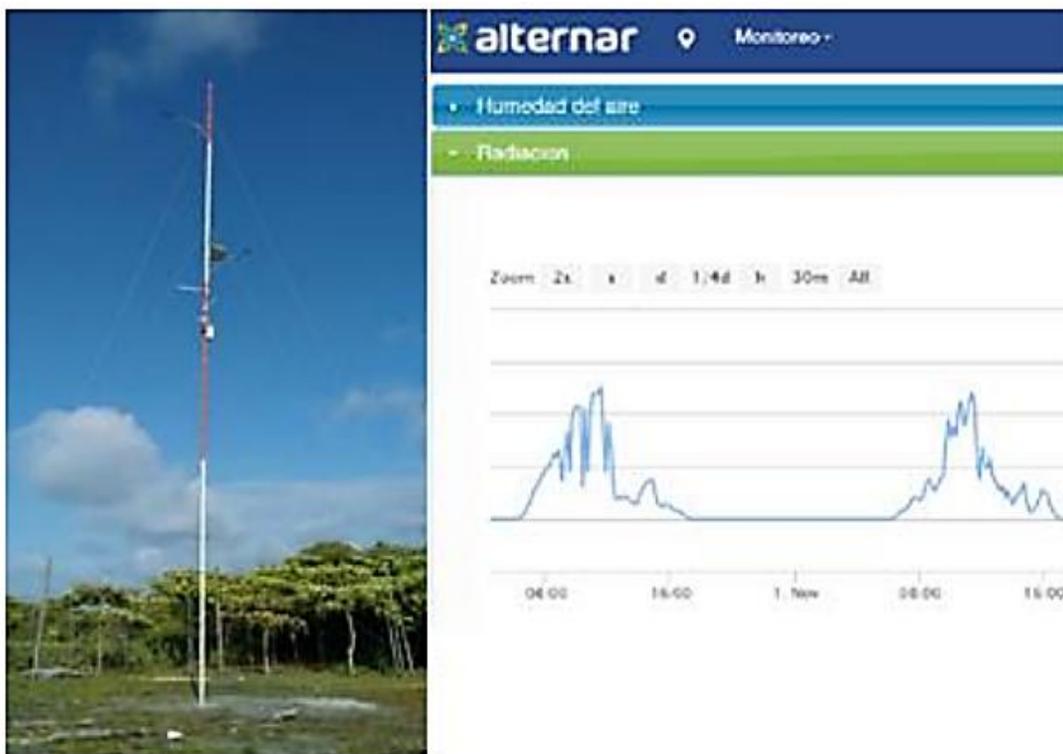


Fig. 15 Estación meteorológica instalada en Bocagrande (Tumaco) y Plataforma de visualización de radiación solar.

Nota: fuente Artículo-ALTERNAR-Premio-AMBAR-2016

Finalmente, se realizó un diagnóstico de la red actual del campus de la Universidad de Nariño para evolucionar hacia una red inteligente. Esto incluyó la instalación de sistemas

fotovoltaicos y un aerogenerador, monitorizados teleméricamente para determinar la producción y los costos evitados por el consumo de energía. Este proyecto demuestra que la caracterización de los recursos renovables junto con nuevas tecnologías puede facilitar la energización sostenible de regiones apartadas en Nariño, resolviendo problemáticas regionales de alto impacto.

## ***B. Enunciado de supuestos teóricos de la investigación***

### ***1) Generación hídrica***

La energía hidroeléctrica utiliza la energía del agua en movimiento para generar electricidad. Se clasifica en dos tipos principales:

Centrales de embalse: Estas plantas utilizan grandes embalses para almacenar agua, lo que les permite tener una capacidad instalada de más de 5MW. Sin embargo, debido al gran volumen de agua almacenada, tienen un impacto ambiental considerable.

Centrales a filo de agua son pequeñas instalaciones hidroeléctricas que minimizan el impacto ambiental. Operan desviando el agua de un riachuelo sin almacenamiento grande, pasando por un desarenador que elimina residuos, hasta llegar a una turbina donde se genera electricidad. Finalmente, el agua se reintegra al río.[12]



Fig. 16. Componentes de una central de agua fluyente

Nota: fuente [https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno\\_HIDRAULICA.pdf](https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_HIDRAULICA.pdf)

En la hidrodinámica, Bernoulli estableció que la energía total de un fluido en movimiento es constante a lo largo de su trayectoria, combinando energía cinética, potencial gravitacional y energía de presión.[13]

Ecuación relacionada con variable de potencia (P), densidad de agua ( $\rho$ ) 997 kg, m<sup>3</sup>, aceleración de la gravedad (G) 9,8m, s<sup>2</sup>, la altura (H) de las cotas, área transversal (A), velocidad de agua (V) y eficiencia ( $\eta$ ).

$$P = \rho * G * H * A * v * \eta \quad (4)$$

Teniendo la densidad del agua, la eficiencia, la gravedad constante y que el área por velocidad es igual al caudal la ecuación se simplificaría de la siguiente manera. [14]

$$P (kW) = 7QH \quad (5)$$

En este estudio, nos centraremos en las turbinas Pelton, un tipo de turbina que transforma la energía cinética en mecánica. Estas turbinas están conectadas a un generador eléctrico que aprovecha la rotación para liberar electrones.[13]

#### **a. Caudal del agua**

Volumen de agua que fluye por unidad de tiempo en el sistema hidráulico.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (6)$$

En otra manera de poderlo observar para la parte hídrica supongamos que estamos midiendo el caudal que pasa por una tubería, el volumen de agua tendrá la forma de la tubería es decir de manera cilíndrica, es decir que el diámetro sería en metros cuadrados y la longitud en metros. [15]

$$V = S. d \quad (7)$$

$$Q = \frac{S * d}{t} = S * \frac{d}{t} \quad (8)$$

La distancia recorrida por el agua en un tiempo determinado es igual a la velocidad.

$$Q = S * \frac{d}{t} = S * v \quad (9)$$

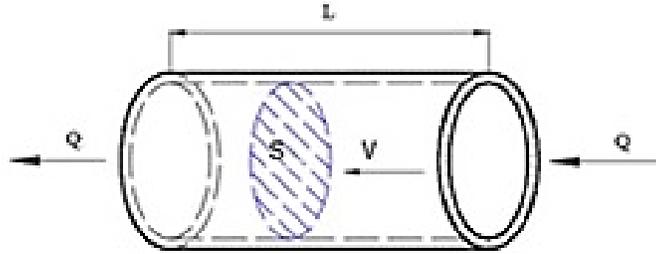


Fig. 17. El caudal que circula por el interior de una tubería depende de la sección del tubo y de la velocidad de circulación del agua.  $Q = S * v$

Nota: fuente <https://www.universidadderiego.com/sobre-el-caudal-y-la-presion-del-agua/>

#### TABLA V CONVERSIÓN DE UNIDADES DE CAUDAL

NOTA: FUENTE [HTTPS://WWW.UNIVERSIDADDERIEGO.COM/SOBRE-EL-CAUDAL-Y-LA-PRESION-DEL-AGUA/](https://www.universidadderiego.com/sobre-el-caudal-y-la-presion-del-agua/)

Para pasar de:	a:	Multiplicar por:	Para pasar de:	a:	Dividir entre:
l, s	l, h	3600	l, h	l, s	3600
l, s	l, min	60	l, min	l, s	60
l, min	l, h	60	l, h	l, min	60
m <sup>3</sup> , h	l, h	1000	l, h	m <sup>3</sup> , h	1000
m <sup>3</sup> , h	l, s	0,277	l, s	m <sup>3</sup> , h	0,277
m <sup>3</sup> , s	m <sup>3</sup> , h	3600	m <sup>3</sup> , h	m <sup>3</sup> , s	3600
m <sup>3</sup> , s	l, min	60000	l, min	m <sup>3</sup> , s	60000
m <sup>3</sup> , s	l, s	1000	l, s	m <sup>3</sup> , s	1000

- **Ecuación de Hazen-Williams**

La ecuación de Hazen-Williams, formulada en 1906, establece una relación empírica entre el flujo de agua en tuberías y la caída de presión debido a la fricción. Esta fórmula es aplicable específicamente al agua a temperatura ambiente y a velocidades convencionales. Considera factores como las características geométricas de la tubería y la pendiente de la línea de energía para determinar la velocidad media del agua en la tubería.[16]

$$v = kCR^{0,63}S^{0,54} \quad (10)$$

El cálculo del flujo del agua a través de una tubería utiliza variables como:

- La velocidad del agua  $v$ .

- El factor de conversión k, varía según el sistema de unidades: 0.849 para el sistema métrico y 1.318 para el sistema imperial.
- El coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams C.
- El radio hidráulico R.
- El gradiente hidráulico S.

**TABLA VI LOS FACTORES C TÍPICOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO**

NOTA: FUENTE [HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/F%C3%B3rmula\\_de\\_Hazen-Williams](https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Hazen-Williams)

Material	Coefficiente de rugosidad C
Hierro Fundido	100
Concreto	110
Cobre	140
Plastico	150
Hierro	120

***b. Turbina pelton***

Una turbina, utilizada en centrales hidroeléctricas, fue inventada por Lester Allen en 1870 y posteriormente perfeccionada hacia finales del siglo XIX. Esta turbina alcanza una eficiencia del 92% en el aprovechamiento de la energía hidráulica. Para su funcionamiento, se instala en una central hidráulica conectada a un tubo de presión. El proceso inicia cuando el agua es dirigida a través de una o más boquillas, generando un flujo acelerado que impacta contra diversas palas. Estas palas, diseñadas para girar 180 grados, permiten que tanto la turbina como su eje roten. Finalmente, el agua sale de la rueda de la turbina a una velocidad considerablemente reducida.[17]

- El inyector regula el caudal y ajusta la demanda de energía eléctrica. La válvula de aguja asegura que la velocidad se mantenga constante, aunque varíe el caudal, para evitar cambios que podrían ocasionar golpes. Cada inyector dispone de un reflector que protege parcialmente el chorro durante estos cambios, permitiendo realizarlos más lentamente.

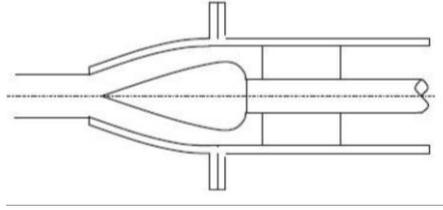


Fig. 18. Esquema del inyector de una turbina Pelton

Nota: fuente [https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas\\_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf)

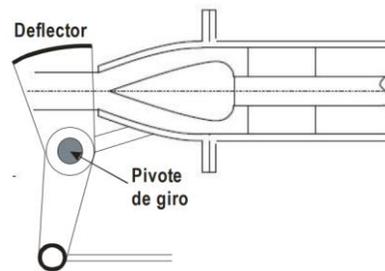


Fig. 19. Detalle del deflector de una turbina Pelton.

Nota: fuente [https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas\\_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf)

- El rodete de la turbina Belton es prácticamente una rueda con álabes en forma de cucharas, ubicados en su perímetro exterior. El chorro del inyector impacta en estas cucharas de manera tangencial al rodete, maximizando así la potencia de propulsión (P).

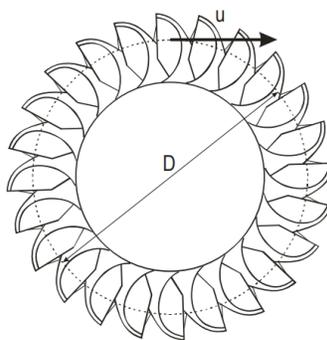


Fig. 20. Esquema del rodete de una turbina Pelton.

Nota: fuente [https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas\\_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf)

- Las cucharas tienen la forma de una "W". Como podemos observar en la imagen, estas son simétricas en dirección axial y tienen una cresta central afilada. Las

dimensiones de estas cucharas y su cantidad dependen del diámetro del chorro, es decir, cuanto menor sea el diámetro, más pequeñas serán las cucharas y mayor será el número de ellas en el rodete.[18]

- La mella tiene como función evitar el rechazo, es decir, que una cuchara tape a la otra demasiado pronto. Al tener este diseño tan particular, hace que, cuando el chorro impacta sobre la cuchara, este aproveche la máxima energía del fluido.[18]

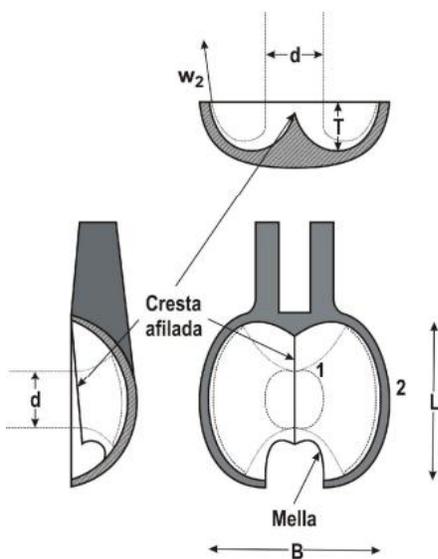


Fig. 21. Vista frontal y sección lateral (izquierda) y sección inferior de una cuchara.  
 Nota: fuente [https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas\\_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/115/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf)

**c. Diámetro de la tubería de conducción**

Diámetro de la tubería por la cual fluye el agua hacia la turbina o dispositivo generador. Las tuberías representan una parte fundamental en proyectos. En las decisiones sobre tuberías, se debe considerar el tamaño, puesto que este influye en varios factores.

Es crucial tener en cuenta el material, especialmente su comportamiento ante la corrosión y la resistencia a la temperatura cuando interactúa con diferentes fluidos. También se debe considerar cómo se mueve el fluido a través de la tubería.

El caudal juega un papel esencial en la determinación del sistema, así como el consumo de energía. Esto abarca la eficiencia del material a lo largo de la tubería, garantizando confiabilidad a largo plazo.

El tamaño de la tubería y la caída de presión son factores muy importantes en el diseño del caudal. Las velocidades más altas pueden disminuir la vida útil de una tubería metálica debido a la erosión y las posibles sobre presiones.

En términos de eficiencia, también es crucial considerar el material de la tubería y el diseño del sistema de caudal, ciertos materiales pueden corroerse más rápidamente a altas velocidades, lo que ocasiona pérdidas.

## ***2) Generación fotovoltaica***

Para poder generar energía fotovoltaica hay que tener en cuenta algunos factores como primero que todo entender que el sol emite su energía en forma de luz y calor al llegar a la tierra se lo denomina irradiancia y se expresa en vatios por metro cuadrado[10]. Esta irradiancia es transformada en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. [19]

Los sistemas fotovoltaicos conllevan una estructuración de módulos convirtiéndose en semiconductores. Se tiene en cuenta dos bandas eléctricas la primera banda Valencia con electrones cercanos al núcleo, difícil de manejar y banda de conducción con electrones liberados fácilmente.

La cantidad de energía generada por un panel solar es proporcional a la luz solar recibida. Más exposición solar significa más electricidad producida. Se usa la convención de "horas sol" para medir esto, que es el tiempo con irradiación de 1.000 W, m<sup>2</sup> en un día. Este parámetro es crucial para dimensionar sistemas fotovoltaicos.[20]

### ***a. Irradiancia solar***

Intensidad de radiación solar incidente sobre la superficie de los paneles fotovoltaicos. La irradiancia, básicamente, es la magnitud que mide la energía por unidad de área en una determinada superficie, y se evalúa a lo largo del espacio y el tiempo especificado.

- **La irradiancia solar total** toma en cuenta todas las longitudes de onda por unidad que se encuentran en la atmósfera, y se mide perpendicularmente a la luz solar que penetra la atmósfera.
- **La irradiancia normal directa** se mide en una ubicación específica. Para realizar esta medición, se utiliza un elemento ubicado perpendicularmente al sol, y es igual a la irradiancia extraterrestre por encima de la atmósfera. Aquí, existen pérdidas que pueden incrementarse o reducirse dependiendo de si hay viento o nubes.
- **La irradiancia horizontal difusa** es la radiación que llega a la superficie terrestre teniendo en cuenta la luz que se dispersa por la atmósfera. Se puede medir mediante una superficie horizontal. Si no existiera la atmósfera, no habría irradiación de cielo difuso.
- **La irradiancia horizontal global** se mide teniendo en cuenta la radiación total del sol sobre una superficie horizontal en la tierra, y tiene en cuenta una combinación de irradiancia directa y difusa.[21]

La Irradiancia Solar (G) es la medida de la intensidad de la radiación solar por unidad de superficie, expresada en Watts por metro cuadrado (W, m<sup>2</sup>), también en kiloWatts por metro cuadrado (kW, m<sup>2</sup>). Esencialmente, representa cuánta energía solar llega a una determinada área en un momento dado.[22]

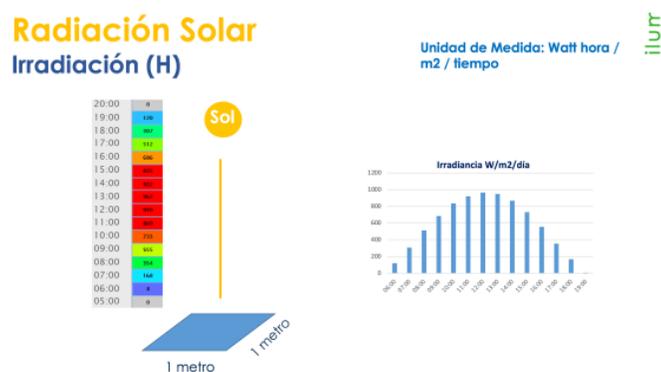


Fig. 22. Radiación Solar - Irradiación (H)

Nota: fuente <https://ilumin.online/diferencias-entre-radiacion-irradiancia-e-irradiacion-solar/>

La energía solar que llega a la Tierra, conocida como irradiancia, se mide en vatios por metro cuadrado y corresponde a la potencia por unidad de área. Esta se detalla más específicamente mediante la densidad de potencia espectral, que indica la potencia por unidad de área y longitud de onda.[20]

$$G = \int_0^{\lambda} P(\lambda)d\lambda \quad (11)$$

### ***b. Tipos de paneles solares***

Primero destaquemos que la energía solar puede ser utilizada en diferentes aspectos, por ende se presentan diferentes paneles solares, como paneles solares térmicos, híbridos, y el que nos enfocaremos que es el panel solar fotovoltaico.[23]

Con respecto al panel solar fotovoltaico podemos mencionar las tecnologías basadas en silicio.

- **Las celdas monocristalinas** están hechas de silicio cristalino sin bordes granulados. En la fabricación de una celda solar, se crean obleas tipo N o tipo P. La región tipo N, llamada emisor, está altamente dopada y cubierta por contactos metálicos y una capa anti reflectante de silicio nitrurado, que mejora la transmisión de luz. Cuando la luz incide en la celda, se generan pares electrón-hueco en la región tipo P, moviendo la carga hacia los contactos metálicos y generando corriente.
- La industria fotovoltaica puede usar silicio de menor pureza que el necesario para la microelectrónica, reutilizando el excedente en **celdas policristalinas**. Estas celdas se forman fundiendo granos cristalinos con orientaciones aleatorias y solidificándolos en un crisol. Aunque su calidad es inferior al silicio monocristalino debido a defectos en sus bordes, su producción es más económica.
- Esta tecnología utiliza **silicio amorfo** en una película delgada sobre sustratos de vidrio o material flexible, a diferencia de las obleas de silicio cristalino. El silicio amorfo, con su estructura atómica desordenada, permite el uso de dispositivos P-i-

N que incluyen una capa tipo P, una intrínseca y un tipo N. En la capa intrínseca se produce la absorción de fotones, lo que mejora la eficiencia y el tiempo de vida de los portadores de carga, aunque esta capa es susceptible al efecto Staebler-Wronski, que degrada la luz.

En esta imagen, se puede observar la eficiencia que tiene cada uno de los paneles, teniendo en cuenta condiciones meteorológicas reales. Con datos recolectados durante todo un año se puede concluir que la tecnología más eficiente es la tecnología de silicio monocristalino con un porcentaje del 10,80%.[10]

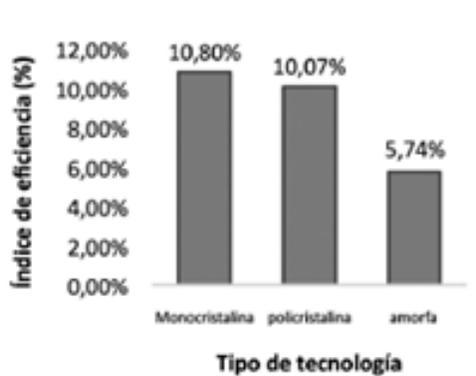


Fig. 23. Eficiencia de las tecnologías fotovoltaicas para el año 2014.  
 Nota: fuente <https://ilumin.online/diferencias-entre-radiacion-irradiancia-e-irradiacion-solar/>

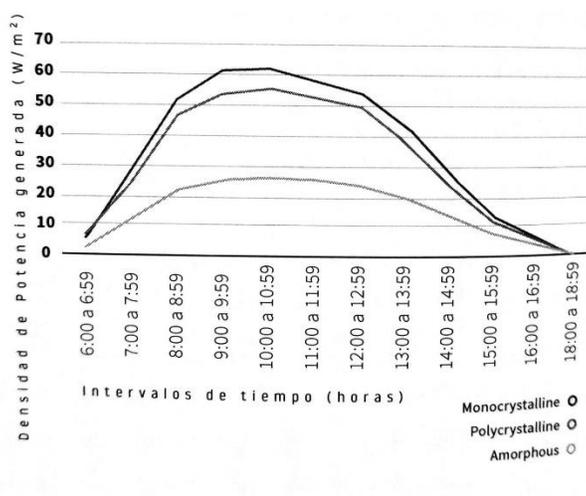


Fig. 24. Densidad de potencia generada por intervalos de una hora, por tecnología fotovoltaica con un ángulo inclinación de 45 ° año 2014  
 Nota: fuente libro Energía Fotovoltaica Modelo y Respuesta a Condiciones Meteorológicas[24]

### c. Arreglos de paneles solares

Para realizar arreglos de paneles solares, se deben considerar las conexiones en serie y en paralelo, así como la orientación de los polos positivos y negativos.

