

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO AUTÓNOMO PARA EL
MONITOREO DE CAUDALES EN CANALES ABIERTOS Y
CAÑERÍAS CERRADAS**

**DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
GESTIÓN DE ENERGÍA Y DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE
DATOS PARA EL MONITOREO DE CAUDALES EN CANALES
ABIERTOS Y CAÑERÍA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

CRISTIAN ALEXANDER CHANCUSIG OCHOA

cristian.chancusig@epn.edu.ec

DIRECTOR: FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE

eduardo.avalos@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, CRISTIAN ALEXANDER CHANCUSIG OCHOA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CRISTIAN ALEXANDER CHANCUSIG OCHOA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CRISTIAN ALEXANDER CHANCUSIG OCHOA, bajo mi supervisión.

FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, PhD.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CRISTIAN ALEXANDER CHANCUSIG OCHOA

FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, PhD.

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mis amados padres, Patricio y Margot. Su incondicional apoyo, sabiduría y sacrificios han sido el faro que ha iluminado mi camino en todo momento. Han sido mis pilares, enseñándome con su ejemplo el verdadero significado de la perseverancia y el amor incondicional.

Asimismo, a mi querida abuelita Emma, quien ha sido mucho más que una abuela para mí; ha sido mi segunda madre. Su presencia en mi vida es un regalo invaluable, lleno de momentos de amor puro.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón y en mi ser, influyendo en cada decisión y cada logro que he alcanzado.

Gracias por creer en mí, por sostenerme en los momentos de duda y celebrar conmigo cada pequeño éxito. Su confianza y amor han sido mi mayor motivación y la fuente de mi fuerza.

Este trabajo es para ustedes, con todo mi amor y eterna gratitud.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, fuente de mi fortaleza y oportunidades, quien me ha permitido abrazar cada día con esperanza y alcanzar metas significativas en mi vida.

Agradezco a mi hermana Jéssica, cuya inquebrantable fe en mí ha sido un faro de inspiración en mi trayectoria. Tu apoyo incondicional me motiva a superarme constantemente. Eres, sin duda, un pilar de inspiración y motivación en mi vida.

Mis amigos Juan José N., Bryan M., Doménica P., Evelyn C., merecen mi gratitud más sincera. Con ustedes, he enfrentado los retos más intensos de mi etapa universitaria, compartiendo experiencias que han enriquecido mi desarrollo personal de manera indeleble.

A Elizabeth, por tu presencia constante a lo largo de mi carrera, ofreciéndome apoyo, consuelo, y palabras de ánimo en los momentos más necesarios, además de tu inmenso cariño y amor.

Extiendo mi gratitud a todos mis profesores, cuya influencia ha sido esencial en mi formación académica y crecimiento personal. Cada enseñanza y consejo ha sido un ladrillo más en la construcción de mi futuro profesional y humano. Su entusiasmo y compromiso por educar han marcado mi vida de manera indeleble.

No puedo dejar de mencionar a mi familia: tíos, primos y a todos aquellos que me han acompañado durante este trayecto. Su soporte, ya sea de manera directa o indirecta, ha sido crucial en cada etapa de este camino. La solidaridad y amor que me han brindado son verdaderos tesoros que atesoro con todo mi ser.

Cada uno de ustedes ha jugado un rol indispensable en este viaje, y mi gratitud hacia ustedes es inmensurable. Este logro no es solo mío, sino también de todos quienes han creído en mí y me han acompañado a lo largo de este viaje. Desde lo más profundo de mi corazón, gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Importancia de la medición de caudales	4
1.4.2 Principios de medición de caudales	5
1.4.3 Geometría de canales	9
1.4.4 Elementos geométricos de una sección de caudal	10
1.4.5 Ecuación de Manning y su aplicación en la medición de caudales ..	12
1.4.6 Sensores ultrasónicos en la medición de caudales.....	13
1.4.7 Gestión de energía en sistemas de monitoreo.....	14
1.4.8 Detalle de componentes.....	18
2 METODOLOGÍA.....	27
2.1 Introducción a la metodología	27
2.2 Descripción general	28
2.3 Diseño e implementación del hardware	28
2.3.1 Circuito de alimentación	31