A continuación, se presenta un ejemplo que ilustra una configuración mixta: dos paneles conectados en serie, cada conjunto asociado en paralelo.[25]

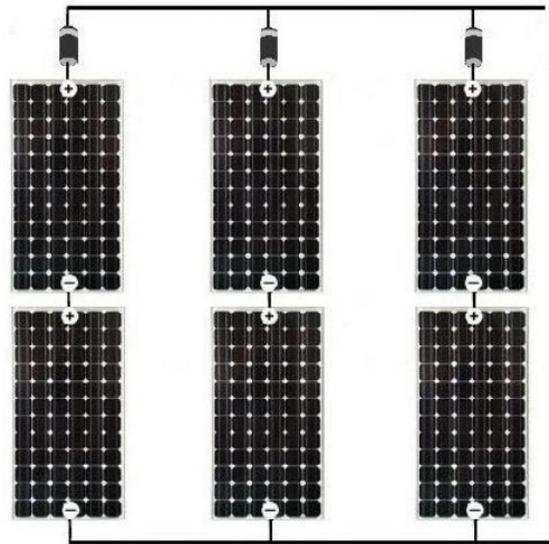


Fig. 25. Arreglo de paneles 2 x 3

Nota: fuente [https://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf)

Para medir la potencia generada por un arreglo de paneles solares, primero se deben considerar cuántos paneles estarán conectados en serie y cuántos en paralelo. Luego, se examina cada una de las series del arreglo; se suman los voltajes y se selecciona el amperaje mínimo de cada serie. Este proceso se repite para cada serie, resultando en varios grupos de paneles conectados en paralelo. Para calcular la potencia de estos paneles en paralelo, se escoge el voltaje mínimo y se suman los amperajes de cada grupo. Finalmente, para obtener la potencia total, se multiplica el amperaje total por el voltaje mínimo, lo que proporciona la potencia total del arreglo.

$$P = I * V \quad (12)$$

### 3) *Parámetros de evaluación*

#### a. *Eficiencia energética*

##### 1. *Eficiencia energética en sistemas de generación fotovoltaica*

Para calcular la eficiencia de los paneles solares, se consideran las especificaciones proporcionadas por el fabricante bajo condiciones estándar de prueba (STC), que incluyen una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> y una temperatura de 25°C. La eficiencia se determina dividiendo la potencia nominal del panel, expresada en vatios (W), entre el producto del área del panel, en metros cuadrados, y la irradiancia incidente, multiplicando el resultado por 100 para expresarlo en porcentaje. [26]

$$\text{Eficiencia del panel}(\%) = \left( \frac{\text{Potencia del panel (W)}}{\text{Tamaño del panel (m}^2\text{)} * \text{Irradiancia (G)}} \right) * 100 \quad (13)$$

##### 2. *Eficiencia energética en sistemas de generación hídrica*

Para poder obtener la eficiencia de un sistema de generación hídrica, nos basamos en tres variables clave. La eficiencia es una medida que relaciona la energía eléctrica útil de salida con la energía total disponible o convertida en un dispositivo o sistema, en este caso, un sistema hidroeléctrico.[27]

Para calcularla, debemos considerar: La potencia de salida, La potencia convertida.

$$\eta = \frac{P_{\text{Salida}}}{P_{\text{Convertida}}} * 100 \quad (14)$$

#### b. *Energía generada*

##### 1. *Energía generada en sistemas de generación fotovoltaica*

La energía generada de un panel solar o de diversos paneles, siempre depende de varios factores, como el tamaño del panel, la eficiencia, la cantidad de luz solar directa que recibe (G) y otros factores ambientales como la temperatura y las sombras. [28].

$$\text{Energía Generada} = \frac{\text{Potencia(W)} * G \left( \frac{W}{m^2} \right)}{1000} = \text{Resultado Wh} \quad (15)$$

## 2. *Energía generada en sistemas de generación hídrica*

Ecuación relacionada con variable de potencia (P), densidad de agua ( $\rho$ ) 997 kg, m<sup>3</sup>, aceleración de la gravedad (g) 9,8m, s<sup>2</sup>, la altura (H) de las cotas, área transversal (A), velocidad de agua (V) y eficiencia ( $\eta$ ). [14]

$$P = \rho * g * H * A * v * \eta \quad (16)$$
$$P \text{ kwh} = \text{Presión} * \text{Caudal}$$

### c. *Comparación de sistemas*

Considerando los parámetros de evaluación, se definió la integración de un parámetro más. La comparación de sistemas, dado a que se aborda la construcción de una herramienta software donde permitirá experimentar, recopilar y analizar datos, al igual que interactuar con variables y poderlas manipular; los resultados arrojados por los sistemas de generación hídrico y fotovoltaico creados como estructuración dentro de la herramienta software, se pondrán en comparación con diversos sistemas reales, esto se hace con el fin de que los usuarios que utilizarán esta herramienta puedan ejercer sus conocimientos tanto en la práctica virtual como en la implementación real.

Es muy importante tener en cuenta este proceso evaluativo, la comparación ayudará a determinar y cuantificar las relaciones entre ambos sistemas, tanto virtuales como reales, poniendo a prueba la exactitud de dos o más variables de diferentes grupos que estén expuestos a tratamientos distintos. Con ello, se incluyen estudios retrospectivos que proporcionan información sobre eventos pasados y permiten examinar variables para predecir el futuro. La comparación tiene semejanzas con la experimentación, manejando un grupo de tratamiento y un grupo de control, donde se realizan una serie de análisis y comparaciones de información.[29]

### C. *Variables de estudio*

#### *Variables independientes*

##### *Sistema Fotovoltaico*

- **Panel:** La potencia generada por un panel o un arreglo de paneles (W).
- **Tipo de panel:** La eficiencia de cada uno de los paneles ( $\eta$ ).

- **Regulador:** Protege los componentes que estén conectados a él, de bajas o altas tensiones ( $W$ ).
- **Inversor:** La cantidad de potencia generada que es igual a  $Voltaje (V) * Corriente (I)$  que entra al inversor.
- **Batería:** La capacidad almacenada en una batería o bancos de baterías ( $Wh$ ).
- **Carga:** La cantidad de energía que consume una carga, medida en vatios ( $W$ ).
- **Irradiación:** El dato específico que necesitamos de la estación Davis Vantage Pro-2 es la irradiancia ( $G$ ).

### ***Sistema Hídrico***

- **Motobomba:** Simula el caudal que ejerce el agua. Sin que haya pérdida de carga significativa en este cálculo.
- **Inyector:** Debido a un diámetro menor, genera mayor presión de agua con la misma cantidad de fluido, ilustrando el efecto Venturi de Bernoulli.[30]
- **Caudalímetro:** Mide el flujo de agua que pasa a través del inyector, expresado en litros por segundo ( $L, s$ ) o metros cúbicos por hora ( $m^3, h$ ).
- **Turbina:** Entre más rápido se mueve la turbina, más energía mecánica genera, se mide en revoluciones por minuto ( $RPM$ ) y la potencia mecánica generada por una turbina se mide en vatios ( $W$ ).
- **Generador eléctrico:** La cantidad de energía eléctrica generada, normalmente expresada en kilovatios ( $kW$ ) o vatios ( $W$ ).
- **Eficiencia:** Indica qué tan efectivamente el generador convierte la energía mecánica recibida de la turbina en energía eléctrica( $\eta$ ).

### ***Variables dependientes***

En esta investigación, se midieron variables de acuerdo a las métricas de calidad 25010 midiendo algunos criterios de evaluación, donde nos proporcionaron el desempeño óptimo del software, centrándose en cumplir expectativas de satisfacción del usuario.[31]

**Adecuación Funcional:** Funcionamiento correcto y completo, teniendo en cuenta una característica que es la completitud funcional.

- **Complejidad funcional:** Indica que se debe ejercer una entrega completa, embarcando todos los objetivos propuestos.[32]

Para poder medir este atributo de calidad, se aseguró que el software cumpliera con las funcionalidades requeridas y considerara cada margen de error establecido al momento de estructurar sistemas de generación hídrica y fotovoltaica o recopilar y analizar datos.[33]

**Usabilidad:** El sistema sea fácil de entender, aprender y manejar por el usuario, teniendo en cuenta una característica que es el aprendizaje intuitivo.[31]

- **Aprendizaje intuitivo:** Indica que el usuario final, pueda aprender el funcionamiento del producto a entregar de una manera factible e intuitivamente, en un tiempo determinado.[34]

Para medir este atributo de calidad, se evaluó la facilidad de uso y la experiencia del usuario (UI, UX) al interactuar con la herramienta de software. Esto fue esencial, al momento de estructurar sistemas de generación hidráulica o fotovoltaica, o al recopilar y analizar datos de dichos sistemas. De esta manera, se aseguró que la herramienta sea intuitiva y deductiva.[31]

**Portabilidad:** La herramienta software sea capaz de ser utilizada en diferentes lugares, teniendo en cuenta una característica que es la adaptabilidad.

- **Adaptabilidad:** Indica que la herramienta software tenga la capacidad de adaptarse de forma efectiva y eficiente a diferentes entornos determinados de hardware, software y de uso. [35]

Para medir este atributo de calidad, se orientó a un entorno web. Con ello, se busca la flexibilidad de poder acceder a la herramienta software desde cualquier lugar y con cualquier equipo.[31]

## 1) *Definición nominal de las variables*

### a. *Sistema fotovoltaico definición nominal*

- **Panel:** Los paneles solares fotovoltaicos capturan la luz solar y generan electricidad en forma de corriente continua. Existen diversos tipos de paneles, elegidos según su eficiencia y el espacio disponible, para adaptarse a diferentes necesidades.[36]
- **Tipo de panel:**

**Paneles solares de silicio monocristalino:** Fabricados desde la década de 1950 con silicio puro en forma cilíndrica, los paneles monocristalinos son conocidos por su alto rendimiento[37]. Un estudio en Pasto mostró una eficiencia del 10.8%. [20]

**Paneles solares de silicio policristalino:** Estos paneles se hacen con varios cristales de silicio y se forman en láminas cuadradas. Son menos tolerantes al calor y necesitan más espacio, pero son efectivos con luz solar difusa. [37]Un estudio en Pasto mostró una eficiencia del 10.07%. [20]

**Paneles solares de silicio amorfo:** Compuestos por una película delgada sobre una base de acero, estos paneles tienen baja densidad energética y requieren más espacio[37], con una eficiencia de 5.74% según un estudio en Pasto[20].

- **Regulador:** Un regulador de voltaje protege instalaciones eléctricas contra variaciones de voltaje, un problema común influenciado tanto por el suministro de energía como por prácticas de otros usuarios en la red. Aunque puede parecer normal, no protegerse de estas variaciones puede ser costoso a corto y largo plazo. Las principales razones para usar un regulador incluyen prevenir daños en los componentes, extender la vida útil de los equipos y mantener su rendimiento óptimo.[38]
- **Inversor:** Los inversores son cruciales en instalaciones de autoconsumo eléctrico, transformando corriente continua (CC) en alterna (CA). Ofrecen varias ventajas:

**Eficiencia Mejorada:** Optimizan la producción de energía de los paneles solares, maximizando la eficiencia.

**Seguridad:** Protegen contra problemas eléctricos, asegurando la seguridad del usuario y la continuidad del suministro.

**Flexibilidad:** Permiten ajustar el voltaje según las necesidades de consumo, optimizando el uso de la instalación.

**Durabilidad:** Aseguran una larga vida útil del sistema, protegiendo la inversión realizada.[39]

- **Batería:** Una batería es un dispositivo de almacenamiento de energía que opera mediante un proceso reversible de reducción-oxidación. Durante este proceso, un componente se oxida (pierde electrones) y otro se reduce (gana electrones). Esto permite que los componentes no se consuman permanentemente, sino que simplemente cambien su estado de oxidación y puedan regresar a su estado original bajo condiciones adecuadas, como el cierre del circuito durante la descarga o la aplicación de corriente externa durante la carga. La capacidad de la batería se mide en amperios hora (Ah), aunque la capacidad real suele ser inferior a la teórica, es decir, nunca alcanza el 100%.[40]

- **Tipo de carga:**

**Cargas Lineales:** Una carga lineal, se basa en que la corriente eléctrica debe ser directamente proporcional a la potencia aplicada, es decir que esta permanece constante sin tener en cuenta el voltaje aplicado.

**Cargas No Lineales:** Una corriente no lineal, es aquella que la resistencia cambia, teniendo en cuenta la tensión o corriente aplicada, es decir que la resistencia no es constante.[41]

**Carga Inductiva:** Las bobinas o devanados, que consisten en alambres enrollados alrededor de un núcleo, son ejemplos fundamentales de componentes inductivos. Estas bobinas generan un campo magnético variable cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellas. Este campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en otros circuitos cercanos mediante el fenómeno de la inducción electromagnética que interactúa con imanes o campos magnéticos externos para producir movimiento mecánico.[42]

- **Irradiación:** La irradiancia solar es la cantidad de energía solar que llega a una superficie específica por unidad de área en un momento dado, medida en vatios por metro cuadrado (W, m<sup>2</sup>).

El estudio y medición de la irradiación solar tienen aplicaciones significativas en diversos campos. Por ejemplo, es crucial para prever la producción energética en plantas solares y para estimar las necesidades de calefacción y refrigeración en edificaciones. Desempeñando un papel importante en la modelización climática y en la meteorología, facilitando la elaboración de pronósticos más precisos y el estudio de patrones climáticos.[43]

***b. Sistema hídrico definición nominal***

- **Motobomba:** Las motobombas o bombas de agua son dispositivos que transforman energía mecánica, proveniente de motores eléctricos o de combustión, en energía hidráulica[44]. Esta conversión de energía permite el traslado de líquidos entre dos puntos, utilizando mangueras de succión y descarga. El uso adecuado de estas bombas implica seguir ciertos procedimientos de encendido, incluyendo la revisión de los líquidos del motor y asegurarse de que la bomba esté correctamente llena de líquido. Es esencial adherirse a las instrucciones específicas de uso y mantenimiento para garantizar el funcionamiento óptimo de la máquina.[45]
- **Inyector:** Ajusta el flujo y la demanda de energía eléctrica, mientras que una válvula de aguja mantiene constante la velocidad del flujo, incluso con variaciones, para evitar

golpes. Los inyectores tienen reflectores que protegen y modulan el chorro durante cambios, permitiendo ajustes más graduales. Adicionalmente, la apertura de la válvula de aguja ocurre cuando la presión del líquido supera a la del resorte regulador, que cierra la válvula al finalizar la inyección, asegurando eficiencia en el proceso.[46]

- **Caudalímetro:** Un caudalímetro es un dispositivo diseñado para medir el flujo de un fluido, ya sea en términos de volumen o masa. Se instala directamente en la tubería que transporta el fluido. Existen dos tipos principales de caudalímetros: mecánicos y no mecánicos. Los mecánicos utilizan partes móviles afectadas por el flujo del agua para medir la velocidad, mientras que los no mecánicos usan métodos electrónicos para evaluar la velocidad del agua sin partes móviles. Un tipo específico de caudalímetro no mecánico es el de inserción, que se monta en una abertura de la tubería y mide la velocidad local del fluido para estimar el caudal total.[47]
- **Turbina:** La turbina Pelton, también conocida como rueda hidráulica tangencial o turbina de presión, es una máquina que convierte la energía cinética del agua en energía mecánica mediante un rodete equipado con cucharas en su periferia. Cuando un chorro de agua de alta presión impacta las cucharas, la energía cinética del agua se transfiere al rodete, haciendo que gire. Este movimiento rotatorio se puede usar para generar electricidad en plantas hidroeléctricas, especialmente en sitios con grandes caídas de agua y bajo caudal. Las turbinas Pelton pueden tener un eje horizontal o vertical, dependiendo de la disposición de la instalación hidroeléctrica. [48]
- **Generador eléctrico:** Son máquinas que convierten la energía cinética y potencial del agua en energía eléctrica utilizando el principio de inducción electromagnética. Funcionan mediante una bobina de alambre que gira dentro de un campo magnético generado externamente. Cuando el agua en movimiento hace girar la bobina, se induce una corriente eléctrica, que luego se utiliza como electricidad. Estos generadores son utilizados en lugares donde no hay acceso a una fuente de energía eléctrica convencional, como arroyos, cascadas o mareas. Son una opción económica, eficiente y respetuosa con el medio ambiente para la generación de electricidad.[49]

- **Eficiencia:** Indica qué tan efectivamente el generador convierte la energía mecánica recibida de la turbina en energía eléctrica( $\eta$ ).[50]

La eficiencia de un sistema de generación hidroeléctrica se define como la relación entre la energía producida por el sistema y la energía disponible del recurso hídrico. Este cálculo toma en cuenta factores críticos como la configuración y el rendimiento de los grupos turbina-alternador, a parte del aprovechamiento óptimo del agua disponible.

Es importante considerar diversas situaciones que pueden afectar la eficiencia del sistema. Entre estas se incluyen el estado operativo de la unidad y el desgaste o deterioro de la turbina, que pueden conducir a una pérdida de rendimiento.[51]

## 2) Definición operativa de variables

### a. Sistema fotovoltaico definición operativa

- **Panel:**

**Paneles solares en Serie:** supongamos que tenemos **n** paneles solares conectados en serie, para saber la potencia total se suma el voltaje de cada panel y se deja la corriente mínima como constante.[52]

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V \text{ total} \quad (17)$$

$$I = I_{\min}$$

$$P_{\text{total}} = V * I$$

**Paneles solares en Paralelo:** supongamos que tenemos **n** paneles solares conectados en paralelo, para saber la potencia total se suma la corriente de cada panel y se deja el voltaje mínimo como constante.[52]

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I \text{ total} \quad (18)$$

$$V = V_{\min}$$

$$P_{total} = V * I$$

Para calcular la potencia total de un arreglo de paneles solares en serie-paralelo, primero calculamos la potencia de cada serie. Luego, tratamos estas series como si fueran paneles individuales conectados en paralelo y calculamos su potencia. El resultado es la potencia total del arreglo.[53]

- **Tipo de panel:** Para determinar la eficiencia, se divide la potencia del panel, por el tamaño del panel, multiplicado por 100.[54]

$$Eficiencia\ del\ panel(\%) = \left( \frac{Potencia\ del\ panel\ (W)}{Tamaño\ del\ panel\ (m^2)} \right) * 100 \quad (19)$$

- **Regulador:** Para seleccionar el regulador adecuado, es fundamental considerar la potencia generada por el panel solar, así como los voltajes de salida del panel y de entrada requeridos por la batería. Estos valores determinan la corriente y el voltaje necesarios para elegir el regulador más apropiado.

$$I\ Resultante\ (A) = \frac{Potencia\ del\ panel\ (W)}{Voltaje\ de\ batería\ (V)} \quad (20)$$

Buscamos un regulador que tanto el voltaje como la corriente sean mayores o iguales a la corriente resultante y el voltaje del panel.[55]

- **Inversor:** Para seleccionar el regulador adecuado, es fundamental considerar que el inversor debe operar al mismo voltaje que la red eléctrica de la casa, ya sea 110 V o 220 V, la corriente generada por el panel solar no debe exceder la corriente máxima que el inversor puede manejar, la potencia generada por el panel solar debe ser compatible con la capacidad de entrada de potencia del inversor.[56]

$$Potencia\ nominal\ panel \leq Potencia\ Entrada\ Inversor \quad (21)$$

- **Batería:**

**Banco de batería en Serie:** supongamos que tenemos  $n$  baterías conectados en serie, para saber la energía total se suma el voltaje de cada batería y se saca el promedio de la capacidad.

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V \text{ total} \quad (22)$$

$$\text{Capacidad (Ah)} = \text{Capacidad (Ah)}_{avg}$$

$$\text{Energía (Wh)} = V * \text{Capacidad (Ah)}$$

**Banco de batería en Paralelo:** supongamos que tenemos  $n$  baterías conectados en paralelo, para saber la energía total se suma la capacidad de cada batería y se deja el voltaje mínimo como constante.

$$\text{Capacidad (Ah)}_1 + \text{Capacidad (Ah)}_2 + \dots + \text{Capacidad (Ah)}_n = \text{Ah total} \quad (23)$$

$$V = V_{min}$$

$$\text{Energía (Wh)} = V * \text{Capacidad (Ah)}$$

Para calcular la energía total de un banco de baterías en serie-paralelo, primero calculamos la energía de cada serie. Luego, tratamos estas series como si fueran baterías individuales conectados en paralelo y calculamos su energía. El resultado es la energía total del banco de baterías.[57]

- **Carga:** Para comenzar, es fundamental tener en cuenta que existen diferentes tipos de cargas: lineales, no lineales e inductivas. Para gestionar eficazmente estas cargas con un inversor[58], el primer paso es calcular la cantidad de carga instalada. Luego, se determina la carga demandada, lo cual varía dependiendo del tiempo y permite estimar el consumo que será suministrado por el inversor.[59]

$$\text{Carga}_1 + \text{Carga}_2 + \dots + \text{Carga}_n = \text{Carga Instalada (W) paso a (kW)} \quad (24)$$

De esa cantidad de cargas instaladas, se enciende dos cargas en el ejemplo para empezar a consumir energía.

$$Carga_1 + Carga_2 = Carga\ Demandada\ (W)\text{paso a (kW)} \quad (25)$$

$$Carga\ Demandada\ (kW) * Tiempo\ en\ horas = Consumo\ en\ kWh$$

- **Irradiación:** La irradiancia ( $Wm^2$ ), esta se detalla como la densidad de potencia espectral, que indica la potencia por unidad de área y longitud de onda.[20]

$$G = \int_0^\lambda P(\lambda)d\lambda \quad (26)$$

**b. Sistema hídrico definición operativa**

- **Motobomba:** Para tener en cuenta el proceso de la motobomba, se realiza la ecuación simplificada que resulta de la relación entre la altura de la energía hidráulica y el caudal, considerando la densidad del agua, la eficiencia y la gravedad constante.[14]

$$P = Potencia, \rho = densidad \left(997 \frac{kg}{m^3}\right), g = gravedad (9,8m, s^2) \quad (27)$$

H = altura, A area transversal, v = Velocidad, η = Eficiencia

$$P = \rho * G * H * A * v * \eta$$

$$P (kW) = 7QH$$

- **Inyector:** El procedimiento del inyector aplicando el efecto Venturi que nos indica que un diámetro más pequeño generará una mayor presión de agua con la misma cantidad de fluido.[30]

$$A_1 > A_2 \quad V_1 < V_2 \quad (28)$$

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

$$P_1 > P_2$$

- **Caudalímetro:** La distancia recorrida por el agua en un tiempo determinado es igual a la velocidad. [15]

$$Q = S * \frac{d}{t} = S * v \quad (29)$$

- **Turbina:** Se tiene presente la potencia hidráulica de la turbina, entre mayor sea la velocidad de rotación, mayor es la potencia generada, para calcular esto se tiene en cuenta; la potencia hidráulica (kW), la aceleración de la gravedad que es de 9,81 m, s<sup>2</sup>, el caudal en m<sup>3</sup>, s y el salto (columna de agua) medido en metros. [60]

$$P_H(kW) = g \left( \frac{m}{s^2} \right) * Q \left( \frac{m^3}{s} \right) * H(m) \quad (30)$$

- **Generador eléctrico:** Según la ecuación de Bernoulli, si en el pasar del fluido no hay rozamiento, no hay pérdida de energía. [61], para saber la energía generada se tiene en cuenta la energía potencial, la energía cinética, la presión ejercida por el líquido y con ello llegaremos a obtener la energía total. [12]

$$m = \text{masa}, g = \text{gravedad}, z = \text{altura}, p = \text{presion}, v = \text{velocidad} \quad (31)$$

$$Eh = m \cdot g \cdot Z$$

$$Ep = p \cdot m \cdot g$$

$$Ec = m \cdot \left( \frac{v^2}{2} \right)$$

$$\text{Energía total } Ei = Eh + Ep + Ec$$

- **Eficiencia:** Para poder conseguir la eficiencia de la generación de energía, se tiene en cuenta la potencia eléctrica generada y la potencia mecánica de entrada. [50]

$$\eta a = \frac{Pa}{Pm} \quad (32)$$

#### ***D. Formulación de hipótesis***

##### ***1) Hipótesis de investigación***

La herramienta software recopila y analiza datos con una efectividad superior al 90% de acuerdo con los parámetros de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, conforme a los requerimientos necesarios del laboratorio de la Universidad CESMAG.

##### ***2) Hipótesis nula***

La herramienta software no recopila ni analiza datos con una efectividad superior al 90% de acuerdo con los parámetros de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, conforme a los requerimientos necesarios del laboratorio de la Universidad CESMAG.

##### ***3) Hipótesis alterna***

La herramienta software puede apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje en la estructuración de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, mejorando la representatividad y validez de los resultados obtenidos a partir de las estructuras virtuales, con una efectividad comprendida entre el 80% y el 90%.

### **III. METODOLOGÍA**

#### ***A. Paradigma***

Para este proyecto de investigación, se adoptó un paradigma positivista, dado que se buscó obtener datos objetivos y medir relaciones entre variables de manera cuantitativa. Esto se alineó con el objetivo de desarrollar un software de recopilación y análisis de datos para sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, donde se pretendió cuantificar el comportamiento de los generadores y su eficiencia en la generación eléctrica renovable.

#### ***B. Enfoque***

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, debido a que se buscó obtener datos numéricos para medir y analizar el comportamiento de los sistemas de generación eléctrica renovable. El desarrollo del software de recopilación y análisis de datos se orientó hacia la objetividad y la medición precisa de las variables involucradas en la generación hídrica y fotovoltaica.

#### ***C. Método***

Se aplicó el método científico como marco de investigación, lo que implica la formulación de hipótesis, la recopilación de datos y la verificación empírica de fenómenos relacionados con la generación eléctrica renovable. Este método permitió validar la eficacia del software desarrollado y su capacidad para recopilar y analizar datos de manera precisa.

#### ***D. Tipo de investigación***

El tipo de investigación fue descriptivo, porque se pretendió describir el comportamiento de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica en función de diferentes variables y parámetros. Se buscó identificar cómo influyen estas variables en la eficiencia y rendimiento de los generadores, sin establecer relaciones causales.

### **E. Diseño de investigación**

Se utilizó un diseño cuasiexperimental para evaluar la eficacia del software de recopilación y análisis de datos. Esto implicó la manipulación controlada de variables y la comparación de resultados obtenidos mediante el software con valores observados en condiciones reales.

El trabajo corresponde a un diseño cuasiexperimental.

$G_1$	$O_1$	$X_1$	$O_2$
$G_2$	$O_3$	--	$O_4$
$G_3$	$O_5$	$X_2$	$O_6$
$G_4$	$O_7$	--	$O_8$

**Fuente.** Elaboración Propia

En donde:

- G1-G2: Diseño de sistemas de generación fotovoltaica.
- G3-G4: Diseño de sistemas de generación hídrica.
- O1-O3: Se realizan prepruebas al grupo de estructura fotovoltaica.
- O5-O7: Se realizan prepruebas al grupo de estructura hídrica.
- X1-X2: Recopilación y análisis de datos, estructuración y verificación de su eficiencia, por medio de la herramienta software.
- --: Recopilación y análisis de datos, estructuración y verificación de su eficiencia, por medio de método tradicional (archivos planos).
- O2-O4: Resultado de comparación, para visualizar si hubo o no, el efecto esperado en la posprueba, con respecto a las estructuras fotovoltaicas.
- O6-O8: Resultado de comparación, para visualizar si hubo o no, el efecto esperado en la posprueba, con respecto a las estructuras hídricas.[62]

### **F. Población**

La población estuvo constituida por las estructuras virtuales de sistemas de generadores hídricos y fotovoltaicos desarrolladas en la herramienta software, considerando este conjunto como una población finita. Estas estructuras virtuales representaron una variedad de condiciones y

parámetros del mundo real, lo que permitió simular diversos escenarios de generación de energía hídrica y fotovoltaica.

### **G. Muestra**

Las estructuras diseñadas mediante software garantizaron la representatividad de los resultados. Se empleó un método de muestreo no probabilístico, para seleccionar las estructuras virtuales que formaron parte de la muestra según criterios investigativos, asegurando la validez y fiabilidad de los datos recopilados. La muestra consistió en 2 estructuras de sistemas fotovoltaicos (75%) y 1 estructura de sistema hídrico (25%).

### **H. Técnicas de recolección de información**

Se llevó a cabo una entrevista semi-estructurada con un experto en el campo de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, lo que nos permitirá obtener datos detallados. De la misma forma, se realizó un análisis exhaustivo de documentos, artículos y libros relacionados con el tema de investigación. Se utilizaron sensores y una estación meteorológica para la obtención de datos en tiempo real sobre el rendimiento de los sistemas de generación. Los datos recopilados se almacenaron y gestionaron en bases de datos para facilitar su análisis y procesamiento. Finalmente, se utilizaron modelos reales para evaluar diferentes parámetros y optimizar el desempeño de los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica.

#### **1) Validez de las técnicas de recolección**

El proyecto empleó diversas técnicas para recolectar información sobre generación hídrica y fotovoltaica, evaluando la efectividad del software, asegurando que fue deductivo e intuitivo. La entrevista proporcionó datos detallados y específicos sobre la estructuración de estos sistemas[63]. Por otro lado, el análisis documental permitió una investigación exhaustiva de las operaciones involucradas, facilitando la representación unificada de la información y la comprensión del proceso analítico[64]. El uso de sensores y una estación meteorológica garantizó la obtención de datos precisos y actualizados, mientras que las bases de datos permitió una gestión eficiente de dicha información[65]. Los modelos de simulación ofrecieron información del comportamiento en diversos escenarios.

## **2) *Confiabilidad de las técnicas de recolección***

Para asegurar la confiabilidad de las técnicas de recolección de datos, fue esencial seguir procedimientos rigurosos. En una entrevista semi-estructurada con un experto, se empleó preguntas específicas para obtener información coherente y detallada, asegurando así resultados consistentes. En el análisis documental, la verificación de la autenticidad de la información fue crucial al considerar documentos, artículos o libros. La precisión de los datos obtenidos mediante sensores para comparativa con estructuras reales y una estación meteorológica se garantizó a través de calibraciones y procedimientos de control de calidad. Las bases de datos se mantienen seguras y organizadas para evitar la pérdida de información y errores. Los modelos de simulación se validaron mediante pruebas comparativas con datos reales.

### ***I. Instrumentos de recolección de información***

Se emplearon diferentes métodos para la recolección de información. Para las entrevistas, se asignaron un tiempo adecuado, durante el cual se explicó teórica y prácticamente los sistemas de generación de energía hidráulica y fotovoltaica, documentándose mediante notas detalladas y registros fotográficos. Para el análisis documental, se utilizó un ordenador con conexión a internet, permitiendo un análisis exhaustivo y bien formulado mediante fuentes tanto en línea como libros de instituciones académicas. Los sensores y una estación meteorológica se utilizaron para recolectar datos en tiempo real sobre el rendimiento de los sistemas. Estos datos se almacenaron en bases de datos diseñadas para este propósito, facilitando su análisis posterior. Los modelos de simulación se compararon junto con modelos reales para evaluar el desempeño y eficiencia de los sistemas bajo estudio.

## IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### A. *Recopilar los requerimientos del sistema.*

Para cumplir con el primer objetivo, correspondiente a la recopilación de los requerimientos del sistema, se consideraron diversos factores clave que permitieron establecer una base sólida para el desarrollo del software. Entre estos factores se encuentran los siguientes:

#### 1) *Requerimientos funcionales separados por módulos.*

La identificación de los requerimientos funcionales del sistema se llevó a cabo mediante una reunión con el docente responsable de la investigación. Durante esta sesión, se realizó un análisis de las necesidades específicas del software, con el objetivo de garantizar su adecuación a los requerimientos académicos y experimentales.

Entre los requisitos identificados, se estableció la necesidad de integrar la visualización en tiempo real de la irradiancia captada por la estación meteorológica Davis Vantage Pro2, permitiendo un monitoreo preciso de las condiciones climáticas. De igual manera se definió la funcionalidad de creación de proyectos energéticos en los ámbitos hídricos y fotovoltaicos, utilizando equipos disponibles en el inventario del laboratorio de la Universidad CESMAG.

Con el fin de garantizar una gestión eficiente, se implementó una estructura basada en roles diferenciados. En este sentido, el rol administrativo posee la capacidad de registrar nuevos componentes, generar informes sobre la eficiencia de los proyectos y modificar parámetros de personalización de los perfiles de usuario. Se estableció que los proyectos creados deben ser ejecutables, permitiendo la obtención de datos en función de los parámetros ingresados.

A continuación, se especifica los requerimientos funcionales separado por módulos:

#### a. *Autenticación y Registro:*

- Creación de cuenta y autenticación de usuario para acceder al sistema.
- Edición de los datos personales de la cuenta.

***b. Creación de Proyectos:***

- Creación de nuevos proyectos de energía fotovoltaica.
- Creación de nuevos proyectos de energía hídrica.
- Un listado de los proyectos del usuario.
- Edición y eliminación de proyectos.
- Configuración de arreglos de paneles solares para simulaciones.
- Creación de bancos de baterías solares para simulaciones.
- Opción de añadir inversores para la simulación.
- Seleccionar un regulador en caso de que el inversor no lo incluya.
- Visualización de información detallada sobre los arreglos, inversores y bancos de baterías utilizados.
- Incorporación de motobombas con diversas características para la simulación.
- Adición de tanque con diferentes capacidades para la simulación.
- Incorporación de turbinas con diversas características para la simulación.
- Adición de generador eléctrico para la simulación.
- Visualización de información detallada sobre el tanque, motobomba, generador y turbinas utilizados.
- Conexión de los componentes para formar una estructura dentro del proyecto.
- Incorporación de diversas cargas a la estructura de energía renovable.
- Visualización gráfica de estructura de componentes.
- Visualización de información del sistema de generación de energía.
- Comparación de resultados de sistemas de generación de energía.

***c. Creación de Componentes:***

- Un listado de los componentes añadidos.
- Edición y eliminación de componentes.
- Adición de nuevos paneles con especificaciones para sistemas fotovoltaicos.
- Opción de seleccionar si el inversor incluye un regulador o no.
- Incorporación de nuevos inversores con sus características específicas para sistemas fotovoltaicos.
- Adición de nuevos reguladores con sus especificaciones para sistemas fotovoltaicos.

- Inclusión de nuevas baterías con sus características para sistemas fotovoltaicos.
- Adición de nuevas motobombas con sus características específicas para sistemas hídricos.
- Inclusión de nuevos generadores con especificaciones para sistemas hídricos.

**d. Informes y Estadística:**

- Generación de informes sobre recursos por proyecto creado.
- Generación de informes sobre rendimiento energético por proyecto.
- Visualización de datos de irradiancia recolectados de la estación meteorológica.
- Observación de datos provenientes de un modelo de predicción de irradiancia.

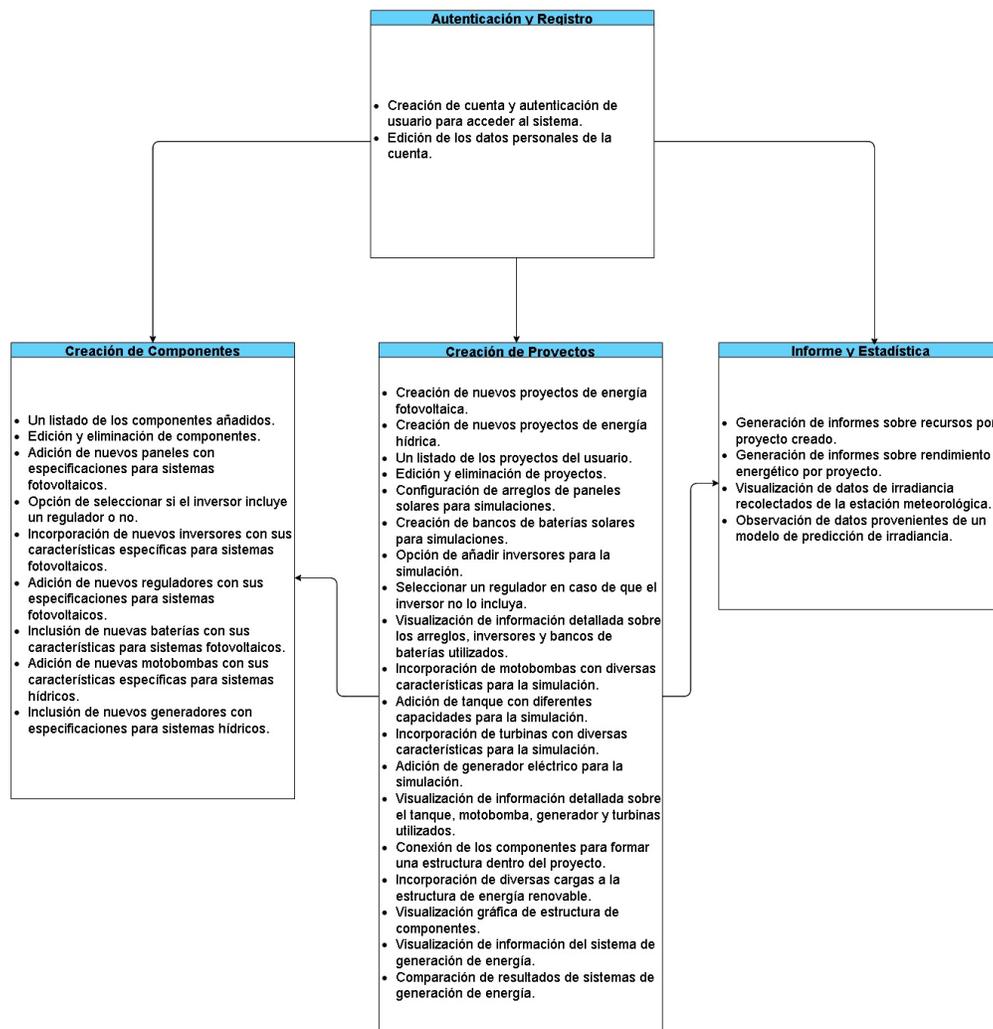


Fig. 26 Requerimientos funcionales por módulos

La Figura 26 muestra las conexiones de cada módulo junto con sus respectivos requisitos.

## **2) *Implementación de metodología de desarrollo.***

Para la implementación de la metodología de desarrollo, se adoptó Scrum, un marco ágil que permite organizar el proyecto en tareas iterativas (Sprints), facilitando la gestión eficiente incluso en un entorno de desarrollo individual.

Esta metodología permitió un control riguroso de actividades, reduciendo márgenes de error y garantizando entregas progresivas del producto. Se definieron 58 historias de usuario en el Product Backlog, distribuidas en ocho Sprints, priorizadas y secuenciadas funcionalmente.

Garantizando así la realización de pruebas unitarias y funcionales para validar el correcto desempeño del sistema.

### ***a. Lista de Historias de Usuario***

Con el objetivo de optimizar la comprensión, trazabilidad y análisis de las historias de usuario, estas fueron clasificadas según módulos funcionales y alineadas con los distintos perfiles de usuario del sistema. Esta organización permite una visión clara del alcance por componente y por rol, y sirve como base para la ejecución estructurada bajo el marco ágil Scrum. Para una visualización detallada, se recomienda consultar el **Anexo 6**.

### ***b. Product Backlog***

El Product Backlog fue estructurado considerando la priorización funcional y la asignación por iteraciones (Sprints), lo que permitió una planificación incremental y adaptativa del desarrollo.

**PRODUCT BACKLOG**

<i>id</i>	<i>Como...</i>	<i>Necesito...</i>	<i>Para...</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Sprint</i>	<i>Estado</i>
1	Usuario/Aministrador	Crear una cuenta.	Interactuar con la Plataforma.	Baja	1	Hecho
2	Usuario/Aministrador	Iniciar sesión.	Realizar nuevos proyectos.	Baja	1	Hecho
3	Usuario/Aministrador	Editar mis datos.	Mantenerlos actualizados	Baja	1	Hecho
4	Usuario/Administrador	Ver mis proyectos creados.	Utilizarlos en lo que necesito.	Baja	4	Hecho
5	Usuario/Administrador	Editar mi proyecto seleccionado.	Realizar algunos cambios.	Alta	4	Hecho
6	Usuario/Administrador	Eliminar mi proyecto seleccionado.	Que no se acumulen proyectos que ya no necesitare.	Baja	4	Hecho
7	Usuario/Administrador	Crear nuevas estructuras fotovoltaicas.	Verificar proyectos reales.	Alta	1	Hecho
8	Usuario/Administrador	Crear nuevas estructuras hídricas.	Verificar proyectos reales.	Alta	5	Hecho
9	Usuario/Administrador	Crear arreglos de paneles.	Aumentar la capacidad de generación de energía de la simulación.	Alta	2	Hecho
10	Usuario/Administrador	Seleccionar cada panel de incógnito del arreglo creado.	Asignarle qué tipo de panel es.	Media	2	Hecho
11	Usuario/Administrador	Agregar Inversores.	Que los arreglos y baterías se puedan conectar al inversor.	Alta	2	Hecho

Fig. 27 Diagrama de Proceso para la Visualización y Descarga de Datos de Irradiancia

La Figura 27 muestra las primeras historias de usuario del Product Backlog, en una tabla estructurada que incluye los siguientes campos clave como ID, Rol (Como...), Necesidad (Necesito...), Objetivo (Para...), Prioridad: (Alta, Media, Baja), # Sprint, Estado (Hecho, Pendiente, En progreso.).

Esta organización facilita la gestión del avance del proyecto, la definición de entregables por Sprint y el seguimiento de tareas. Para una vista completa y ordenada del Backlog, se sugiere revisar el **Anexo 7**.

### 3) *Diagrama de Proceso.*

Para la elaboración de los diagramas de proceso, se tomaron en cuenta las historias de usuario, los criterios de evaluación y la funcionalidad esperada de cada módulo dentro del sistema. Este enfoque permitió estructurar visualmente los flujos de trabajo, facilitando la identificación de interacciones clave entre los distintos componentes. Como resultado, se generaron 57 diagramas de proceso, fusionando algunos debido a la similitud en sus actividades y criterios de evaluación.

Dado que los diagramas de proceso son esenciales para comprender el comportamiento del sistema y garantizar su alineación con los requerimientos funcionales, se optó por utilizar la plataforma draw.io, recurso Web 2.0 con herramientas especializadas en este tipo de diagramación.

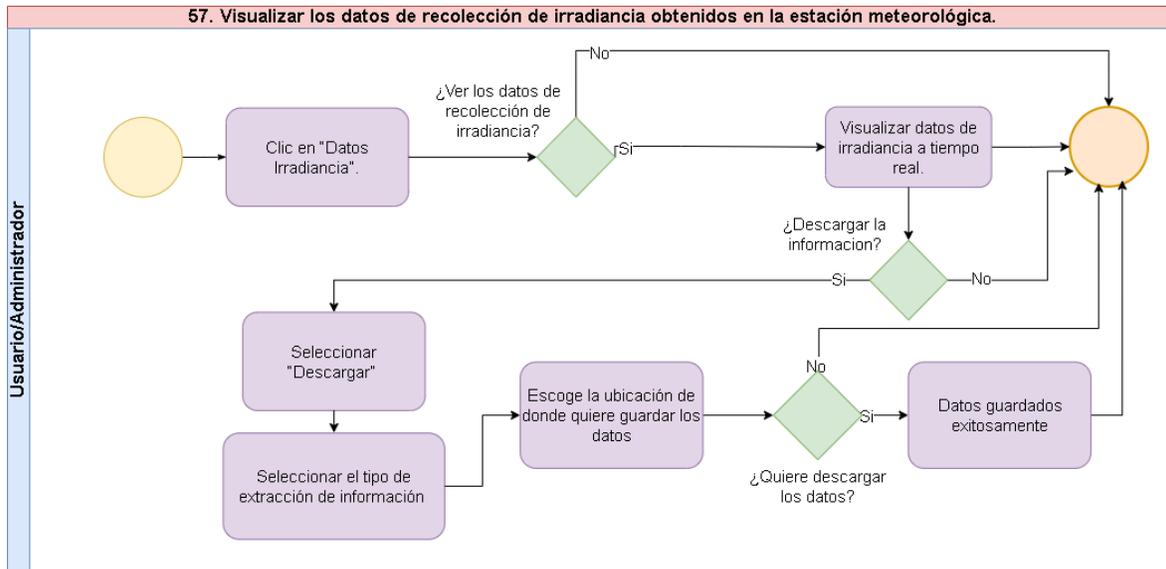


Fig. 28 Diagrama de Proceso para la Visualización y Descarga de Datos de Irradiancia

La Figura 28 representa un diagrama de proceso fundamental en el desarrollo de este sistema de información, en el que se detallan la visualización en tiempo real y la descarga de datos de irradiación a través de la estación meteorológica Vantage Pro2. Estas funcionalidades son esenciales para el análisis, la supervisión y el monitoreo eficiente de los sistemas de generación fotovoltaica.

Para una visualización detallada de los diagramas elaborados, se recomienda consultar el **Anexo 8**.

#### 4) *Realización de Mockups.*

Para el diseño de mockups, se tomaron en cuenta las historias de usuario y los diagramas de proceso, permitiendo visualizar de manera estructurada las funcionalidades del sistema antes de su desarrollo. Como resultado, se generaron 45 mockups, proporcionando una representación abstracta pero funcional de la interfaz y la experiencia del usuario. Para optimizar su creación, se utilizó la plataforma moqups.com.

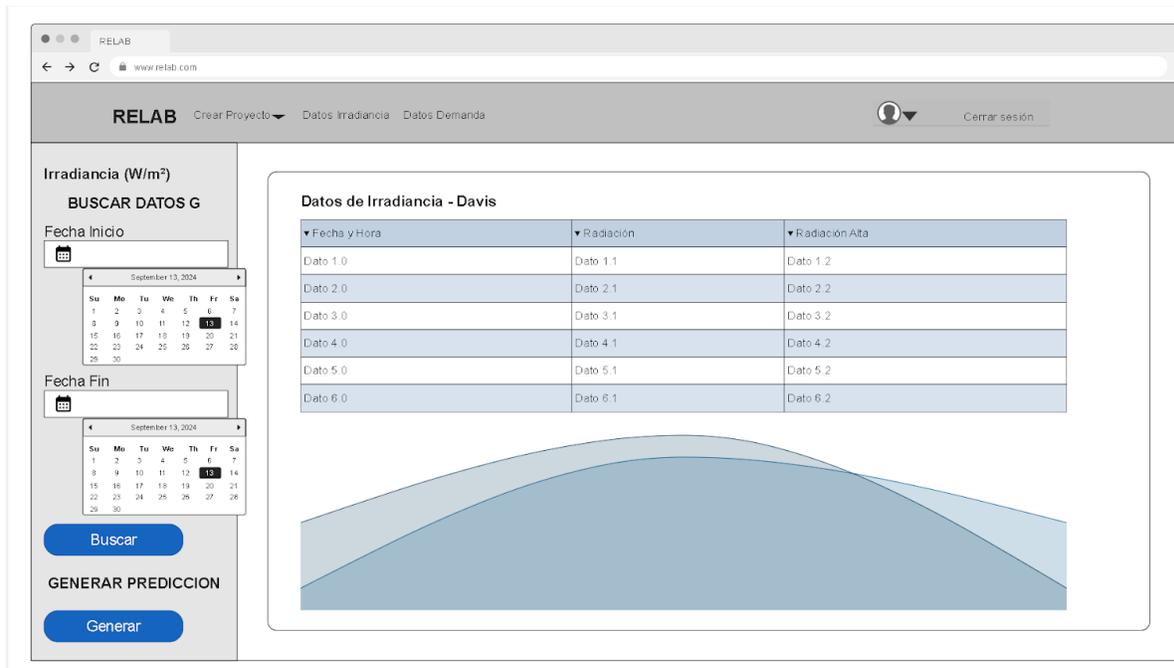


Fig. 29 Mockup de Visualización de Datos de Irradiancia – Vantage Pro 2

La figura 29 muestra el mockup de la interfaz diseñada para la visualización y consulta de los datos de irradiancia obtenidos de la estación meteorológica Vantage Pro 2.

Para una visualización detallada de los mockups elaborados, se recomienda consultar el **Anexo 9**.

### 5) *Modelo entidad relación.*

El modelo Entidad-Relación (MER) del sistema fue diseñado con base en todas las funcionalidades establecidas, resultando en 32 entidades, cada una con un promedio de 17 atributos. Para garantizar un diseño eficiente, se aplicaron tres niveles de normalización en la base de datos, con el propósito de organizar los datos de manera óptima, asegurando accesibilidad, eficiencia y reducción de errores.

La normalización se implementó para eliminar redundancias, minimizar errores en la modificación de datos, optimizar el espacio de almacenamiento y simplificar el proceso de

consulta, permitió proteger la integridad de los datos y facilitar la gestión de múltiples fórmulas y equipos en distintos proyectos, mejorando la interoperabilidad y el rendimiento general del sistema.

El diagrama relacional de base de datos proporciona una visión estructurada de la lógica y el flujo de funcionamiento entre las diferentes tablas que componen el sistema de información web. Este diagrama es fundamental para garantizar que la gestión de datos, como la creación, actualización, eliminación y almacenamiento, se realice de manera eficiente, permitiendo que el sistema cuente con la información necesaria para operar correctamente. Esta representación facilita la comprensión de cada entidad, sus atributos de almacenamiento, las relaciones entre ellas y sus respectivas cardinalidades, ofreciendo así una visión completa del diseño de la base de datos.