2.3.2	Circuito de adquisición de datos	35
2.3.3	Circuito de comunicación con el usuario	36
2.3.4	Circuito de procesamiento de datos	36
2.3.4	Circuito de captación de energía solar y red eléctrica	43
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
3.1	Resultados	47
3.2	Pruebas de funcionamiento	51
3.3	Conclusiones	56
3.4	Recomendaciones	57
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
5	ANEXOS	62
	ANEXO I, Manual de usuario	62

RESUMEN

En la actualidad, han surgido nuevas técnicas para la medición de variables relacionadas con los recursos hídricos. Entre estas técnicas, el ultrasonido se destaca como una herramienta reciente que permite medir variables como la velocidad y el caudal de un canal o tubería sin la necesidad de instalar instrumentos en el interior de estos. Esto se logra mediante la adquisición de datos necesarios para su posterior cálculo y procesamiento.

En el contexto de este proyecto, un sistema de gestión de energía se refiere a un sistema que permite controlar un equipo generador de energía con el objetivo de lograr la optimización y eficiencia energética de diferentes fuentes de energía utilizadas en el equipo. En este caso, se consideran tanto la energía proveniente de la red eléctrica como la energía solar, las cuales se cargarán en baterías internas del equipo. Esto se realiza con el fin de contar con fuentes de energía diversas y evitar interrupciones durante el funcionamiento del equipo.

Con estas consideraciones, este proyecto consiste en desarrollar un sistema de captación de datos que permitirá obtener los parámetros necesarios para llevar a cabo la medición del caudal. La energía requerida para el funcionamiento de este equipo se obtendrá a través del sistema de gestión de energía, que suministrará la potencia necesaria al sistema de captación de datos. Esta implementación posibilitará contar con un dispositivo móvil que simplificará la captura de datos y podrá instalarse con facilidad en diversos canales o tuberías, permitiendo un monitoreo continuo de los datos.

PALABRAS CLAVE: caudal, canal, instrumentación, monitoreo, optimización, ultrasonido.

ABSTRACT

New techniques for measuring variables related to water resources have emerged in recent times. Among these techniques, ultrasound stands out as a recent tool that enables the measurement of variables such as velocity and flow rate in a channel or pipe without the need to install instruments inside them. This is achieved through the acquisition of data necessary for subsequent calculation and processing.

In the context of this project, an energy management system refers to a system that allows controlling a power generating unit with the aim of achieving optimization and energy efficiency from various energy sources used in the system. In this case, both energy from the electrical grid and solar energy are considered, which will be stored in internal batteries of the equipment. This is done in order to have diverse energy sources and to avoid interruptions during the equipment's operation.

With these considerations, this project aims to develop a data acquisition system that will allow obtaining the necessary parameters to carry out flow rate measurements. The energy required for the operation of this equipment will be obtained through the energy management system, which will supply the necessary power to the data capture system. This implementation will enable the use of a mobile device that will simplify data capture and can be easily installed in various channels or pipes, allowing continuous data monitoring.

KEYWORDS: channel, instruments, monitoring, optimization, ultrasound

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La gestión eficiente de los recursos hídricos es fundamental en la actualidad, ya que nos encontramos en un mundo en constante cambio climático y con una creciente demanda de agua para diversos fines, como la agricultura, la industria y el abastecimiento doméstico [1]. El monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías es esencial para comprender y administrar eficazmente este recurso vital. En este contexto, el presente trabajo “Diseño, desarrollo e implementación del sistema de gestión de energía y del sistema de captación de datos para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañería” se presenta como una solución innovadora y sostenible para abordar estos desafíos.

El control y la medición de los caudales de agua son cruciales para una variedad de aplicaciones, desde la gestión de ríos y canales de riego hasta la supervisión de sistemas de abastecimiento de agua potable. Tradicionalmente, estos procesos se han llevado a cabo mediante métodos costosos (vertederos, hidrometría con corriente eléctrica y molinete) y a menudo invasivos (placas de orificios, compuertas) que en ciertos casos demandan una gran cantidad de energía. [2]

Se ha desarrollado un sistema innovador que integra la gestión de energía con el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías. Este sistema se alimenta tanto de energía solar como de la red eléctrica, lo que garantiza un funcionamiento constante y sostenible. El núcleo de este sistema reside en la utilización de sensores de ultrasonido para calcular con precisión y sin invasiones los caudales, ya sea en tiempo real o para el almacenamiento de datos con fines posteriores de análisis.