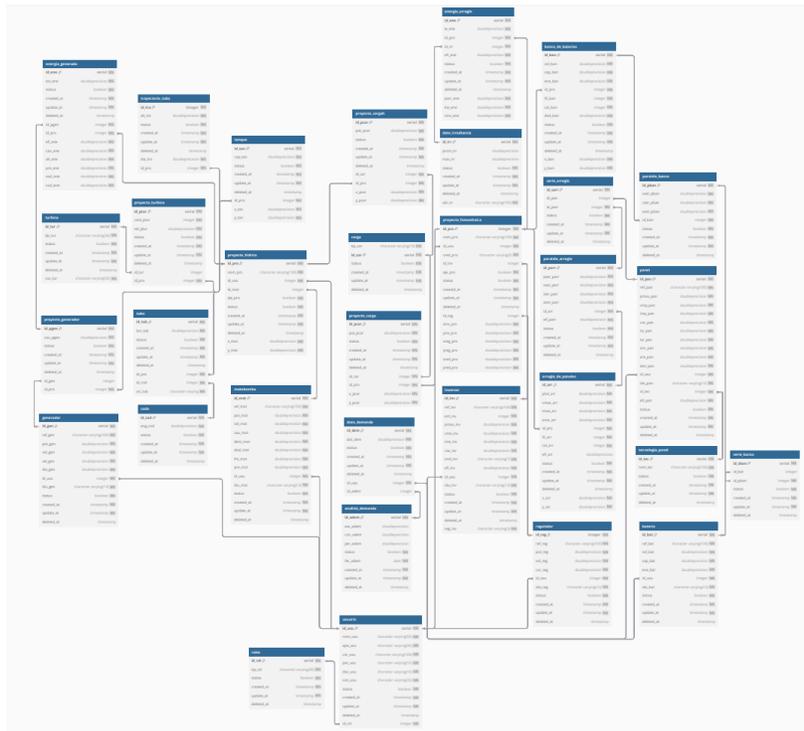


Fig. 30 Diagrama Relacional de RELAB

La Figura 30 representa diagrama relacional de toda la estructuración de las entidades junto con su correspondiente relación.

En la documentación técnica de base de datos, se presenta el levantamiento detallado de las entidades, sus atributos, relaciones y cardinalidades, diccionario de datos, lo que permite un mejor

control sobre la funcionalidad del sistema. Para una mejor visualización y comprensión de la estructura planteada, se recomienda consultar el **Anexo 10**

## **B. Desarrollo del software**

### **1) Fórmulas de generación de energía.**

#### **a. Generación de energía Fotovoltaica**

##### **1. Arreglo de paneles**

Para determinar la potencia total de un sistema fotovoltaico, es fundamental conocer el número de paneles y su configuración en serie o paralelo. Cada panel tiene un voltaje y una corriente específicos, y su disposición influye en la tensión y la corriente total del sistema.

Arreglo de paneles conectados en serie.

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V \text{ total} \quad (33)$$

$$I = I_{\min}$$

Arreglo de paneles conectados en paralelo.

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I \text{ total} \quad (34)$$

$$V = V_{\min}$$

##### **2. Potencia**

La potencia de salida de un sistema fotovoltaico se obtiene multiplicando el voltaje total por la corriente total generada por los paneles. Esta potencia varía en función de la radiación solar incidente y la eficiencia del sistema.

$$P_{\text{total}} = V * I \quad (35)$$

##### **3. Área de panel**

El área del panel es un factor clave para determinar la cantidad de energía captada. Paneles más grandes permiten captar más radiación solar, lo que influye en la potencia generada.

$$A = b * h \quad (36)$$

#### 4. Eficiencia paneles

La eficiencia se determina dividiendo la potencia nominal del panel, expresada en vatios (W), entre el producto del área del panel, en metros cuadrados, y la irradiancia incidente, multiplicando el resultado por 100 para expresarlo en porcentaje.

$$Eficiencia\ del\ panel(\%) = \left( \frac{Potencia\ del\ panel\ (W)}{Tamaño\ del\ panel\ (m^2) * Irradiancia\ (G)} \right) * 100 \quad (37)$$

#### 5. Banco de baterías

Un banco de baterías almacena la energía generada para su uso posterior. Su capacidad debe estar correctamente dimensionada según la demanda de energía y la autonomía requerida.

Banco de baterías realizados en serie.

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 + \dots + V_n &= V\ total & (38) \\ Capacidad\ (Ah) &= Capacidad\ (Ah)_{avg} \\ Energia\ (Wh) &= V * Capacidad\ (Ah) \end{aligned}$$

Banco de baterías realizados en paralelo.

$$\begin{aligned} Capacidad\ (Ah)_1 + Capacidad\ (Ah)_2 + \dots + Capacidad\ (Ah)_n &= Ah\ total & (39) \\ V &= V_{min} \\ Energia\ (Wh) &= V * Capacidad\ (Ah) \end{aligned}$$

#### 6. Energía generada

La energía total generada por un sistema fotovoltaico se obtiene considerando la potencia generada por los paneles y el tiempo de exposición solar efectiva, descontando pérdidas en el sistema.

$$Energia\ Generada = \frac{Potencia(W) * G \left( \frac{W}{m^2} \right)}{1000} = Resultado\ Wh \quad (40)$$

## ***b. Generación de energía Hídrica***

### ***1. Altura***

Para determinar la altura en sistemas de tuberías, utilizamos las razones trigonométricas de un triángulo rectángulo, donde:[66]

$$\sin(\theta) = \frac{Altura}{Longitud} \quad (41)$$

Despejando la altura:

$$Altura = Longitud * \sin(\theta) \quad (42)$$

En sistemas de tuberías con cambios de dirección:

- Si la tubería sube (izquierda, +1), la altura aumenta y contribuye positivamente a la energía potencial del fluido:

$$Altura = Longitud * \sin(\theta) * (+1) \quad (43)$$

- Si la tubería baja (derecha, -1), la altura disminuye y reduce la energía potencial:

$$Altura = Longitud * \sin(\theta) * (-1) \quad (44)$$

Este principio se basa en el Teorema de Bernoulli, donde la altura afecta la energía total del sistema[67]. En un sistema con múltiples tramos de tubería, el desnivel neto es la suma algebraica de las alturas individuales, siguiendo el principio de superposición.

## 2. Eficiencia generador

La eficiencia de un sistema hidroeléctrico se determina comparando la energía eléctrica generada con la energía hidráulica disponible. Para calcularla, se considera la potencia de salida (producto de corriente y voltaje en el generador) y la potencia hidráulica convertida, obtenida a partir del caudal, la altura de caída y la gravedad.

$$P_{Convertida} = \text{presion\_hidrica} * \text{caudal\_hidrica}$$

$$\eta = \frac{P_{generador}}{P_{Convertida}} * 100 \quad (45)$$

## 3. Energía generada

La energía hidroeléctrica generada se calcula en función del caudal de agua, la altura y la eficiencia del sistema[68]. Factores como la fricción y las pérdidas mecánicas afectan el resultado final.

potencia (P), densidad de agua ( $\rho$ ) 997 kg, m<sup>3</sup>, aceleración de la gravedad (g) 9,8m, s<sup>2</sup>, la altura (H) de las cotas, área transversal (A), velocidad de agua (V) y eficiencia ( $\eta$ ).

$$P = \rho * g * H * A * v * \eta$$
$$\text{Presión} = \rho * g * H \quad Q = A * v \quad (46)$$

Energía generada a una eficiencia ( $\eta$ ) ideal del 100%.

$$P = \text{Presión} * \text{Caudal} \quad (47)$$

## 2) Márgenes de error con diversos componentes.

### a. Margen de error de energía Fotovoltaica

#### 1. Capacidad del inversor

La capacidad del inversor debe estar correctamente dimensionada para cada entrada MPPT (Maximum Power Point Tracking) con el fin de manejar eficientemente la potencia de los paneles conectados. Si la entrada no soporta la potencia generada, el inversor limitará la producción,

causando pérdidas. En cambio, si está sobredimensionado, no se aprovechará su capacidad al máximo.

Indica que la corriente del inversor debe ser al menos igual a la corriente de salida del panel para no limitar la producción.

$$I_{Inversor} \geq I_{Salida,Panel} \quad (48)$$

Asegura que el voltaje del inversor pueda manejar el voltaje del panel sin problemas.

$$V_{Inversor} \geq V_{Salida,Panel} \quad (49)$$

## **2. Entradas del inversor**

Un diseño inadecuado en el número de entradas del inversor o una configuración incorrecta puede afectar significativamente el rendimiento del sistema fotovoltaico, generando pérdidas de energía debido a la desconexión de paneles o arreglos solares. Por esta razón, es fundamental asegurar que la cantidad de arreglos conectados no supere las entradas disponibles en el inversor, garantizando así una distribución eficiente de la energía y el funcionamiento óptimo del sistema.

Los seguidores **MPPT (Maximum Power Point Tracking)** en un inversor fotovoltaico determinan la cantidad de controladores internos capaces de rastrear, de manera independiente, el punto de máxima potencia (**MPP**) de cada arreglo solar. Sin embargo, el número de **MPPT** no siempre coincide con la cantidad de entradas físicas del inversor, ya que un solo seguidor **MPPT** puede gestionar múltiples arreglos de paneles. Por ejemplo, un inversor con **2 MPPT** y **4 entradas DC** permite distribuir los paneles en **dos grupos independientes**, optimizando la producción de energía en cada uno de ellos según las condiciones de irradiación y sombreado.[69]

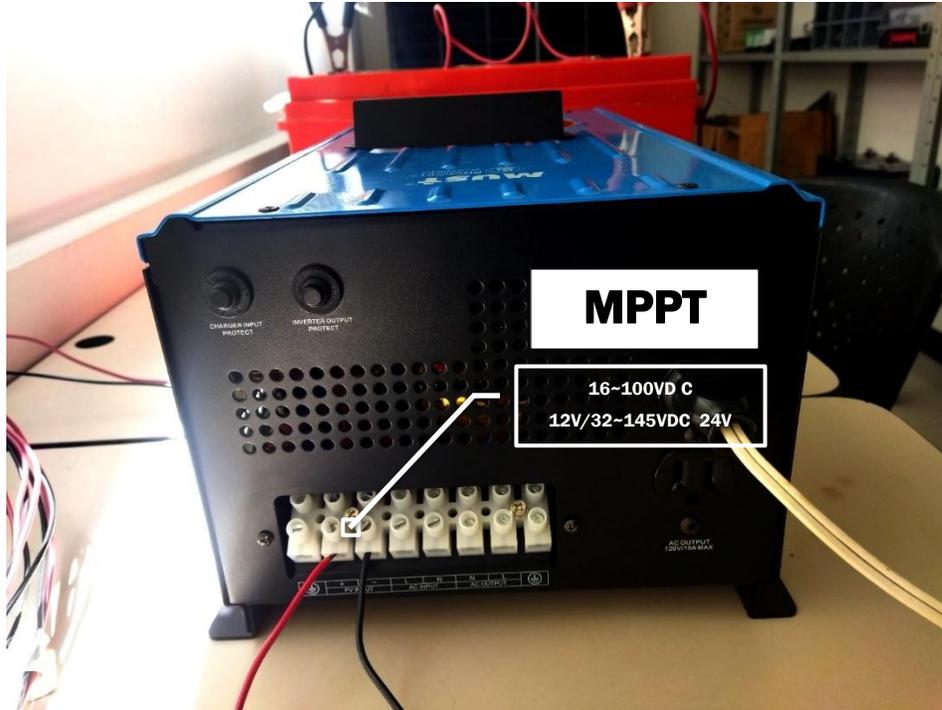


Fig. 31 MPPT (Maximum Power Point Tracking) de un inversor fotovoltaico

La Figura 31 indica la cantidad de controladores internos capaz de seguir el punto de máxima potencia (MPP) de cada arreglo solar.

### 3. Capacidad del regulador

Un regulador de carga inadecuado puede afectar la carga de las baterías y provocar sobrecargas o pérdidas de energía.

Para seleccionar el regulador adecuado, es fundamental considerar la potencia generada por el panel solar, así como los voltajes de salida del panel y de entrada requeridos por la batería. Buscamos un regulador que tanto el voltaje como la corriente sean mayores o iguales a la corriente resultante y el voltaje del panel.[55]

$$I_{\text{Resultante}} (A) = \frac{\text{Potencia del panel (W)}}{\text{Voltaje de batería (V)}} \quad (50)$$

$$I_{\text{Regulador}} \geq I_{\text{Resultante}} (A)$$

$$V_{\text{Regulador}} \geq V_{\text{Salida Panel}}$$

## ***b. Margen de error de energía Hídrica***

### ***1. Capacidad Generador***

Si el caudal requerido por el generador con turbina integrada supera significativamente el suministrado por la motobomba, el sistema no podrá operar debido a un desbalance hidráulico. Sin el flujo mínimo necesario, la turbina no se accionará correctamente, impidiendo la conversión de energía hídrica. Esto provocaría un funcionamiento inestable o incluso la inoperancia del sistema.

Para asegurar un rendimiento óptimo, la motobomba debe garantizar un caudal y una presión iguales o mayores a los exigidos por el generador, asegurando un suministro constante y eficiente de agua.

### ***2. Validación Presión***

La fórmula para calcular la presión se basa en la densidad del agua, la altura de la columna de líquido (cotas) y la aceleración debida a la gravedad, que se considera una constante.

$$\text{Presión} = \rho * g * H \quad (51)$$

$$\rho = \text{Densidad de agua (997 Kg/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{Altura de las cotas (m)}$$

$$g = \text{Gravedad(9.8m/s}^2\text{)}$$

### ***3. Validación Área***

Para obtener el área a partir de un diámetro de debe multiplicar Pi por el diámetro con exponente 2 sobre 4.[70]

$$\text{Area} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (52)$$

### ***4. Validación Velocidad***

Teniendo en cuenta la ecuación de Bernoulli, si existe una diferencia de altura, la velocidad del fluido puede calcularse aplicando la raíz cuadrada del producto entre dos veces la gravedad y la altura[71]:

$$Velocidad = \sqrt{2gh} \quad (53)$$

En caso de no considerar la altura, la velocidad se determina aplicando la raíz cuadrada de dos veces la presión dividida por la densidad:

$$Velocidad = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (54)$$

### 3) *Implementación estación meteorológica Davis Vantage Pro2.*

La estación meteorológica **Davis Vantage Pro2** permite el análisis de condiciones atmosféricas y fenómenos meteorológicos, gracias a su resistencia a la corrosión y a diversas inclemencias del tiempo. Esta estación cuenta con múltiples sensores para la medición de variables como velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad (interior y exterior), temperatura de sensación térmica, punto de rocío, lluvia (actual, acumulada diaria, mensual y anual), intensidad de lluvia, presión atmosférica, pronóstico meteorológico, fase lunar y horas de salida y puesta del sol. Esta incorpora sensores específicos como radiación solar, radiación UV, humedad del suelo, temperatura multipropósito y módulos de transmisión inalámbrica para diversos parámetros agrícolas y ambientales.[72]

Para este proyecto, el sensor clave fue el de radiación solar, ya que permitió obtener datos fundamentales para la generación de energía fotovoltaica.

#### *a. Integración con el Sistema de Información*

La estación meteorológica **Davis Vantage Pro2** utilizada en este desarrollo se encuentra ubicada en la Universidad CESMAG, sede central. Su software de monitoreo permite la recopilación de datos de irradiancia solar, tanto promedio como máxima, con una frecuencia de actualización de 5 minutos. Para acceder a esta información desde el sistema de información web, se utilizó la plataforma **WeatherLink**, donde la estación fue agregada mediante un **DID** y una clave de acceso. Esta integración permitió el monitoreo en línea y la obtención de datos mediante las **API** proporcionadas por **WeatherLink: Token API v1, API Key v2 y API Secret**.

Para garantizar la disponibilidad a largo plazo, se adquirió una licencia de tres años esto gracias a los recursos del proyecto docente, lo que permitió el acceso a datos históricos de irradiancia, sincronizados automáticamente y almacenados en la base de datos del sistema. Los datos se analizaron y visualizaron a través de gráficos dinámicos que representaban la irradiancia promedio y máxima en distintos momentos del día, estos se representaron en una tabla dinámica con campos como fecha, hora, irradiancia máxima y promedio, lo que facilitó la identificación de la curva del punto máximo de potencia diario.

### ***b. Desafíos y Soluciones en la Integración***

Uno de los principales desafíos en la integración de la estación meteorológica con la plataforma **WeatherLink** fue la obtención del **DID** y la clave de acceso, elementos esenciales para vincular la estación con la plataforma en línea y el sistema de información en desarrollo.

Los modelos actuales de la **Davis Vantage Pro2** incluyen esta información en la caja protectora o en la documentación. No obstante, debido a que esta estación fue adquirida hace varios años, no contaba con dicha información, lo que dificultó significativamente su integración.

Tras varios intentos fallidos para recuperar estos datos, se encontró una solución alternativa: la creación de un nuevo **DID** directamente desde la plataforma **WeatherLink**. Esta opción, diseñada para la integración de estaciones más antiguas, permitió finalmente la conexión con la plataforma en línea. Sin esta solución, no habría sido posible establecer la comunicación con **WeatherLink** ni integrar los datos en el sistema de información.

Posteriormente, se utilizó la **API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) versión 1**, una opción gratuita proporcionada por la plataforma **WeatherLink**. Esta API permitía la obtención de datos en tiempo real con una frecuencia de actualización de un minuto. Sin embargo, presentaba la limitación de no permitir la visualización de datos históricos en intervalos de cinco minutos, lo que impedía la sincronización con la información descargada desde el software de escritorio.

```

heat_index_year_high:572/(heat_index_year_high)
pressure_day_high_in:29.776/(pressure_day_high_in)
pressure_day_high_time:9:07am/(pressure_day_high_time)
pressure_day_low_in:29.655/(pressure_day_low_in)
pressure_day_low_time:3:14am/(pressure_day_low_time)
pressure_month_high_in:29.776/(pressure_month_high_in)
pressure_month_low_in:29.564/(pressure_month_low_in)
pressure_tendency_string:Rising 51low/(pressure_tendency_string)
pressure_year_high_in:29.853/(pressure_year_high_in)
pressure_year_low_in:29.481/(pressure_year_low_in)
rain_day_in:0.0500/(rain_day_in)
rain_month_in:1.4300/(rain_month_in)
rain_rate_day_high_in_per_hr:0.0100/(rain_rate_day_high_in_per_hr)
rain_rate_day_high_time:1:00am/(rain_rate_day_high_time)
rain_rate_hour_high_in_per_hr:0.0000/(rain_rate_hour_high_in_per_hr)
rain_rate_in_per_hr:0.0000/(rain_rate_in_per_hr)
rain_rate_month_high_in_per_hr:1.5300/(rain_rate_month_high_in_per_hr)
rain_rate_year_high_in_per_hr:4.2200/(rain_rate_year_high_in_per_hr)
rain_storm_in:0.3200/(rain_storm_in)
rain_storm_start_date:5/14/2024/(rain_storm_start_date)
rain_year_in:6.8100/(rain_year_in)
relative_humidity_day_high:93/(relative_humidity_day_high)
relative_humidity_day_high_time:2:07am/(relative_humidity_day_high_time)
relative_humidity_day_low:81/(relative_humidity_day_low)
relative_humidity_day_low_time:9:32am/(relative_humidity_day_low_time)
relative_humidity_month_high:93/(relative_humidity_month_high)
relative_humidity_month_low:43/(relative_humidity_month_low)
relative_humidity_year_high:97/(relative_humidity_year_high)
relative_humidity_year_low:29/(relative_humidity_year_low)
relative_humidity_in:65/(relative_humidity_in)
relative_humidity_in_day_high:67/(relative_humidity_in_day_high)
relative_humidity_in_day_high_time:5:32am/(relative_humidity_in_day_high_time)
relative_humidity_in_day_low:64/(relative_humidity_in_day_low)
relative_humidity_in_day_low_time:12:00am/(relative_humidity_in_day_low_time)
relative_humidity_in_month_high:70/(relative_humidity_in_month_high)
relative_humidity_in_month_low:43/(relative_humidity_in_month_low)
relative_humidity_in_year_high:77/(relative_humidity_in_year_high)
relative_humidity_in_year_low:39/(relative_humidity_in_year_low)
solar_radiation:322/(solar_radiation)
solar_radiation_day_high:325/(solar_radiation_day_high)
solar_radiation_day_high_time:9:37am/(solar_radiation_day_high_time)
solar_radiation_month_high:134/(solar_radiation_month_high)
solar_radiation_year_high:1478/(solar_radiation_year_high)
sunrise:7:01am/(sunrise)
sunset:7:11pm/(sunset)

```

Fig. 32 API WeatherLink V1

La Figura 32 representa la visualización de los datos JSON de la API V1 de la plataforma Weatherlink conectada a la estación.

Tras una revisión de la documentación, se determinó que el acceso a datos históricos requería la utilización de la **API versión 2**, la cual demandaba una licencia paga. Gracias a los recursos del proyecto docente, se adquirió una licencia con una vigencia de tres años, lo que permitió la transición a esta nueva versión.

Fecha & Hora	DATOS HOLANDA						Weather Station					
	Barómetro inHg	Temperatura Interior °F	Dentro de Hum %	Dentro del punto de rocío %	Dentro de índice de calor %	Dentro de EMC	Temp °F	Temp. Alta °F	Temp. Baja °F	Hum %	Punto de rocío °F	Bu Hum %
05/14/2024 - 12:00 AM	29.63	69	56	53	68	10.4	59	59	59	80	53	5'
05/14/2024 - 12:05 AM	29.63	69	56	53	68	10.4	59	59	59	80	53	5'
05/14/2024 - 12:10 AM	29.62	69	56	53	68	10.4	59	59	59	80	53	5'
05/14/2024 - 12:15 AM	29.62	69	56	53	68	10.4	59	59	59	80	53	5'
05/14/2024 - 12:20 AM	29.62	69	56	53	68	10.4	59	59	59	80	53	5'
05/14/2024 - 12:25 AM	29.62	69	56	52	68	10.4	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:30 AM	29.62	69	56	52	68	10.4	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:35 AM	29.62	69	56	52	68	10.4	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:40 AM	29.61	68	56	52	68	10.4	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:45 AM	29.61	68	56	52	68	10.4	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:50 AM	29.61	68	57	53	68	10.6	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 12:55 AM	29.61	68	57	53	68	10.6	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 1:00 AM	29.61	68	57	52	68	10.6	59	59	59	79	52	5'
05/14/2024 - 1:05 AM	29.61	68	57	52	68	10.6	59	59	59	79	52	5'

Fig. 33 Datos obtenidos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 enviados a la plataforma WeatherLink

La Figura 33 muestra la visualización de los datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 a través de la plataforma WeatherLink, con conexión establecida mediante un DID y una contraseña.

Una vez implementada la API versión 2, se enfrentó un nuevo desafío: la obtención del **Station\_ID**, un parámetro fundamental para la consulta de datos históricos. Este identificador no se encontraba de manera explícita en la documentación ni en la configuración del sistema. No obstante, tras un análisis detallado, se identificó la posibilidad de utilizar un **UUID (Universally Unique Identifier)** como alternativa.

Al emplear el **UUID** en el código, se logró acceder a algunos datos, aunque no a la totalidad de la información requerida. Sin embargo, entre los datos obtenidos con este identificador, se incluyó finalmente el **Station\_ID**, lo que permitió establecer la conexión definitiva con la **API versión 2**. Esto posibilitó la obtención de datos históricos mediante la implementación de la **API Key**, el **API Secret** y los parámetros de tiempo de consulta.

Para garantizar una descarga eficiente de los datos, se implementó un ciclo `while` que recorría la **URL** de datos históricos de la **API versión 2**, estableciendo los siguientes parámetros: **Station\_ID**, **API Key**, **Tiempo de inicio**, **Tiempo final**.

Los datos obtenidos a través de la **URL** de datos históricos se proporcionaban en formatos **JSON** y **XML**, lo que facilitaba su procesamiento y almacenamiento eficiente en el sistema de información. Con este enfoque, se logró extraer la información requerida, específicamente los valores de irradiancia promedio, irradiancia máxima y el momento exacto en que se registró cada medición, asegurando la correcta integración de los datos en el sistema.

Inicialmente, la conexión entre el sistema de información y la API de WeatherLink Pro funcionaba correctamente, permitiendo la descarga y almacenamiento de datos en la base de datos. Sin embargo, surgieron problemas intermitentes en la conexión entre el software de escritorio WeatherLink y la plataforma WeatherLink en línea, lo que ocasionó la pérdida de datos históricos. Cuando la conexión se restablecía, solo se recuperaban los datos del día actual, mientras que los registros de días anteriores no se sincronizaban automáticamente.

Como solución, se contactó al soporte técnico de WeatherLink, quienes recomendaron actualizar el software de escritorio **WeatherLink 6.0.3** a la versión **6.0.5**. Esta actualización mejoró la conectividad y permitió la recuperación de datos sin interrupciones. No obstante, se identificó que, si el equipo de cómputo que ejecutaba el software se apagaba, suspendía o perdía conexión a Internet, la descarga de datos se interrumpía y no se almacenaban registros históricos.

Para mitigar este problema, se implementaron tres soluciones clave:

- Mantener el equipo encendido permanentemente en el laboratorio para evitar la desconexión.
- Ampliar la validación del código para recuperar datos de hasta 40 días previos, permitiendo que, si la conexión fallaba por un periodo prolongado, los datos se incorporaran automáticamente a la base de datos al restablecerse.
- Desarrollar un proceso en segundo plano dentro del sistema de información para garantizar la descarga y almacenamiento de datos incluso si el usuario no accedía al módulo de irradiancia.

### *c. Optimización de la Visualización de Datos*

En el módulo de irradiancia, los datos recolectados se mostraban en una tabla dinámica y gráficos en tiempo real. Sin embargo, inicialmente, la tabla solo se actualizaba al recargar la página. Para solucionar esto, se desarrolló un script de actualización automática, que verifica continuamente la base de datos y añade nuevos registros sin necesidad de que el usuario refresque la página.

Tras la actualización del software **WeatherLink 6.0.5**, se habilitó la opción de descarga de datos cada 5 minutos en lugar de cada hora, lo que redujo significativamente el desfase en la visualización de información. Aunque persiste un retraso mínimo de 5 minutos, la eficiencia y precisión en la actualización de los datos mejoraron notablemente, permitiendo un monitoreo casi en tiempo real.

Con estas mejoras, la integración de la estación meteorológica **Davis Vantage Pro2** en el sistema de información quedó completamente funcional, asegurando la continuidad del

almacenamiento de datos, la recuperación de información histórica y la actualización dinámica de los registros en la interfaz web.

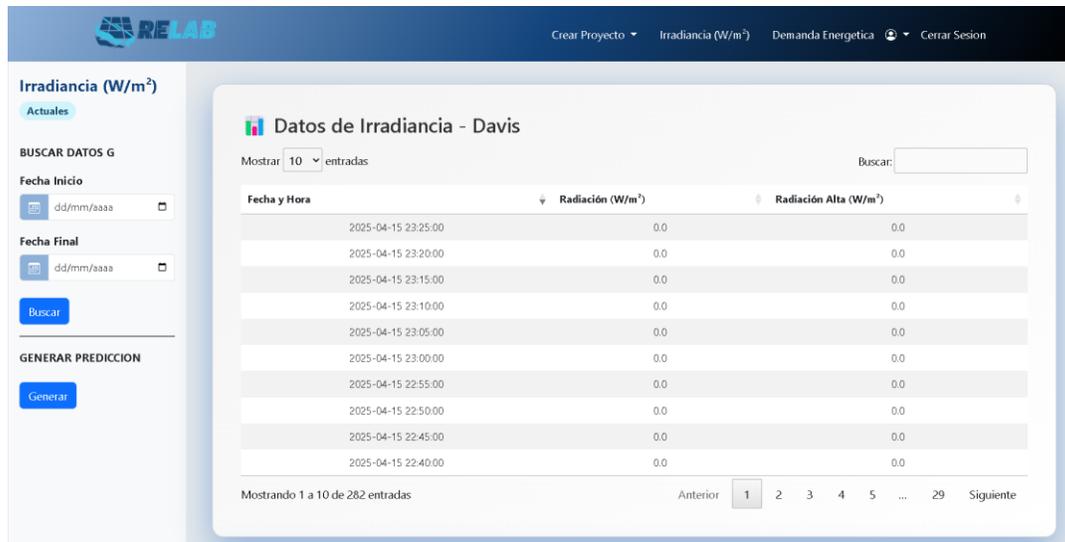


Fig. 34 Datos de irradiancia extraídos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2

La Figura 34 muestra la visualización de los datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 a través del sistema de información RELAB desarrollado.

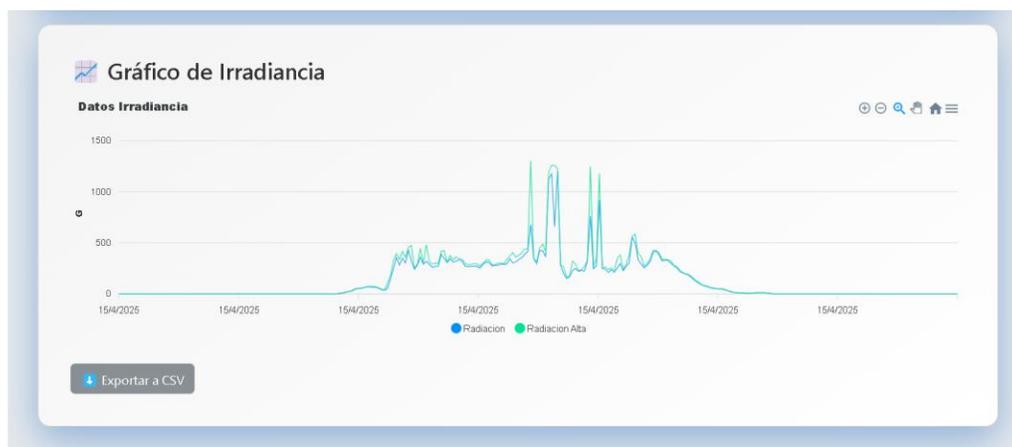


Fig. 35 Visualización grafica de datos de irradiancia extraídos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2

La Figura 35 presenta la visualización gráfica de los datos obtenidos desde la estación meteorológica Davis Vantage Pro2, integrados completamente en el sistema de información RELAB desarrollado.

#### 4) *Calibración sensores de voltaje con módulo ESP32 IOT.*

Para la recopilación de datos también, se diseñó e implementó un circuito de medición de voltaje de **corriente alterna (AC)** empleando el microcontrolador **ESP32** y el sensor de voltaje **ZMPT101B**. Este sensor, basado en el principio de inducción electromagnética, está diseñado para realizar lecturas precisas del voltaje **RMS (Raíz Cuadrada Media)** de señales sinusoidales de hasta 250 V, ofreciendo una solución segura gracias a su capacidad de aislamiento eléctrico de hasta 4 kV.

El sistema tuvo como objetivo principal la supervisión continua y precisa de la salida de un inversor conectado a un conjunto fotovoltaico. Para ello, el **ZMPT101B** fue conectado al pin analógico **GIOP34** del **ESP32**, el cual admite entradas de 3.3 V. Este sensor genera una señal analógica proporcional al voltaje de entrada, contenida en un rango de 0 a 5 V, lo que permitió que fuera interpretada adecuadamente por el **convertor analógico-digital (ADC)** del microcontrolador tras un proceso de calibración.

Dicha calibración consistió en mapear los valores de salida del sensor a sus correspondientes voltajes reales, empleando una constante de conversión determinada experimentalmente como **1.49**. Esta constante se aplicó directamente a los valores leídos, obteniendo así resultados confiables. Para facilitar esta tarea, se utilizó la biblioteca específica del **ZMPT101B** para Arduino, junto con el datasheet técnico del sensor, asegurando una correcta interpretación de sus características eléctricas y operativas.

La adquisición de datos fue programada desde el entorno de desarrollo **Arduino IDE**, donde se estableció una rutina de lectura continua y visualización de los datos tanto en la consola serial como en una pantalla **LCD de 16x2**, equipada con interfaz I2C. La implementación de esta pantalla, gestionada a través de la librería **LiquidCrystal\_I2C**, permitió mostrar en tiempo real los valores de voltaje, con actualizaciones cada segundo, brindando una visualización física y directa del comportamiento del sistema.

Paralelamente, se configuró la conectividad **Wi-Fi del ESP32** para su integración con un servidor local. Esta decisión se tomó debido a que otros métodos de comunicación, como **Bluetooth** y su variante **BLE (Bluetooth Low Energy)**, no resultaron viables por diversas razones. En primer lugar, no todos los computadores cuentan con conectividad Bluetooth. En segundo lugar, al tratarse de un sistema de información web, es probable que se requiera acceso a distancias mayores a las que permite esta tecnología. Por lo tanto, la conexión **Wi-Fi**, a través de una **IP** privada proporcionada por la universidad, permitió extender el monitoreo del sistema hacia una plataforma remota. Una vez establecida la conexión, el microcontrolador fue programado para enviar los datos de voltaje a un servidor web construido mediante el framework **Flask**, desarrollado en Python. Este servidor recibió los datos utilizando el método **HTTP POST** con contenido en formato **JSON**, gestionando cada solicitud a través de una estrategia de exclusión mutua mediante **threading.Lock**, con el fin de evitar condiciones de carrera y preservar la integridad de los datos.

El servidor **Flask** expuso una **API RESTful** compuesta por dos rutas principales: `/api/voltaje`, dedicada a la recepción de datos, y `/api/voltaje_actual`, destinada a la consulta de la última lectura almacenada. A través de una interfaz web desarrollada en **HTML**, se implementó un sistema de actualización periódica que mostraba el voltaje más reciente disponible en el servidor, facilitando así la supervisión remota en tiempo real desde cualquier navegador compatible, dentro de la misma red o mediante redirección de puertos.

Durante el proceso de integración y puesta en marcha del sistema, se enfrentaron diversas situaciones técnicas que demandaron atención minuciosa. Entre ellas, se identificaron problemas relacionados con la omisión del puerto en las **URLs** del **ESP32**, bloqueos del servidor debido a configuraciones de firewall, y errores en la gestión de variables dentro del backend. Cada uno de estos desafíos fue abordado y solucionado mediante ajustes tanto en la arquitectura de red como en la lógica de programación, fortaleciendo la estabilidad del sistema.

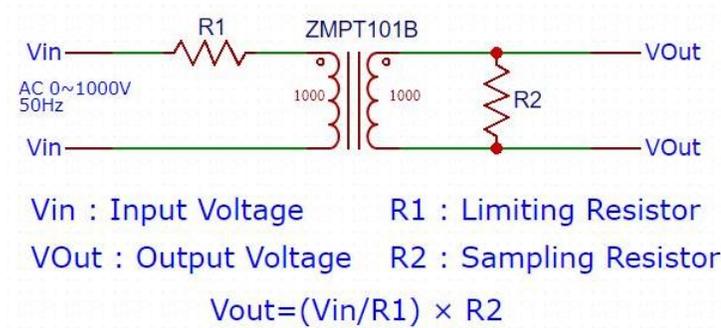


Fig. 36 Esquema ZMPT101B Transformador de Voltaje

Nota: fuente <https://diyprojectslabs.com/interfacing-zmpt101b-voltage-sensor-with-esp32/>

La Figura 36 presenta el esquema del sensor ZMPT101B, utilizado para la medición de voltaje en sistemas eléctricos, permitiendo una representación precisa de la señal de entrada mediante su integración al sistema de monitoreo desarrollado.

Para establecer la conexión entre el microcontrolador y el entorno Python, inicialmente se definieron un conjunto de variables globales destinadas a almacenar los valores adquiridos desde el sensor de voltaje de **corriente alterna (AC)** del inversor fotovoltaico, así como los correspondientes al voltaje de **corriente continua (DC)** del sistema hídrico, su código de identificación, el caudal, la presión y la corriente. Todas estas variables fueron inicializadas con un valor cero, en preparación para su posterior actualización.

Posteriormente, se implementó la lógica de conexión con la **API** mediante el uso de solicitudes **HTTP** en formato **JSON**. A través de estas peticiones, se consultaron los datos enviados desde el entorno Arduino, identificando el tipo de dispositivo de origen (fotovoltaico o hídrico) según los parámetros recibidos. Una vez clasificados, los datos fueron validados y almacenados en las variables globales correspondientes.

En el caso del sistema hídrico, se invocó la función **procesar\_datos\_hidrica**, encargada de transferir la información al módulo **hidrica.py**, permitiendo su procesamiento y visualización dentro del entorno web. Para facilitar la interacción del usuario, se integró un componente modal en la sección de ejecución del proyecto, el cual solicitaba el ingreso de un código de validación. Dicho código, previamente mostrado en la pantalla **LCD** del sistema, era comparado con el valor

recibido desde Arduino. Al coincidir ambos códigos, se autorizaba la adquisición de datos en tiempo real.

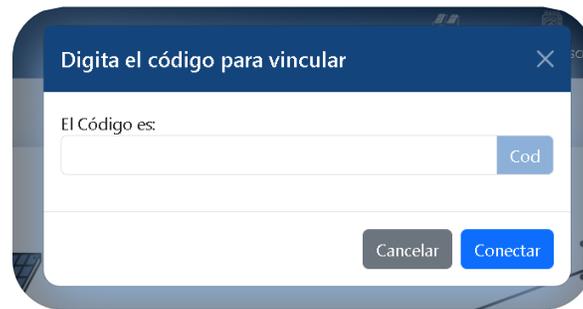


Fig. 37 Modal para validación de ejecución de proyecto

La Figura 37 muestra el modal de ingreso de código de validación, requerido como paso previo para habilitar la recopilación de datos dentro del sistema y conexión con los sensores.

Este proceso de monitoreo se ejecutaba en intervalos de cinco minutos, durante los cuales se actualizaban las variables globales con las lecturas más recientes. Estas variables eran posteriormente utilizadas para alimentar las tablas de visualización de energía generada, tanto para el sistema fotovoltaico como para el sistema hídrico, según correspondiera.

Para lograr una visualización dinámica de los datos sin necesidad de recargar la página, se desarrolló una funcionalidad adicional en **JavaScript**. Esta consistió en una función encargada de consultar, a través de la ruta **get\_latest\_proyecto\_data**, si existían nuevos registros en la base de datos. En caso afirmativo, los datos eran enviados en formato **JSON**, permitiendo su representación en tiempo real en la interfaz del usuario.

La arquitectura final demostró ser robusta, modular y escalable. Tanto el hardware como el software quedaron preparados para una integración futura con sistemas de mayor complejidad, permitiendo la incorporación de múltiples sensores y nodos de monitoreo. El uso de una **API REST** y tecnologías estándar de comunicación facilitó la interoperabilidad con plataformas externas, sentando las bases para un ecosistema de monitoreo energético más amplio y versátil.

Este mismo enfoque metodológico fue aplicado a la incorporación de sensores adicionales en el sistema, incluyendo sensores de caudal, presión, corriente y voltaje en **corriente continua**

**(DC)**. Estos módulos fueron integrados tanto en el sistema fotovoltaico como en los sistemas hídricos complementarios, ampliando significativamente el alcance y funcionalidad del proyecto. Los datos recolectados por cada sensor se integraron en una tabla dinámica, estructurada para facilitar el análisis comparativo y la toma de decisiones en tiempo real, fortaleciendo el control y la gestión inteligente del sistema energético en su conjunto.



Fig. 38 Modal para validación de ejecución de proyecto

La Figura 38 muestra el circuito creado para la lectura de VCA con el módulo Esp32 y el sensor de voltaje ZMPT10B.

##### 5) *Desarrollo e implementación del sistema de información*

El desarrollo del sistema de información se llevó a cabo utilizando **Python** con el **framework Flask**, una microarquitectura ligera y flexible que permitió la construcción de aplicaciones web escalables y eficientes. Para la interfaz de usuario, se emplearon **HTML**, **CSS** y **JavaScript**, con el apoyo del **framework Bootstrap**, garantizando un diseño responsivo y una experiencia optimizada en distintos dispositivos.

La base de datos fue gestionada con **PostgreSQL**, un sistema relacional de alto rendimiento, reconocido por su estabilidad y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos. Se diseñó un esquema estructurado que facilitó el almacenamiento y recuperación eficiente de la información, asegurando la integridad y consistencia de los datos en cada operación.

En términos de seguridad, se implementó un mecanismo de autenticación con encriptación criptográfica basada en el algoritmo **MD5**, complementado con validaciones estrictas en el formulario de registro. Para prevenir accesos automatizados y registros fraudulentos, se integró **hCaptcha**, una herramienta avanzada de protección contra bots que emplea aprendizaje automático para detectar patrones sospechosos con una efectividad del 99.9%.

El sistema incorporó un módulo de monitoreo de irradiancia que permite la integración con la estación meteorológica **Davis Vantage Pro2** mediante su sensor de irradiancia. La conexión con la **API de WeatherLink** posibilitó la adquisición de datos meteorológicos en tiempo real, con una actualización cada cinco minutos. Para el procesamiento y visualización de esta información en la plataforma web, se utilizó la versión **WeatherLink 6.0.5**, asegurando compatibilidad con los dispositivos conectados.

En la generación de energía fotovoltaica, el sistema permitió la configuración personalizada de arreglos de paneles solares mediante la selección de modelos desde un inventario registrado. Se ejecutaron cálculos eléctricos internos, incluyendo la sumatoria de voltajes, determinación de corriente mínima y cálculo de potencia total del arreglo ( $P = V \times I$ ). Se incorporó la funcionalidad de integración con inversores y bancos de baterías, asegurando compatibilidad con reguladores de carga y optimizando la eficiencia del sistema.

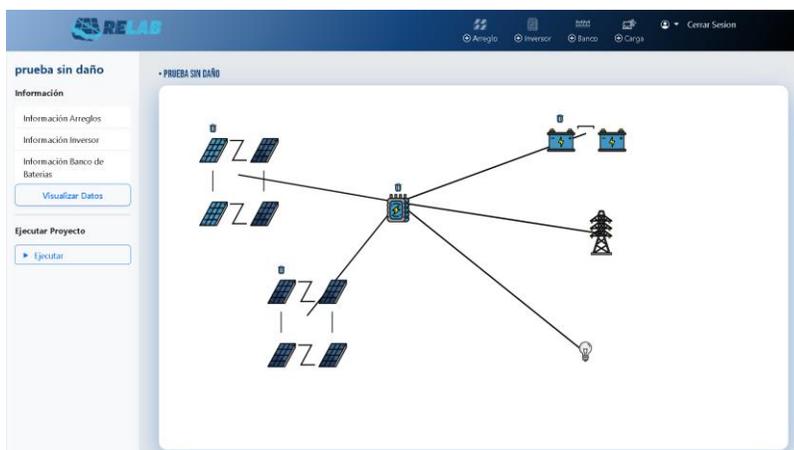


Fig. 39 Sistema fotovoltaico realizado desde el sistema de información.

La Figura 39 muestra la estructura de un sistema fotovoltaico completamente configurado dentro del sistema de información, incluyendo todos sus componentes, y preparado para su ejecución.

Para la generación hídrica, se consideraron componentes como motobombas, generadores y tanques de almacenamiento de agua. Se implementó una validación de margen de error de caudal, comparando la cantidad de litros por metro cuadrado que una motobomba podía suministrar con el caudal mínimo requerido por la turbina del generador. En caso de que la cantidad de agua suministrada fuera insuficiente, el sistema emite una alerta indicando que la turbina no podría generar energía. También se validó la correcta distribución de las cargas, asegurando que operaran dentro de los límites de la energía generada.

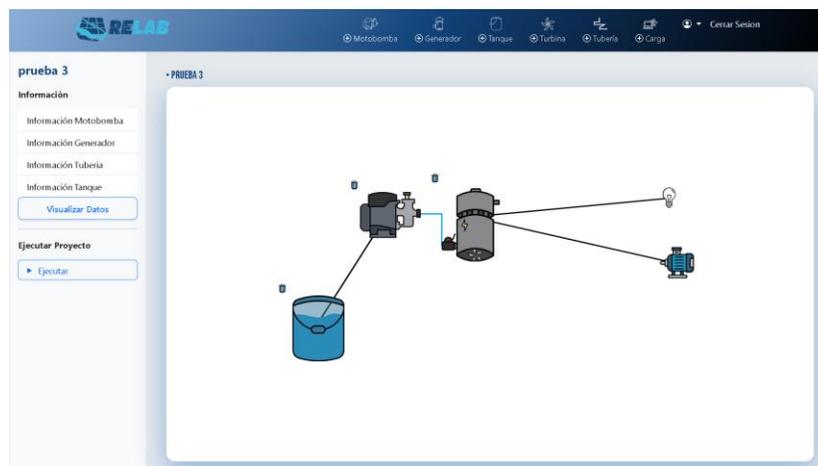


Fig. 40 Sistema hídrico realizado desde el sistema de información.

La Figura 40 muestra la estructura de un sistema hídrico completamente configurado dentro del sistema de información, incluyendo todos sus componentes, y preparado para su ejecución.

Para la visualización de datos de manera gráfica, se integró la biblioteca **ApexCharts**, permitiendo representar de manera dinámica parámetros clave como potencia total, eficiencia energética, generación en W y kW, irradiancia y caudal de agua en generación hídrica. Esto facilitó el monitoreo detallado del rendimiento del sistema y el análisis de su comportamiento en distintos periodos de tiempo.

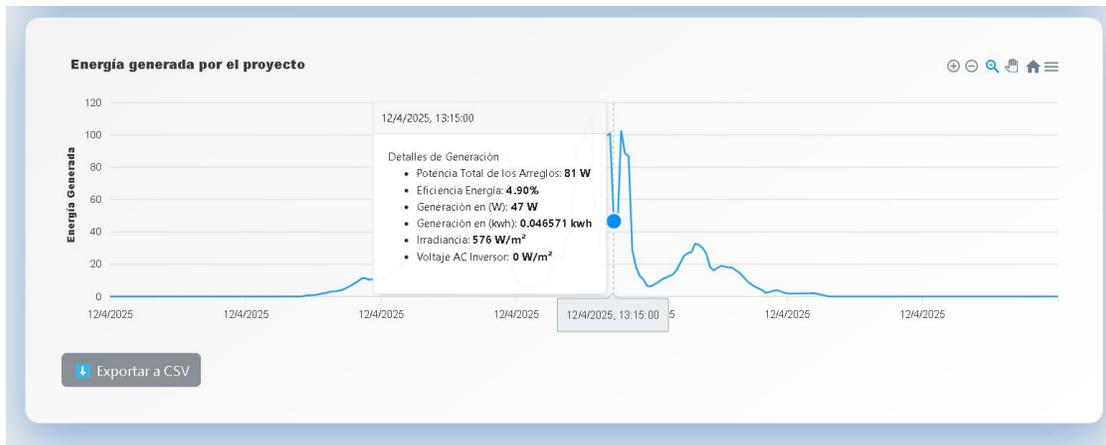


Fig. 41 Gráfica de los datos recolectados de un sistema fotovoltaico.

La Figura 41 muestra la representación gráfica de los datos recolectados durante un día de operación del sistema fotovoltaico, permitiendo analizar el comportamiento energético a lo largo del tiempo.

Se estableció un mecanismo de mitigación para garantizar la disponibilidad de datos provenientes de la estación meteorológica **Davis Vantage Pro2** en caso de interrupciones en la conexión a internet, apagado del equipo o desconexión entre el software de escritorio y la plataforma en línea. Para ello, se validó el código para recuperar datos de hasta 40 días previos, permitiendo su almacenamiento y posterior recuperación una vez restablecida la conexión. Dado que los usuarios no siempre iniciaban sesión en el sistema, se determinó la necesidad de continuar con la recopilación de datos en segundo plano, independientemente del acceso al módulo de irradiancia o al sistema de proyectos. Para lograrlo, se incorporaron los módulos **threading** y **time** de Python. El uso de **threading** permitió la creación de hilos de ejecución paralela, lo cual facilitó el procesamiento concurrente de tareas sin bloquear la funcionalidad principal del sistema. Por su parte, el módulo **time** se utilizó para gestionar intervalos de espera, permitiendo suspender temporalmente la ejecución de los hilos en este caso cada cinco minutos, con el objetivo de optimizar el uso de recursos del sistema y evitar sobrecargas innecesarias. Esta estrategia permitió que la recopilación de datos de los proyectos se realizara de forma continua y eficiente a medida que estos eran cargados al sistema.

Finalmente, el sistema permitió la interacción del usuario con los diferentes componentes de generación fotovoltaica e hídrica, facilitando la experimentación mediante una interfaz tipo

laboratorio. Para ello, se implementó una lógica en **JavaScript** que recorrió los componentes definidos, dentro del proyecto. Se verificó y analizó las diferentes relaciones para establecer la conexión adecuada entre los componentes, asegurando la correcta representación de la estructura del sistema. Se implementó una actualización en tiempo real de las conexiones mediante funciones de **JavaScript**, permitiendo la simulación visual de la interacción entre componentes y almacenando sus coordenadas en la base de datos. La estructuración del sistema proyectado se complementó con la validación de fórmulas y márgenes de error, utilizando condicionales y ciclos que permitieron garantizar la precisión de los cálculos eléctricos e hidráulicos.

#### **6) Implementación del modelo de predicción LSTM**

Se implementó un modelo de predicción **LSTM** para estimar la irradiancia futura, este fue desarrollado por dos estudiantes de ingeniería electrónica (Daniel Sebastián Rosero - Andrés Felipe Zambrano) y posteriormente integrado en el sistema de información. El modelo, basado en datos históricos desde 2013 recopilados por la estación meteorológica **Vantage PRO 2**, alcanzó una precisión aproximada del 80 % en sus predicciones, para esto requería un conjunto de datos continuo, por lo que en caso de pérdida de datos se aplicó interpolación para corregir valores faltantes.

Inicialmente, la integración se realizó en un entorno **Anaconda** con **Python 3.10.14** y **TensorFlow 2.10.1**. Sin embargo, se identificaron problemas de compatibilidad con librerías y dependencias, lo que llevó a su migración a **Google Colab**. Esta plataforma permitió aprovechar **TensorFlow 2.17** y mantener la infraestructura original del software sin la necesidad de instalar **CUDA 11.2** y **cuDNN 8.1**, requeridos en Anaconda.

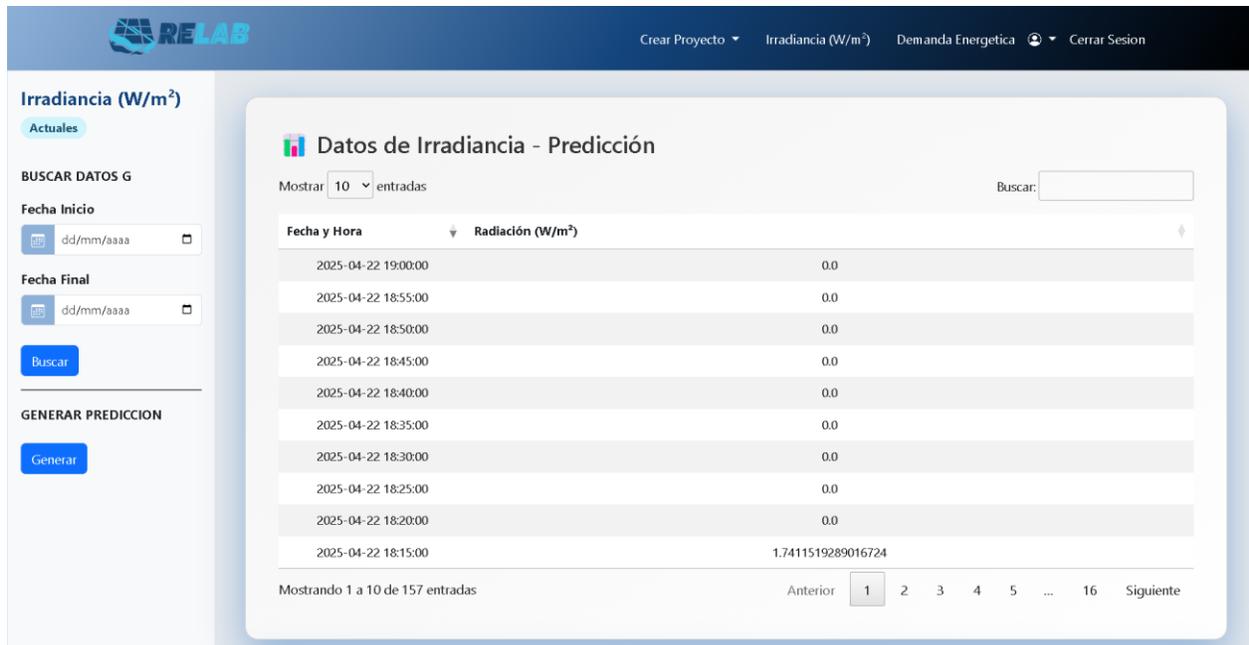


Fig. 42 Datos recolectados en el modelo de predicción.

La Figura 42 presenta la visualización de los valores de irradiancia predichos para un día, utilizando un modelo de series temporales LSTM entrenado con datos históricos comprendidos entre los años 2013 y 2023.

El modelo utilizó datos de los cinco días previos para predecir la irradiancia del siguiente día, operando sobre una base de datos en continuo crecimiento. Para garantizar la integridad de los datos, se implementó una conexión con la **API de WeatherLink** y un mecanismo de recuperación en caso de interrupciones en la transmisión. La integración final permitió la visualización de predicciones en tiempo real mediante una tabla dinámica y gráficos exportables en formatos **PNG**, **SVG** y **CSV**, asegurando su accesibilidad para análisis y estudios futuros.

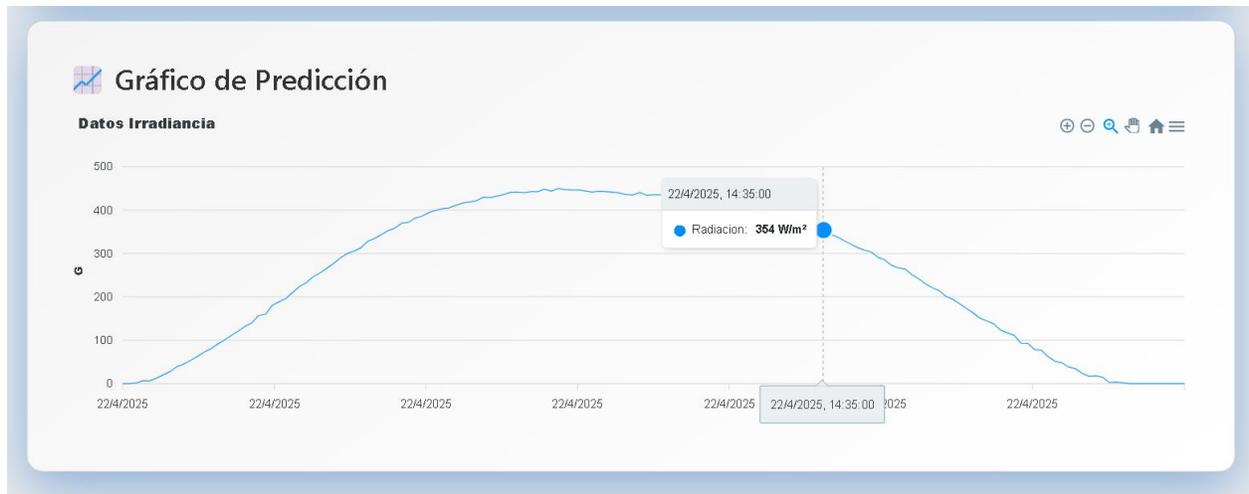


Fig. 43 Gráfica de los datos recolectados en el modelo de predicción.

La Figura 43 presenta la visualización gráfica de los valores de irradiación predichos durante un día, mediante el modelo de predicción de series temporales LSTM.

### C. Validar la efectividad del software

El objetivo fue alcanzado mediante la aplicación de diversas estrategias que facilitaron tanto el desarrollo como la implementación del sistema. Inicialmente, se empleó la recopilación de requerimientos, lo cual permitió estructurar adecuadamente cada uno de los componentes que integran los sistemas de generación hídrica y fotovoltaica. A partir de una visualización estructurada, se logró incorporar la experiencia de usuario (UX), manteniendo un control riguroso a través de diagramas de procesos. Esto sirvió como base para la planificación del producto y el inicio del desarrollo del software encargado de la recopilación y análisis de datos, con capacidad de integrar parámetros provenientes de ambos sistemas.

Posteriormente, se procedió a la etapa de validación mediante la aplicación de pruebas unitarias, de integración y funcionales. Como punto de partida, se documentaron todos los requisitos de hardware y software necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, contemplando actualmente en un entorno local. Estos requisitos se detallan a continuación:

- **Categoría del software.**  
Aplicación web.

- **Tecnología de despliegue.**

Para el correcto funcionamiento del sistema de información RELAB, se requieren los siguientes elementos de despliegue:

**Hardware.**

**ROM:** Mínimo de 1GB.

**RAM:** Mínimo de 4GB.

**GPU:** Mínimo de 4GB.

**Software.**

**Servidor de aplicaciones:** Flask.

**Sistema gestor de base de datos:** PostgreSQL Última versión

**Sistema operativo de despliegue:** Windows 10.

- **Tecnología usada en el desarrollo.**

Para el desarrollo del sistema de investigación RELAB, se han utilizado las siguientes herramientas y tecnologías:

**Sistemas de desarrollo.**

**Editor de código fuente:** Visual Studio Code 1.95.1.

**Ciente de base de datos:** pgAdmin.

**Navegador:** Google Chrome Versión 130.0.6723.92

**Lenguaje de programación.**

Python 3.12.7

HTML 5

CSS 3

JavaScript

- **Librerías utilizadas.**

Flask==3.0.0

Flask-SQLAlchemy==3.1.1

Jinja2==3.1.2

joblib==1.4.2

keras==3.6.0

numpy==1.26.4

openpyxl==3.1.5

pandas==2.2.2  
psycopg2==2.9.9  
Pygments==2.18.0  
pyserial==3.5  
python-dateutil==2.9.0.post0  
requests==2.31.0  
scikit-learn==1.5.1  
SQLAlchemy==2.0.23  
tensorflow==2.17.0  
tensorflow-intel==2.17.0  
urllib3==2.2.1

### 1) *Pruebas unitarias.*

Para las pruebas unitarias se consideraron todas las fórmulas y resultados esperados, los cuales fueron validados con éxito para asegurar el correcto funcionamiento de las estructuras y el sistema de monitoreo proporcionado por los sensores. Se obtuvo un 86% de aceptabilidad, lo cual representa un desempeño destacado.

Cabe mencionar que los datos recolectados de los sensores y utilizados en el sistema hídrico fueron simulados, dado que el sistema hídrico aún se encuentra en fase de implementación. Este trabajo corresponde a un proyecto de grado desarrollado por dos estudiantes de Ingeniería Electrónica, orientado al diseño, validación e implementación de un sistema hídrico para laboratorio.

A pesar de que la infraestructura física aún está en desarrollo, el software ya cuenta con el código fuente completamente preparado para integrarse con los sensores reales y realizar una recolección precisa de datos. También, está listo para conectarse con el sistema de información, permitiendo iniciar el proceso de monitoreo en cuanto los sensores sean instalados. La evaluación del 86% refleja el excelente rendimiento del software, destacando tanto las pruebas unitarias como la correcta aplicación de las fórmulas y la lógica de adquisición de datos, esta validación puede observarse en la siguiente gráfica.

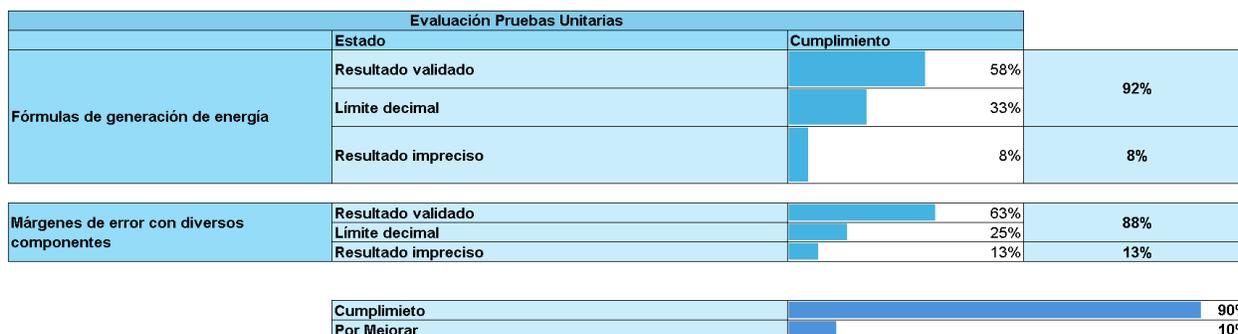


Fig. 44 validación de efectividad de pruebas unitarias.

La Figura 44 presenta la visualización gráfica de los porcentajes obtenidos durante la validación de la efectividad de las pruebas unitarias, realizadas para cada formula y adquisición de datos, con el objetivo de evaluar el correcto resultado brindado.

Para una visualización detallada de las pruebas unitarias para cada formula, se recomienda consultar el **Anexo 11**.

## 2) *Pruebas de integración*

Para las pruebas de integración se elaboró un checklist detallado que toma en cuenta los módulos del sistema y las actividades correlacionadas entre ellos, con el propósito de observar el correcto funcionamiento e integridad en el traspaso de datos. Estas pruebas permiten verificar que los distintos módulos del sistema de información web interactúan correctamente entre sí, y no únicamente de manera aislada.

El objetivo principal es detectar posibles errores de comunicación entre módulos, asegurando que los datos se transmitan adecuadamente, se almacenen correctamente en la base de datos y que las consultas realizadas sean precisas y coherentes. También, se busca validar el flujo de información para garantizar que los sistemas trabajen de forma conjunta como se espera en un entorno integrado, lo cual contribuye a la prevención de fallos en fases posteriores del desarrollo o en producción.

Las pruebas se basaron en el análisis del comportamiento inicial de las conexiones entre los cuatro módulos fundamentales del sistema: Autenticación y Registro, Creación de Componentes,

Creación de Proyectos, e Informe y Estadística. La lógica de interacción definida parte del módulo de Autenticación y Registro, desde el cual se permite el acceso tanto al módulo de Creación de Componentes como al de Creación de Proyectos y al de Informe y Estadística. Por su parte, el módulo de Creación de Proyectos establece conexiones directas tanto con el módulo de Creación de Componentes como con el de Informe y Estadística.

Con base en esta arquitectura de interrelación, se diseñó el checklist para evaluar si dichas conexiones se ejecutan correctamente y si las actividades previstas dentro del sistema de información se realizan de manera segura y eficiente.

<b>Evaluación de Pruebas de Integración</b>			
<b>Puntaje</b>	<b>Nivel de cumplimiento</b>	<b>Porcentaje</b>	
<b>5</b>	<b>Excelente (Cumple todo)</b>	95%	100%
<b>4</b>	<b>Bueno (Cumple casi todo)</b>	5%	
<b>3</b>	<b>Medio (Cumple lo esencial)</b>	0%	
<b>2</b>	<b>Bajo (Varios aspectos por mejorar)</b>	0%	0%
<b>1</b>	<b>Crítico (No cumple los criterios)</b>	0%	

Fig. 45 validación de efectividad de prueba de integración.

La Figura 45 presenta la representación gráfica de los porcentajes obtenidos durante la validación de la efectividad de las pruebas de integración, realizadas para cada Historia de Usuario (HU), con el objetivo de evaluar la correcta interacción entre los diferentes módulos del sistema.

Para una visualización detallada de la prueba de integración, se recomienda consultar el **Anexo 12**.

### 3) *Pruebas funcionales*

Durante la ejecución de las pruebas funcionales se elaboró un checklist con base en los requerimientos extraídos de las historias de usuario, con el objetivo de validar cada uno frente a su funcionalidad esperada. Como resultado de este proceso, se concluyó que el 98% del software presentó un comportamiento completamente operativo, sin limitaciones que afectaran su desempeño. La evidencia correspondiente a esta validación puede observarse en la gráfica adjunta,

la cual clasifica el nivel de cumplimiento en las siguientes categorías: Excelente, cuando se cumple con la totalidad de los requerimientos; Bueno, cuando se cumple con la mayoría; Medio, cuando se satisfacen los aspectos esenciales para el funcionamiento correcto del sistema; y Bajo, cuando existen varios elementos por mejorar.

En este sentido, solo el 2% del sistema evaluado presentó un nivel de cumplimiento bajo, no debido a deficiencias funcionales críticas, sino a oportunidades claras de mejora en su desempeño y usabilidad. Cabe destacar que la finalidad de este tipo de pruebas funcionales es verificar que el sistema de información web opere conforme a lo establecido, validando cada requerimiento funcional especificado y asegurando que cada componente cumpla con las expectativas definidas. Para ello, se utilizaron distintos métodos de verificación que permitieron comprobar y visualizar las salidas reales del sistema, asegurando así la confiabilidad y efectividad de la solución desarrollada.

<b>Evaluación Pruebas Funcionales</b>			
<b>Puntaje</b>	<b>Nivel de cumplimiento</b>	<b>Porcentaje</b>	
<b>5</b>	<b>Excelente (Cumple todo)</b>	 86%	98%
<b>4</b>	<b>Bueno (Cumple casi todo)</b>	 10%	
<b>3</b>	<b>Medio (Cumple lo esencial)</b>	 2%	
<b>2</b>	<b>Bajo (Varios aspectos por mejorar)</b>	 2%	2%
<b>1</b>	<b>Crítico (No cumple los criterios)</b>	 0%	

Fig. 46 validación de efectividad de prueba unitarias.

La Figura 46 muestra la visualización gráfica de los porcentajes obtenidos en la validación de la efectividad de las pruebas funcionales, realizadas para cada Historia de Usuario (HU).

Para una visualización detallada y mejor comprensión de la prueba funcional, se recomienda consultar el **Anexo 13**.

## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de la investigación valida la hipótesis alterna, al demostrar que un sistema de información fortalece significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje en la estructuración de sistemas de generación hídrica y fotovoltaica, demostrando una alta confiabilidad en la recopilación y análisis de datos, con una efectividad entre el 80% y 90 %, se rechaza la hipótesis nula, mejorando la precisión y representatividad de los resultados a través de simulaciones virtuales. Los hallazgos evidencian el cumplimiento del objetivo general, centrado en el desarrollo e implementación de un software capaz de recopilar, y analizar datos provenientes de sistemas híbridos, permitiendo su almacenamiento eficiente y visualización en tiempo real mediante una estación meteorológica Davis Vantage Pro2 con intervalos de cinco minutos.

El sistema permite al usuario configurar entornos fotovoltaicos e hídricos mediante la integración de componentes como paneles, baterías, inversores, reguladores, cargas, tanques, motobombas, tuberías, turbinas y generadores. Estas configuraciones son validadas mediante código para establecer comunicación con sensores físicos, posibilitando la ejecución, recolección de datos.

La plataforma incorpora herramientas de visualización como tablas dinámicas y gráficos interactivos, facilitando el análisis de parámetros clave: energía generada, eficiencia, voltaje, caudal, presión y altura. Cada componente está documentado con métricas detalladas, lo que permite al estudiante transitar del análisis teórico a una práctica experimental fundamentada, fortaleciendo la comprensión técnica del sistema modelado.

Desde el enfoque tecnológico, se emplearon librerías de inteligencia artificial como TensorFlow 2.17 y Keras 3.6.0 en un módulo predictivo de irradiancia, desarrollado por estudiantes e integrado por el autor. La arquitectura es escalable y soportada por una base de datos PostgreSQL robusta y normalizada, con consultas optimizadas para el manejo de grandes volúmenes de información.

El sistema fue desarrollado con frameworks como Flask y Bootstrap, utilizando Python, JavaScript, CSS y programación en Arduino IDE. Cumple con los requisitos de usabilidad,

funcionalidad y portabilidad, garantizando una experiencia intuitiva, adaptable a distintos dispositivos y optimizada para entornos táctiles. La implementación se enmarca en un enfoque cuantitativo, con base en el paradigma positivista, bajo un método científico y un diseño cuasiexperimental de tipo descriptivo.

## **A. Comparación de datos.**

### **1) Sistema fotovoltaico 1.**

Para la comparación de datos, se configuró un sistema fotovoltaico compuesto por dos paneles de 400 W conectados en serie, un inversor de 1920 W y un banco de baterías conformado por dos unidades de 12 V también conectadas en serie. Debido a que dichos componentes no se encontraban previamente registrados en el inventario del sistema, se procedió a su incorporación a través del rol administrador, asegurando la integridad de la base de datos y la trazabilidad de los elementos utilizados.

Posteriormente, se generó un nuevo proyecto denominado Prueba Fotovoltaico, en el cual se integraron los paneles, el banco de baterías, el inversor y una carga de 10 W. Para la medición y transmisión de variables eléctricas en corriente alterna, se implementó un módulo de monitoreo compuesto por el sensor ZMPT101B y el microcontrolador ESP32, configurado para el envío remoto de datos al sistema de información. Esta arquitectura permitió la recepción continua de parámetros críticos como voltaje y corriente, con una alta fidelidad temporal y precisión técnica.

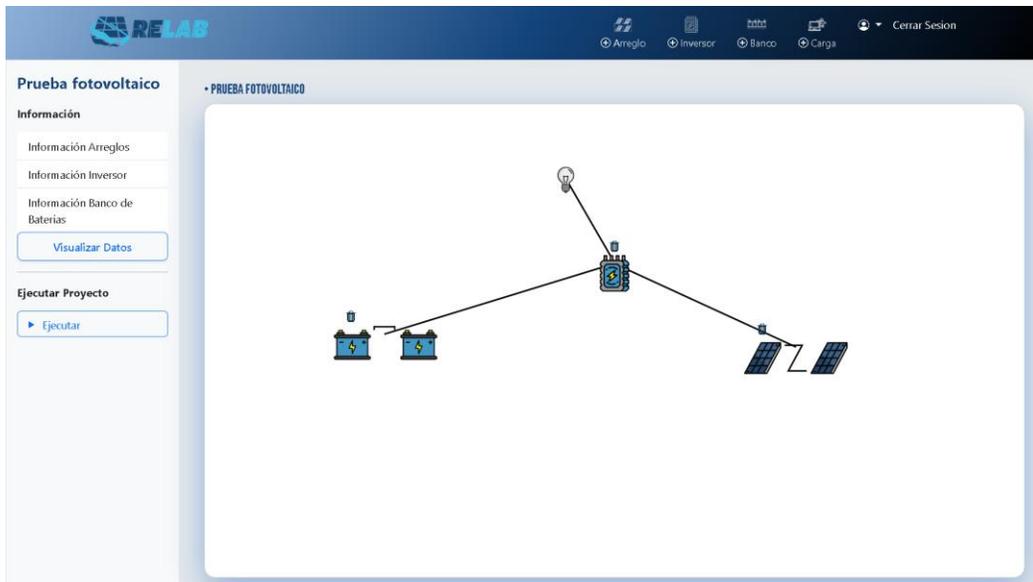


Fig. 47 Esquema de configuración del primer sistema fotovoltaico en el software RELAB

La Figura 47 muestra la visualización gráfica del esquema de configuración del sistema fotovoltaico implementado dentro de la interfaz gráfica del sistema de información RELAB



Fig. 48 Instalación experimental de módulos fotovoltaicos en área de pruebas físicas

La Figura 48 muestra el sistema fotovoltaico conectado y en ejecución en la azotea de la universidad CESMAG, dos módulos conectados en serie, junto con un inversor y su correspondiente banco de baterías, también conectado dos baterías en serie.

La simulación realizada con esta configuración permitió visualizar en tiempo real el comportamiento energético del sistema, validando así la funcionalidad del entorno virtual, la interoperabilidad entre los componentes físicos y digitales, y la capacidad del software para integrar, almacenar y analizar datos bajo condiciones experimentales controladas. Durante un día de prueba, se recolectaron un total de 123 datos entre las 7:05 a.m. y las 6:05 p.m. Para una mejor comprensión, los resultados se presentan a continuación.

**TABLA VII CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 1**

Módulo	1	2
Tecnología	Monocristalino	Monocristalino
Modelo	Risen 400W	Risen 400W
$P_{m\acute{a}x}$	400.0 W	400.0 W
$V_{mp}$	34.39V	34.39V
$I_{mp}$	11.64A	11.64A
$V_{oc}$	41.3 V	41.3 V
$I_{sc}$	12.34 A	12.34 A
Área (cm <sup>2</sup> )	1,75 x 1,09	1,75 x 1,09
Área (m <sup>2</sup> )	1.9075	1.9075



Fig. 49 Curva de generación de energía del sistema fotovoltaico 1 durante el 23/04/2025

La Figura 49 muestra la gráfica de la energía generada en el sistema fotovoltaico 1 con respecto al tiempo y el factor climático variante que es la irradiancia tomada desde la estación meteorológica Davis Vantage Pro2.

**TABLA VIII REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 1 EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 11 REGISTROS)**

Fecha y Hora	Potencia Total (W)	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Eficiencia (%)	Energía (W)	Energía (KW)	Voltaje AC Inversor
28/04/2025 7:05	800,5992	21	20,985562	16,812583	0,016813	132,47
28/04/2025 7:10	800,5992	20	20,985562	16,011984	0,016012	132,91
28/04/2025 7:15	800,5992	20	20,985562	16,011984	0,016012	133,02
28/04/2025 7:20	800,5992	21	20,985562	16,812583	0,016813	133,17
28/04/2025 7:25	800,5992	23	20,985562	18,413782	0,018414	133,28
28/04/2025 7:30	800,5992	23	20,985562	18,413782	0,018414	134,09
28/04/2025 7:35	800,5992	25	20,985562	20,01498	0,020015	133,36
28/04/2025 7:40	800,5992	32	20,985562	25,619174	0,025619	133,58
28/04/2025 7:45	800,5992	38	20,985562	30,42277	0,030423	132,63
28/04/2025 7:50	800,5992	40	20,985562	32,023968	0,032024	132,97
28/04/2025 7:55	800,5992	43	20,985562	34,425766	0,034426	133,26

**TABLA IX ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA SISTEMA1**

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Potencia Total (W)	800,5992	800,5992	800,5992
Irradiancia	142,4863014	0	347
Eficiencia (%)	19,97940492	0	20,985562
Energía (W)	114,0744189	0	277,807922
Energía (kW)	0,114074466	0	0,277808
Voltaje AC Inversor	131,1286986	125,35	134,92

## 2) Sistema fotovoltaico 2.

En el segundo caso de estudio, se implementó un sistema fotovoltaico utilizando paneles previamente empleados en una investigación referenciada dentro de los antecedentes regionales, enfocada en el “**Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de**

**tecnología basada en silicio”**[10]. Dicha investigación incluyó pruebas comparativas entre paneles monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo, evaluando su eficiencia en condiciones reales de operación.

Estos mismos paneles, instalados en la azotea de la Universidad CESMAG con fines investigativos y funcionales, fueron integrados nuevamente en el presente sistema. La configuración incluyó seis paneles conectados en serie: Dos monocristalinos de 50 W, uno monocristalino de 40 W, uno policristalino de 40 W, uno monocristalino de 54 W y uno de silicio amorfo de 103 W. Para el almacenamiento, se utilizó un banco de baterías compuesto por dos unidades en serie, acompañado del mismo inversor de 1920 W empleado en el ejemplo anterior, seleccionado estratégicamente por su compatibilidad y capacidad de respuesta, a pesar de la posibilidad de utilizar un modelo de menor potencia.

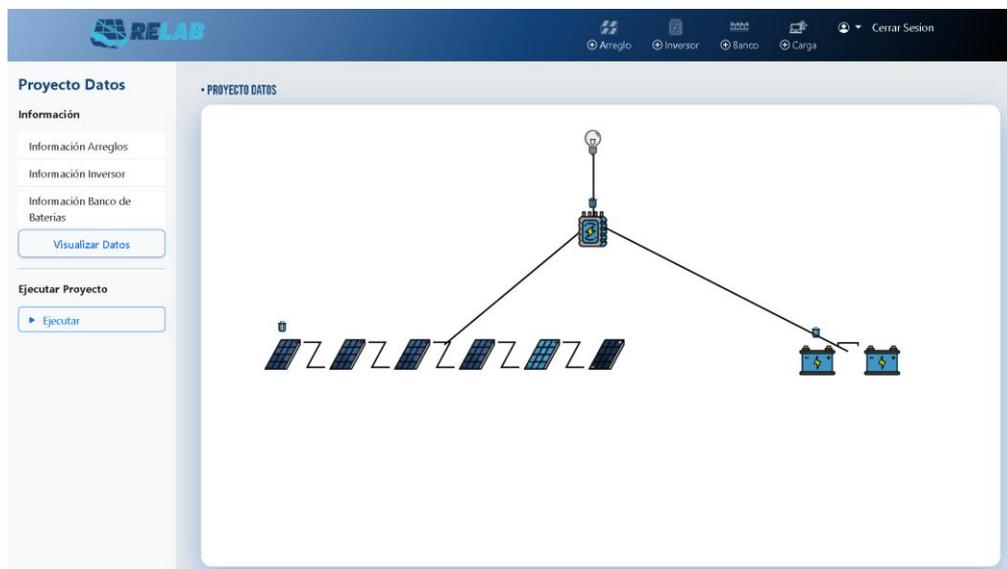


Fig. 50 Esquema de configuración del segundo sistema fotovoltaico en el software RELAB

La Figura 50 muestra la visualización gráfica del esquema de configuración del segundo sistema fotovoltaico implementado dentro de la interfaz gráfica del sistema de información RELAB



Fig. 51 Instalación experimental de módulos fotovoltaicos en área de pruebas físicas

La Figura 51 muestra el sistema fotovoltaico conectado y en ejecución en la azotea de la universidad CESMAG y dentro del laboratorio, 6 módulos conectados en serie, junto con un inversor y su correspondiente banco de baterías, también conectado dos baterías en serie.

La integración de estos componentes permitió validar el comportamiento del sistema bajo una configuración heterogénea de paneles, destacando la interoperabilidad del software para gestionar múltiples tecnologías fotovoltaicas dentro de un solo proyecto. El sistema procesó los datos en tiempo real, registrando parámetros energéticos clave y generando resultados con alto nivel de precisión técnica, contribuyendo así al análisis experimental y la evaluación comparativa de las distintas tecnologías solares involucradas en un solo proyecto, con una recolecta total de 123 datos de un día de prueba desde las 7:05 am hasta las 6:05 pm, para una mejor comprensión podemos observar en los siguientes resultados.

**TABLA X CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 2**

Módulo	1 y 2	3	4	5	6
Tecnología	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino	Policristalino	Amorfo
Modelo	JHP50	ICF-5M -50M-36	RI	KC50T	ASI 103
P <sub>máx</sub>	50W	40W	40W	54W	103W
V <sub>mp</sub>	17,4V	17.33V	17V	17.4V	30.43V
I <sub>mp</sub>	2.87A	2.31A	2.36 <sup>a</sup>	3.11A	3.39A
V <sub>oc</sub>	20.8V	21.51V	21V	21.7V	42.8V
I <sub>sc</sub>	3.24A	2.58A	2.72 <sup>a</sup>	3.31A	4A
NOCT	47°C	45°C	47°C	47°C	49°C
Área (cm <sup>2</sup> )	75 x 50.8	58 x 50.8	63 x 48.6	62.5 x 59	128 x 108
Área (m <sup>2</sup> )	0.381	0.29464	0.30618	0.36875	1.3824

**Energía generada por el proyecto**

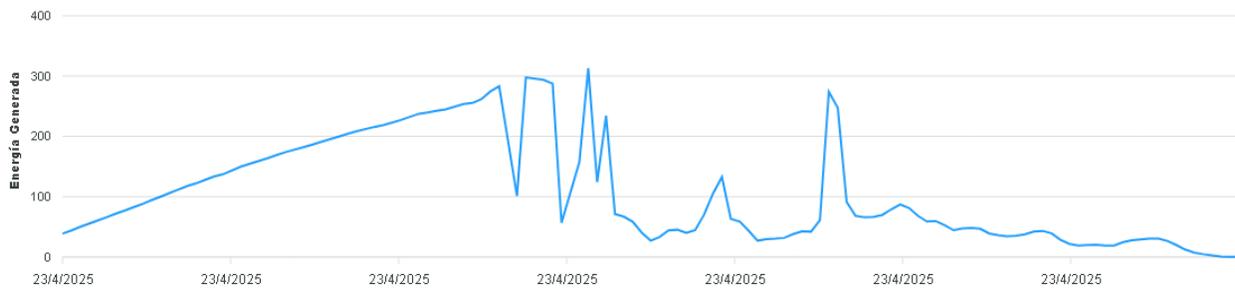


Fig. 52 Curva de generación de energía del sistema fotovoltaico 2 durante el 23/04/2025

La Figura 52 muestra la gráfica de la energía generada en el sistema fotovoltaico 2 con respecto al tiempo y el factor climático variante que es la irradiancia tomada desde la estación meteorológica Davis Vantage Pro2.

**TABLA XI REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 2 EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 10 REGISTROS)**

Fecha y Hora	Potencia Total (W)	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Eficiencia (%)	Energía (W)	Energía (KW)	Voltaje AC Inversor
23/04/2025 7:05	270,1776	143	15,420445	38,635397	0,038635	121,11
23/04/2025 7:10	270,1776	163	15,420445	44,038949	0,044039	120,9
23/04/2025 7:15	270,1776	185	15,420445	49,982856	0,049983	120,74
23/04/2025 7:25	270,1776	225	15,420445	60,78996	0,06079	120,49

23/04/2025 7:30	270,1776	245	15,420445	66,193512	0,066194	120,52
23/04/2025 7:35	270,1776	266	15,420445	71,867242	0,071867	120,62
23/04/2025 7:40	270,1776	285	15,420445	77,000616	0,077001	120,51
23/04/2025 7:45	270,1776	306	15,420445	82,674346	0,082674	120,54
23/04/2025 7:50	270,1776	326	15,420445	88,077898	0,088078	120,42
23/04/2025 7:55	270,1776	349	15,420445	94,291982	0,094292	120,26

**TABLA XII ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN  
FOTOVOLTAICA SISTEMA2**

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Potencia Total (W)	270,1776	270,1776	270,1776
Irradiancia	367,639344	0	1159
Eficiencia (%)	15,1676508	0	15,420445
Energía (W)	99,3279157	0	313,135838
Energía (kW)	0,09932793	0	0,313136
Voltaje AC Inversor	120,27877	119,11	121,2

### 3) *Sistema hídrico 1.*

Para la estructuración del sistema hídrico se utilizaron componentes de laboratorio, entre ellos un generador de 1000 W, una motobomba de 0.38kv y un tanque de 80 litros por metro cúbico. Se estableció una carga simulada a través de un módulo conectado de forma remota al sistema de información, el cual recibió datos del caudalímetro, sensor de presión y voltaje en corriente continua (DC).

Este sistema, aún en fase experimental como parte de un proyecto de grado de dos estudiantes de ingeniería electrónica (Johan Sebastian Mera Cabrera - Duver Arley Cuamputis Gomes), presentó limitaciones importantes: la turbina requería un caudal mínimo de 600 litros por minuto para generar la potencia especificada, mientras que la motobomba solo alcanzaba 40 litros por minuto. Esta diferencia impidió el funcionamiento eficiente del generador, haciendo inviable su operación bajo estas condiciones, por lo tanto, la medición saliente no medirá Corriente alterna (CA), pero si Corriente Directa(CD).

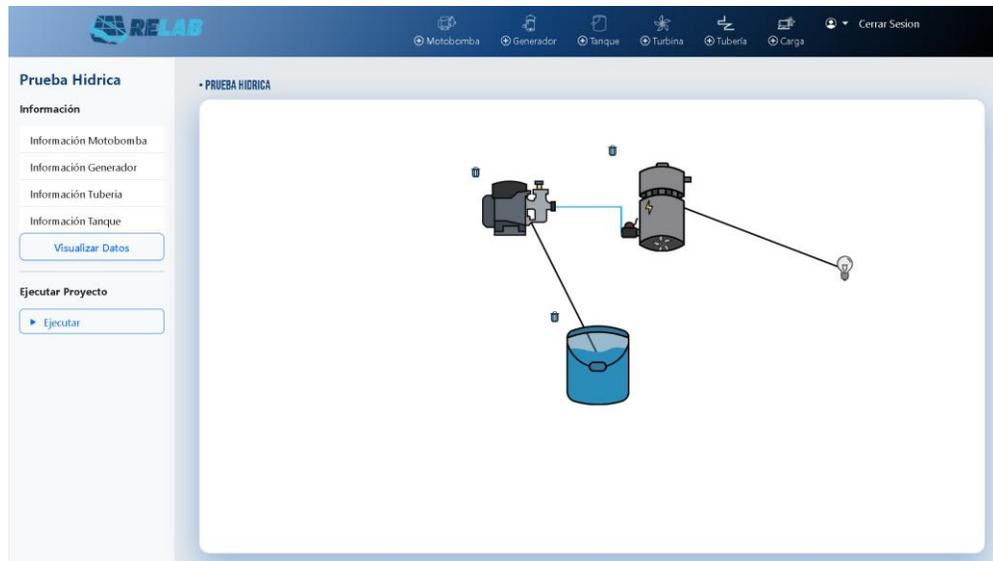


Fig. 53 Esquema de configuración del sistema hídrico en el software RELAB

La Figura 53 muestra la visualización gráfica del esquema de configuración del sistema hídrico implementado dentro de la interfaz gráfica del sistema de información RELAB



Fig. 54 Instalación experimental de sistema hídrico en área de pruebas físicas

La Figura 54 muestra el sistema hídrico conectado y en ejecución en el laboratorio de la universidad CESMAG.

Se están evaluando distintas alternativas con el objetivo de optimizar el funcionamiento del sistema, incluyendo la posibilidad de generar voltaje en corriente alterna (AC) por encima de los

110 V. Sin embargo, dado el estado actual de la configuración, se optó por iniciar la validación experimental utilizando corriente directa (DC), obteniendo valores de voltaje que oscilaron entre 48.00 V y 54.00 V. Cabe destacar que el sistema estuvo operativo desde las 07:05 hasta las 12:00 del mediodía, registrando un total de 71 mediciones. Los resultados obtenidos durante este período se presentan a continuación para una mejor comprensión del comportamiento del sistema.

**TABLA XIII CARACTERÍSTICAS DE GENERADOR DE ENERGIA**

Componente	Generador
Modelo	Generador Micro Hidroeléctrico 1000W Turbina Pelton
Potencia	1000,0W
Voltaje	110,0V
Velocidad	3600,0 rpm
Diámetro del tubo	50mm
Capacidad Caudal	600 L/min
Ancho(mm)	115mm
Alto (mm)	230mm

**TABLA XIV CARACTERÍSTICAS DE MOTOBOMBA**

Componente	Motobomba
Modelo	Truper 12111
Potencia	0.5hp-0.38kw
Voltaje	110,0v
Frecuencia	60Hz
Diámetro entrada	1mm
Diámetro salida	1mm
Capacidad Caudal	40 L/min

Cabe resaltar que, aunque la gráfica de energía generada muestra un crecimiento lineal constante, esta tendencia se mantendrá únicamente mientras el sistema esté en funcionamiento. El diseño del proyecto permite que el agua utilizada por el generador retorne al tanque original,

creando así un ciclo cerrado de recirculación. Si bien este ciclo no es infinito, sí permite una operación temporal continua hasta que se agoten las condiciones óptimas de presión y caudal.

**Energía generada por el proyecto**

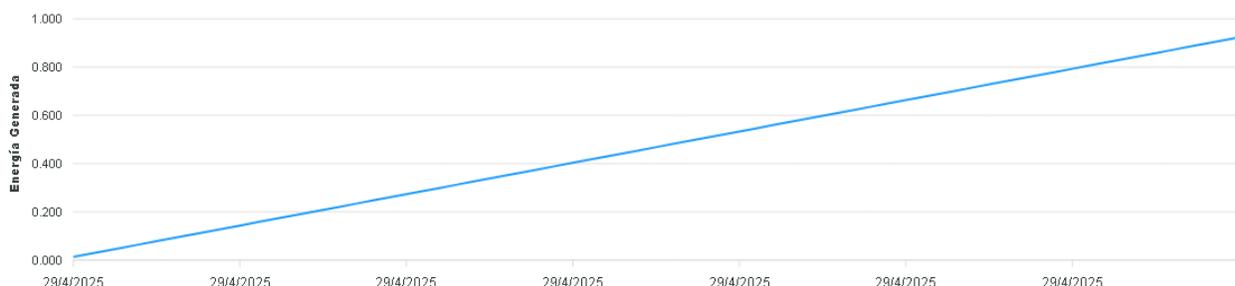


Fig. 55 Grafica de generación de energía del sistema hídrico durante el 23/04/2025

La Figura 55 muestra la gráfica de la energía generada en el sistema hídrico con respecto al tiempo.

**TABLA XV REGISTRO DE PARÁMETROS DE GENERACIÓN DEL SISTEMA HIDRICO EN INTERVALOS DE 5 MINUTOS (PRIMEROS 10 REGISTROS)**

Fecha y Hora	Energía Generada (Kw)	Eficiencia (%)	Altura (m)	Caudal (m3/s)	Presión (Pa)	Voltaje (V)	Corriente (A)
29/04/2025 7:05	0,143	73,78	5	0,00311	48853	52,14	2,15
29/04/2025 7:10	0,156	75,56	5	0,00311	48853	52,66	2,18
29/04/2025 7:15	0,169	77,82	5	0,00311	48853	53,5	2,21
29/04/2025 7:20	0,182	63,81	5	0,00311	48853	48,47	2
29/04/2025 7:25	0,195	70,12	5	0,00311	48853	50,73	2,1
29/04/2025 7:30	0,208	65,48	5	0,00311	48853	49,01	2,03
29/04/2025 7:35	0,221	78,57	5	0,00311	48853	53,77	2,22
29/04/2025 7:40	0,234	79,21	5	0,00311	48853	53,97	2,23
29/04/2025 7:45	0,247	75,8	5	0,00311	48853	52,83	2,18
29/04/2025 7:50	0,26	63,82	5	0,00311	48853	48,48	2

**TABLA XVI ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS DE GENERACIÓN HIDRICA**

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
Energía Generada (Kw)	0,468	0,013	0,923
Eficiencia (%)	70,97	62,96	79,21
Altura (m)	5	5	5
Caudal (m3/s)	0,00311	0,00311	0,00311
Presion (Pa)	48853	48853	48853
Voltaje (V)	51,05830986	48,07	53,97
Corriente (A)	2,10971831	1,99	2,23

**B. *Análisis de respuesta.***

En el análisis de transmisión de datos, se considera la ruta que siguen los valores adquiridos desde la estación meteorológica hacia el sistema de información. Inicialmente, estos datos son recolectados por la estación Davis Vantage Pro2 y enviados al software propietario WeatherLink versión 6.0.5. Posteriormente, son transmitidos a la plataforma web del desarrollador de WeatherLink, desde donde son consumidos por el sistema de información a través de una API externa. Aunque el intervalo definido para la recepción es de cinco minutos, factores como la infraestructura de red, la calidad de la conexión, el rendimiento del servidor y el procesamiento en cada etapa pueden extender el tiempo total de llegada a un rango de entre 6 y 7 minutos.

Para garantizar la integridad y continuidad de los datos, se implementó un sistema de validación de registros faltantes en la base de datos. Este mecanismo realiza consultas periódicas a la plataforma de WeatherLink y, en caso de detectar datos ausentes, los recupera y almacena sin duplicar los ya existentes, asegurando así la completitud del historial de irradiancia.

Dado que los datos de irradiancia están directamente vinculados con la ejecución de los sistemas fotovoltaicos, su análisis depende de la disponibilidad de dichos datos. Por lo tanto, el sistema fotovoltaico procesa los resultados una vez se han almacenado correctamente los valores de irradiancia, lo que puede generar un intervalo efectivo de análisis entre 6 y 8 minutos.

En contraste, el sistema hídrico no depende de estaciones meteorológicas externas. Todos los datos son generados localmente por sensores conectados al microcontrolador ESP32, el cual transmite la información directamente al sistema de información mediante una API. Aunque los

sensores generan datos cada segundo, estos son almacenados en la base de datos cada cinco minutos, con el fin de mantener consistencia con el sistema fotovoltaico. Para lograr esta sincronización, se desarrolló un hilo de ejecución utilizando las librerías threading y time, junto con una condición lógica que permite el almacenamiento únicamente cuando la hora y los segundos del sistema están en múltiplos de cinco (minutos = 0 mod 5; segundos = 0), garantizando una cadencia precisa y uniforme.

La siguiente tabla resume los intervalos y procesos de transmisión para ambos sistemas:

**TABLA XVII INTERVALOS Y PROCESOS DE TRANSMISIÓN**

<b>Sistema</b>	<b>Origen de Datos</b>	<b>Frecuencia de Adquisición</b>	<b>Frecuencia de Almacenamiento</b>	<b>Tiempo Estimado de Análisis</b>	<b>Mecanismo de Validación</b>
Fotovoltaico	Estación meteorológica (API)	Cada 5 minutos	Cada 5-7 minutos (variable)	6 a 8 minutos	Validación automática de registros faltantes
Hídrico	Sensores locales vía ESP32	Cada segundo	Cada 5 minutos	5 minutos	Transmisión directa con control de hilo

## CONCLUSIONES

El sistema denominado RELAB, facilita la recopilación y el análisis de datos provenientes de instalaciones físicas previamente implementadas, brindando herramientas que permiten evaluar el comportamiento y la eficiencia de estos sistemas en tiempo real, diseñado específicamente para apoyar procesos educativos e investigativos en el ámbito de las energías renovables. Permite a los usuarios estructurar, monitorear, recopilar datos y analizar sistemas de generación de energía renovable, particularmente en las tecnologías fotovoltaica e hídrica.

Para los sistemas fotovoltaicos, se integraron datos de irradiancia solar obtenidos a partir de una estación meteorológica Davis Vantage Pro2, con registros a intervalos de 5 minutos, junto con lecturas de voltaje recolectadas mediante un módulo ZMPT101B, instalado directamente en el sistema de generación, en la salida del inversor, obteniendo valores de VCA (Voltaje de Corriente Alterna).

De manera análoga, los sistemas hídricos recopilan información sobre el caudal en intervalos de 5 minutos utilizando un caudalímetro, además de los datos de voltaje, también adquiridos mediante el módulo VCA como ZMPT101B y otros módulos DC (Corriente Directa). Esta estructura de adquisición de datos permite realizar una evaluación integral de los parámetros definidos durante el diseño de los sistemas de generación.

Gracias a la implementación de estas tecnologías, metodologías, y los resultados demostrados, el sistema de información RELAB se consolida como una herramienta eficiente, robusta y funcional, que cumple con los requerimientos establecidos. Su versatilidad lo posiciona como un recurso valioso para el aprendizaje práctico y la investigación en energías renovables, fomentando la comprensión técnica y el análisis de datos reales en entornos académicos.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar la escalabilidad del sistema de información desarrollado, dado que su arquitectura modular permite la integración de nuevos sistemas de generación de energía renovable, como la energía eólica. Actualmente, el laboratorio dispone de componentes que podrían facilitar esta extensión, permitiendo estructurar un sistema híbrido dentro de la misma plataforma tecnológica.

Asimismo, se sugiere ampliar las funcionalidades del sistema para incorporar modelos de predicción adicionales, no limitándose únicamente a la irradiancia solar. Es viable integrar modelos predictivos para variables como el caudal hidráulico y la velocidad del viento, lo cual enriquecería las capacidades analíticas del sistema y fortalecería la toma de decisiones en escenarios energéticos más complejos.

En cuanto a la operación continua y confiabilidad del sistema, se destaca la importancia de garantizar la estabilidad operativa de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2. Dado que la recolección de datos se realiza de manera automática y continua, es indispensable que el equipo de cómputo al que se encuentra conectada la estación permanezca encendido las 24 horas del día.

También, se recomienda asegurar una conexión ininterrumpida tanto a la red eléctrica como a la red Wi-Fi. En caso de fallas de conectividad o cortes de energía, es fundamental realizar la reconexión manual a través del software de escritorio WeatherLink 6.0.5, herramienta mediante la cual se configura la sincronización entre el equipo físico y la plataforma en línea.

Esta configuración ya ha sido debidamente documentada y comunicada a los responsables del laboratorio, garantizando así que, en caso de contingencias, se pueda restablecer la transmisión de datos hacia la API encargada de alimentar el sistema de información RELAB desarrollado en este proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Seguimiento del progreso de las energías renovables: herramientas de datos - AIE.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-2021-data-explorer?mode=market&region=World&publication=2021&product=Total>
- [2] C. E. P. A. L. 2016, “Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y El Caribe.,” *“PATRIMONIO” Econ. Cult. y Educ. para la Paz* , vol. 1, no. 11, Mar. 2017, doi: 10.22201/FPSI.20074778E.6.1.11.58871.
- [3] E. Salazar, “TEXTO DE LECTURA RECOMENDADA ‘Aprendizaje significativo y organización de la enseñanza.’”
- [4] D. P. Ausubel, *Psicología educativa : un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, 1980.
- [5] “Microrredes: Arquitecturas y Control | Libros electrónicos IEEE | Exploración IEEE.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/book/6685216>
- [6] E. Rúa-Ramírez, I. D. Mendoza-Jiménez, and E. Torres-Suarez, “Visor Redalyc - Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553770380001/>
- [7] D. C. Huynh, L. D. Ho, and M. W. Dunnigan, “Optimización de Costos de Generación de un Sistema de Microrred Insular con Generadores Distribuidos y Fuentes de Energía Renovables | Publicación de la conferencia IEEE | Exploración IEEE.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9718640>
- [8] A. C. Sánchez, W. F. Galeano, and J. M. Zambrano, “Visor Redalyc - Diseño de un sistema de generación microhidráulica basado en un tornillo de Arquímedes.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5055/505573889010/>
- [9] C. F. C. H., W. E. H. S., A. Bernal, and R. Ortiz., “Interfaz gráfica para la operación remota de un prototipo de generación de energía hidroeléctrica,” *El Hombre y la Máquina*, vol., no. 33, pp. 110–117, 2009, Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812225011>
- [10] F. J. Eraso, O. F. Erazo, E. Escobar, F. J. Eraso, O. F. Erazo, and E. Escobar, “Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de tecnología basada en

- silicio,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 27, no. 2, pp. 188–196, 2019, doi: 10.4067/S0718-33052019000200188.
- [11] A. Pantoja, D. Fajardo, and J. Revelo, “ALTERNAR: Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño,” <https://giiee.udenar.edu.co/wp-content/uploads/2020/09/Articulo-ALTERNAR-Premio-AMBAR-2016.pdf>, 2015, [Online]. Available: <https://giiee.udenar.edu.co/wp-content/uploads/2020/09/Articulo-ALTERNAR-Premio-AMBAR-2016.pdf>
- [12] E. Soria, “Energía hidráulica,” 2010.
- [13] Criollo & Quezada, “UPS-CT002113,” 2011.
- [14] M. Hadzich, “ENERGIA HIDRAULICA Capítulo 7. In Tecnologías para casas y hoteles ecológicos. PUCP.,” 2013.
- [15] “Sobre el caudal y la presión del agua - Universidad de Riego. Plataforma de transferencia de conocimientos e innovación en riego.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.universidadderiego.com/sobre-el-caudal-y-la-presion-del-agua/>
- [16] “Hazen–Williams equation - Wikipedia.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hazen–Williams\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Hazen–Williams_equation)
- [17] “Turbina Pelton, funcionamiento, partes y características.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/turbina-pelton>
- [18] © M Pilar González and M. Arcos, “Tem a 6. Turbinas Pelton. 6.1. Elementos de las Turbinas Pelton,” 2009.
- [19] K. S. Al Qdah *et al.*, “Design and Performance of PV Dust Cleaning System in Medina Region,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 7, no. 11, pp. 1–14, Nov. 2019, doi: 10.4236/JPEE.2019.711001.
- [20] F. J. Eraso Checa, O. F. Erazo de la Cruz, and E. Escobar Rosero, “Energía fotovoltaica. Modelos y respuestas a condiciones meteorológicas,” *Inst. Univ. CESMAG*, 2017, doi: [doi.org/10.15658/CESMAG17.010807](https://doi.org/10.15658/CESMAG17.010807).
- [21] “Qué es la irradiancia, cómo se mide y para qué sirve | Meteorología en Red.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.meteorologiaenred.com/irradiancia.html>
- [22] “DIFERENCIAS ENTRE RADIACIÓN, IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN SOLAR - ilumin | Cursos de Energía Solar.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available:

- <https://ilumin.online/diferencias-entre-radiacion-irradiancia-e-irradiacion-solar/>
- [23] “Tipos de paneles solares: eficiencia y rentabilidad.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://grupoturelectric.com/tipos-de-paneles-solares-eficiencia-y-rentabilidad/>
- [24] F. J. Eraso Checa, O. F. Erazo, and E. Escobar Rosero, *Energia Fotovoltaica - Modelos y Respuestas a Condiciones Meteorologicas*, Primera Ed. Pasto: Editorial Universidad Cesmag, 2017.
- [25] J. A. Ladrón de Guevara, “Diseño y Cálculo de una instalacion fotovoltaica aislada,” p. 90, 2018, [Online]. Available: [http://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf)
- [26] J. A. . Duffie and W. A. . Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Wiley, 2013.
- [27] “Calculadora Eficiencia eléctrica del generador de CC | Calcular Eficiencia eléctrica del generador de CC,” <https://www.calculatoratoz.com/es/electrical-efficiency-of-dc-generator-calculator/calc-30208>.
- [28] “¿Cuánta electricidad genera un panel solar y cómo calcularla? - Blog Damia Solar.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.damiasolar.com/blog/cuanta-electricidad-genera-un-panel-solar-y-como-calcularla/>
- [29] “Comparación en la Investigacion Científica | Process of Science | Visionlearning.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.visionlearning.com/es/library/Proceso-de-la-Ciencia/49/Comparación-en-la-Investigacion-Científica/152>
- [30] “Efecto Venturi. Principio de Continuidad. Teorema de Bernoulli. - YouTube.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=OKzimK0HaAk&ab\\_channel=ProfesorSergioLlanos](https://www.youtube.com/watch?v=OKzimK0HaAk&ab_channel=ProfesorSergioLlanos)
- [31] “ISO 25010: Mejora calidad y satisfacción del usuario en software.” Accessed: Apr. 12, 2024. [Online]. Available: <https://normasiso.org/norma-iso-25010/>
- [32] “la-norma-iso-25010-puede-ayudarte-a-mejorar-la-calidad-del-software-y-la-satisfaccion-de-tus-usuarios-no-te-lo-pierdas.png (1521×390).” Accessed: Apr. 12, 2024. [Online]. Available: <https://normasiso.org/wp-content/uploads/2023/09/la-norma-iso-25010-puede-ayudarte-a-mejorar-la-calidad-del-software-y-la-satisfaccion-de-tus-usuarios-no-te-lo-pierdas.png>
- [33] “¿Como se mide la Calidad del Software? | PPT.” Accessed: Apr. 12, 2024. [Online].

- Available: <https://es.slideshare.net/DANTYAASUNCION/como-se-mide-la-calidad-del-software-233612107>
- [34] “ISO 25010.” Accessed: Apr. 12, 2024. [Online]. Available: <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- [35] “Flexibilidad.” Accessed: Apr. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010/27-portabilidad>
- [36] “Cómo convierten los paneles solares la luz del sol en electricidad | Trina Solar.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.trinasolar.com/es/about-solar/how-it-works>
- [37] “Comparativa: panel solar poli, panel mono, panel cuasi-mono, y panel amorfo - Blog Damia Solar.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.damiasolar.com/blog/comparativa-panel-solar-poli-mono-cuasimono-amorfo/>
- [38] “¿Para qué sirve un regulador de voltaje? Algunos casos de éxito.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://grupoindustronic.com/como-protege-un-regulador-de-voltaje/>
- [39] “¿Para qué sirve un inversor? | factorenergia.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/para-que-sirve-un-inversor/>
- [40] A. Hernández Romero and B. para Almacenamiento de Energía, “UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA”.
- [41] “¿Qué es una carga lineal y no lineal? TutoManiac.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://tutomaniac.com/que-es-una-carga-lineal-y-no-lineal/>
- [42] “Cargas Resistivas, Inductivas Y Capacitivas: ¿Qué Son Y Cómo Se Diferencian En Una Instalación Eléctrica? - Electropreguntas.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://electropreguntas.com/cargas-resistivas-inductivas-y-capacitivas-que-son-y-como-se-diferencian-en-una-instalacion-electrica/>
- [43] “Irradiación solar - Wikipedia, la enciclopedia libre.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiación\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiación_solar)
- [44] J. D. Joaquín Cuarenta *et al.*, “Generación de energía mediante una bomba funcionando como turbina en una conducción de abastecimiento de agua de Guanajuato,” *Acta Univ.*, vol. 29, pp. 1–14, Dec. 2019, doi: 10.15174/AU.2019.2512.
- [45] “BOMBAS DE AGUA O MOTOBOMBAS : Comforza.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://comforza.com.pa/bombas-de-agua/>

- [46] “Inyectores Hidraulicos Funcionamiento | PDF | Máquinas | Ingeniería mecánica.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/310278792/INYECTORES-HIDRAULICOS-FUNCIONAMIENTO>
- [47] “¿Qué es un caudalímetro y cuántos tipos hay? | iAguá.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudalimetro-y-cuantos-tipos-hay>
- [48] “Turbina Pelton – El blog de Víctor Yepes.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/15/turbina-pelton/>
- [49] “¿Qué es un generador hidráulico? - Hidráulica.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://hidraulica.club/componentes/que-es-un-generador-hidraulico/>
- [50] A. España Barreiro and A. Giacomo Barbieri, “Modelo para cálculo de la eficiencia de la unidad de generación en centrales hidroeléctricas”.
- [51] “RENDIMIENTO DE TURBINAS HIDRÁULICAS. TURBINA HIDRÁULICA.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: [https://www.asing.es/rendimiento\\_turbinas\\_hidraulicas.php](https://www.asing.es/rendimiento_turbinas_hidraulicas.php)
- [52] “Conexión de paneles solares ¿En serie o paralelo?” Accessed: Apr. 27, 2024. [Online]. Available: <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/serie-o-paralelo>
- [53] “Conexión serie-paralelo de placas solares.” Accessed: Apr. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/conexion-serie-paralelo-de-placas-solares/>
- [54] “¿Cómo se calcula la eficiencia de los paneles solares y qué factores afectan su rendimiento? - Blog Damia Solar.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.damiasolar.com/blog/como-se-calcula-la-eficiencia-de-los-paneles-solares-y-que-factores-afectan-su-rendimiento/>
- [55] “Calculo de un regulador de carga p/energía fotovoltaica - YouTube.” Accessed: Apr. 29, 2024. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=k9\\_JE2g-Tn4&ab\\_channel=BERTICFT](https://www.youtube.com/watch?v=k9_JE2g-Tn4&ab_channel=BERTICFT)
- [56] “¿Como saber que tamaño de inversor necesito? - YouTube.” Accessed: Apr. 29, 2024. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=fnD8KhB95Ks&ab\\_channel=GrupoWattSolar](https://www.youtube.com/watch?v=fnD8KhB95Ks&ab_channel=GrupoWattSolar)
- [57] “CÓMO CALCULAR UN BANCO DE BATERÍAS - Tritec Intervento.” Accessed: Apr. 29, 2024. [Online]. Available: <https://tritec-intervento.cl/calculo-y-diseno-de-un-banco-de->

baterias/

- [58] “¿Cómo funciona un Inversor de Corriente? | 12 V DC a 220 V AC - YouTube.” Accessed: Apr. 30, 2024. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=uSj6GeFyOp8&ab\\_channel=NeheylerMecatrónico](https://www.youtube.com/watch?v=uSj6GeFyOp8&ab_channel=NeheylerMecatrónico)
- [59] “Carga instalada, demanda y consumo - YouTube.” Accessed: Apr. 30, 2024. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yQug26ieo98&ab\\_channel=DOMUSIngeniería](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=yQug26ieo98&ab_channel=DOMUSIngeniería)
- [60] “CALCULAR LA POTENCIA DE UNA TURBINA HIDRÁULICA - Powerturbines.” Accessed: Apr. 30, 2024. [Online]. Available: <https://powerturbines.eu/blog/calcular-la-potencia-de-una-turbina-hidraulica/>
- [61] “fbh3: ‘La energía del agua’ | iAgua.” Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fbh3-energia-agua>
- [62] J. A. Quijano, “Guía de Investigación Cuantitativa / Universidad CESMAG,” 2009.
- [63] C. : Laura, P. Díaz-Bravo, L. Díaz-Bravo, U. Torruco-García, M. Martínez-Hernández, and M. Varela-Ruiz, “La entrevista, recurso flexible y dinámico,” *Investig. en Educ. médica*, vol. 2, no. 7, pp. 162–167, 2013, Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-50572013000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [64] L. María, E. Dulzaides Iglesias, L. Ana, and M. Molina Gómez, “Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso,” *ACIMED*, vol. 12, no. 2, pp. 1–1, 2004, Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [65] “Introducción: fuente de datos en tiempo real de WeatherLink.” Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: <https://weatherlink.github.io/real-time-data-feed/>
- [66] C. Ponce, “Razones trigonométricas de un triángulo rectángulo,” <https://dicciomat.com/razones-trigonometricas/>.
- [67] M. Stéphane, “Descubrir el teorema de Bernoulli: principio, fórmula y ecuación | Fuji Electric,” <https://www.fujielectric.fr/es/blog/teorema-de-bernoulli-principio-formula-ecuacion/>.

- [68] V. Lackovic, “Small Hydro Project Analysis Credit: 3 PDH.”
- [69] “Cómo Instalar y Configurar un Inversor Solar Híbrido Hoymiles HYS-6.0LV-EUG1,”  
<https://www.youtube.com/watch?v=uo2MhRMNZSc&t=1s>.
- [70] “Cómo calcular el área si se da el diámetro - 4 pasos,”  
<https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-calcular-el-area-si-se-da-el-diametro-1540.html>.
- [71] M. Stéphane, “Teorema de Bernoulli: principio, fórmula y ecuación,”  
<https://www.fujielectric.fr/es/blog/teorema-de-bernoulli-principio-formula-ecuacion/>.
- [72] “WeatherLink Home.” Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available:  
<https://www.weatherlink.com/#makePayment/181874/0/false/Pro>

## ANEXOS

### Anexo 1: Aval Asesor del proyecto



San Juan de Pasto, 02 de mayo de 2025

Señores:  
**Comité de Investigaciones**  
Programa de Ingeniería de Sistemas  
Universidad CESMAG

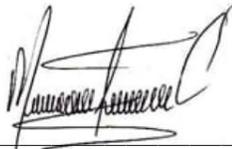
**Asunto:** Aval Trabajo de Grado

Saludo de paz y bien,

Yo, Mg MAGDA FERNANDA CALVACHE ARGOTY identificado con cédula de ciudadanía Nro. 36.951.567, doy fé que el trabajo de grado, "**SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS RELACIONADOS CON LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍDRICO Y FOTOVOLTAICO PARA LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CESMAG**", realizado por la estudiante MARIA CAMILA RUEDA PRADO se puede presentar a revisión de Jurados, de igual manera, notifico que la estudiante asistió a las respectivas asesorías conforme a cronograma de actividades.

La estudiante manifiesta su compromiso para continuar depurando detalles del documento y producto TI, buscando alcanzar los objetivos y resultados del proyecto.

Atentamente,



Mg MAGDA FERNANDA CALVACHE ARGOTY  
C.C 36.951.567  
Asesor del proyecto

## Anexo 2: Certificado Exabre

UNIVERSIDAD  
DIOS  
CIENCIA Y SERVIDIO  
CESMAG

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Certifica que:

**RUEDA PRADO MARIA CAMILA**

Identificado(a) con documento nº **1010113696**

| PARTICIPÓ COMO PARTICIPANTE EN |

**EXABRE**

Proyecto Interestructurante Estrategia basada  
en retos versión 2023-2

Desarrollado el 20 de noviembre de 2023  
Se firma en San Juan de Pasto en noviembre de 2023

Código de Verificación  
d94de3-8c19-0bfb156

www.unicesmag.edu.co

Mag. Ing. Carlos Fernando Gonzalez F.  
Director de programa

VIGILADA MINEDUCACIÓN

2023

### Anexo 3: Certificado Semillero de Investigación



## Anexo 4: Certificado Electrónica Aplicada



Certifica que :

**MARIA CAMILA RUEDA PRADO**

Participó con la Ponencia:

Plataforma de análisis de parámetros de generación eléctrica por fuentes hídricas y fotovoltaicas, a nivel de laboratorio.

EN EL II CONGRESO INTERNACIONAL DE  
**ELECTRÓNICA APLICADA**  
Primer Simposio de  
**Ingeniería Electrónica Aplicada**  
CIEA - SIEA 2024

Realizado el 14 y 15 de noviembre de 2024  
Se firma en San Juan de Pasto.



**PhD Javier Jiménez Toledo**  
VICERECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN



**Christian Fernando Vega Caicedo**  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



**"HOMBRES NUEVOS PARA TIEMPOS NUEVOS"**  
Fray Guillermo de Castañeda, OPKCap

VICELATA MINERACIÓ

## Anexo 5: Certificado Innovación Social



**I Congreso Internacional de Innovación Social**  
Gestión de conocimiento  
y construcción de paz

*Hace constar que:*  
**MARIA CAMILA RUEDA PRADO**  
**1010113696**  
Documento de identidad

**Por su participación en la modalidad de Póster con el proyecto**  
Sistema de información para la recopilación y análisis de datos relacionados con los parámetros de evaluación de los sistemas de generación hídrico y fotovoltaico para integrantes de la universidad CESMAG

**Primer Congreso Internacional de Innovación Social**  
realizado los días 6 y 7 de noviembre de 2024.

Se firma en San Juan de Pasto a los 7 días del mes de noviembre de 2024.

  
Mg. Tito Manuel Piamba Mamán  
Director Ingeniería Mecatrónica  
Universidad Mariana

  
Mg. Lilian Montufar Andrade  
Subsecretaría de Innovación  
Gobernación de Nariño

  
Mg. Robinson Andrés Jiménez Toledo  
Decano Ingenierías  
Universidad Mariana



### **Anexo 6: Historias de Usuario**

Se adjunta el enlace correspondiente al Anexo 6, el cual permite visualizar de forma directa todas las funcionalidades descritas desde la perspectiva de los usuarios, facilitando así la planificación del Product backlog.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 6 – Historias de Usuario](#)

### **Anexo 7: Product Backlog**

Se adjunta el enlace correspondiente al Anexo 7, que permite la visualización directa del documento de planificación basado en la metodología Scrum, específicamente el Product Backlog.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 7 – Product Backlog](#)

### **Anexo 8: Diagramas de Procesos**

Se proporciona el enlace al Anexo 8, donde se encuentra el conjunto de diagramas de proceso que representan el flujo y comportamiento de cada sección funcional del sistema de información.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 8 – Diagramas de Procesos](#)

### **Anexo 9: Mockups**

A través del siguiente enlace al Anexo 9, se puede acceder a los mockups que representan visualmente la estructura y diseño de la interfaz gráfica de la plataforma, integrando los principios de UX.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 9 – Mockups](#)

### **Anexo 10: Documento técnico Base de Datos**

Se incluye el enlace correspondiente al Anexo 10, que contiene toda la documentación técnica de la base de datos. Esta muestra la estructura lógica de las entidades, sus atributos y relaciones, fundamentales para el funcionamiento del sistema.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 10 – Documento técnico Base de Datos](#)

### **Anexo 11: Pruebas Unitarias**

Se presenta el enlace correspondiente al Anexo 11, que incluye un checklist detallado para la evaluación de cada una de las fórmulas aplicadas. Este checklist permite verificar el correcto funcionamiento de las fórmulas con datos de prueba, resultados esperados y datos obtenidos.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 11 – Pruebas Unitarias](#)

### **Anexo 12: Pruebas de Integración**

Se presenta el enlace correspondiente al Anexo 12, que contiene un checklist enfocado en la evaluación de la integración entre los diferentes módulos del sistema. Este checklist permite validar cómo interactúan las distintas partes del sistema, asegurando que los flujos de datos y las dependencias entre componentes funcionen correctamente cuando se integran.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 12 – Pruebas de Integración](#)

### **Anexo 13: Pruebas Funcionales**

Se presenta el enlace correspondiente al Anexo 13, que incluye un checklist detallado para la evaluación de cada Historia de Usuario (HU). Este checklist permite verificar el correcto funcionamiento del código al realizar pruebas sobre el sistema, asegurando que cada componente funcione de manera independiente y cumpla con los requisitos establecidos.

**Enlace:** [Visualizar Anexo 13 – Pruebas Funcionales](#)

 <p>UNIVERSIDAD <b>CESMAG</b> NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	<b>CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-032
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 28 de agosto de 2025

Biblioteca  
**REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.**  
Universidad CESMAG  
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado “**SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS RELACIONADOS CON LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍDRICO Y FOTOVOLTAICO PARA LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CESMAG**”, presentado por la autora **Maria Camila Rueda Prado** del Programa Académico **Ingeniería de Sistemas** al correo electrónico [biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co](mailto:biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co). Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



**Mg MAGDA FERNANDA CALVACHE ARGOTY**

CC: 36.951.567

Ingeniería de Sistemas

CEL: 315 9264079

[mfcavache@unicesmag.edu.co](mailto:mfcavache@unicesmag.edu.co)

 <b>UNIVERSIDAD CESMAG</b> <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	<b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-031
		<b>VERSIÓN:</b> 1
		<b>FECHA:</b> 09/JUN/2022

<b>INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)</b>	
<b>Nombres y apellidos del autor:</b> Maria Camila Rueda Prado	<b>Documento de identidad:</b> 1010113696
<b>Correo electrónico:</b> mcrueda.3696@unicesmag.edu.co	<b>Número de contacto:</b> 3137328200
<b>Nombres y apellidos del asesor:</b> Magda Fernanda Calvache Argoty	<b>Documento de identidad:</b> 36951567
<b>Correo electrónico:</b> mfcalvache@unicesmag.edu.co	<b>Número de contacto:</b> 3159264079
<b>Título del trabajo de grado:</b> SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS RELACIONADOS CON LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍDRICO Y FOTOVOLTAICO PARA LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CESMAG	
<b>Facultad y Programa Académico:</b> Facultad de Ingeniería - Programa Ingeniería de Sistemas	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se

 <p>UNIVERSIDAD <b>CESMAG</b> NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	<p><b>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b></p>	<p><b>CÓDIGO:</b> AAC-BL-FR-031</p>
		<p><b>VERSIÓN:</b> 1</p>
		<p><b>FECHA:</b> 09/JUN/2022</p>

compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.

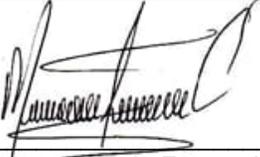
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

**NOTA:** En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 28 días del mes de agosto del año 2025.

	<p>Firma del autor</p>
<p>Nombre del autor: Maria Camila Rueda Prado</p>	<p>Nombre del autor:</p>
	
<p>Nombre del asesor: Magda Fernanda Calvache Argoty</p>	