El sistema propuesto ofrece una serie de ventajas significativas desde un punto de vista técnico y medioambiental. En primer lugar, su enfoque en la sostenibilidad energética, mediante la integración de paneles solares, permite un funcionamiento autónomo durante el día, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y contribuyendo a la minimización de la huella de carbono asociada al sistema. Además, el sistema se destaca por su enfoque de monitoreo no invasivo, gracias al uso de sensores de ultrasonido, lo que elimina la necesidad de instalaciones intrusivas en los canales o cañerías. Esto no solo simplifica el mantenimiento, sino que también reduce el riesgo de daño a la infraestructura.

La precisión en la medición puede verse afectada por diversos factores, como las condiciones del fluido, el ángulo del haz ultrasónico, la contaminación en el sensor y las condiciones de flujo turbulentas. Estos son elementos que deben considerarse al llevar a cabo las mediciones, con el fin de garantizar una mayor precisión en los resultados. La utilización de un sistema que ofrezca mediciones en tiempo real altamente precisas de los

caudales posibilita la toma de decisiones más informadas en la gestión de recursos hídricos. Estas cualidades convierten al sistema en una solución atractiva y efectiva para hacer frente a los desafíos asociados a la monitorización de caudales.

La implementación de este sistema podría tener un impacto significativo en la gestión de los recursos hídricos a nivel local y global. La capacidad de monitorear con precisión y eficiencia los caudales en canales abiertos y cañerías podría llevar a una gestión más inteligente de los recursos hídricos, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en áreas como la agricultura, la prevención de inundaciones y la gestión del agua potable. Además, la combinación de fuentes de energía sostenible con un sistema de captación de datos innovador establece un precedente para la integración de tecnologías respetuosas con el medio ambiente en la gestión de recursos naturales, allanando el camino para futuros proyectos de este tipo.

1.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de gestión de energía y un sistema de captación de datos para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica sobre el funcionamiento y las características de un sistema de captación de datos y su uso en el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías, así como del sistema de gestión de energía y los componentes necesarios para su implementación.
2. Realizar un análisis detallado de los requisitos y especificaciones necesarios para el sistema de gestión de energía y el sistema de captación de datos.
3. Implementar una arquitectura eficiente para el sistema de gestión de energía, considerando las necesidades de alimentación y eficiencia energética.
4. Desarrollar los componentes y módulos necesarios para la captación de datos de caudales en canales abiertos y cañerías cerradas, teniendo en cuenta las variables relevantes y los sensores adecuados.
5. Integrar los sistemas de gestión de energía y captación de datos en una solución completa y funcional.

6. Realizar pruebas para verificar la precisión y confiabilidad del sistema en la captación y registro de los caudales.
7. Poner en funcionamiento el sistema en un lugar específico y medir su efectividad en condiciones reales de operación.
8. Documentar adecuadamente el proceso de diseño, desarrollo e implementación del sistema, proporcionando manuales de usuario.

1.3 Alcance

A. Fase Teórica

En esta etapa se realizará una investigación bibliográfica exhaustiva para comprender el funcionamiento y las características de los sistemas de captación de datos, así como el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías. Se recopilará información sobre los principios teóricos, metodologías, tecnologías y mejores prácticas existentes en el campo. Además, se analizarán los requisitos energéticos y los componentes necesarios para la implementación del sistema de gestión de energía.

B. Fase de diseño

En esta etapa se traducirán los conocimientos adquiridos en la fase teórica en un diseño detallado del sistema. Se definirán los requisitos del sistema, se diseñarán los componentes y módulos necesarios, se establecerá la arquitectura general del sistema y se elaborarán los diagramas y esquemáticos necesarios. También se identificarán los equipos y materiales necesarios para la implementación.

C. Fase de implementación

En esta etapa se llevará a cabo la construcción y configuración del sistema de gestión de energía y del sistema de captación de datos. Se procederá a instalar y conectar los dispositivos, y sensores necesarios, se configurarán los parámetros de operación y se realizarán las pruebas iniciales de funcionamiento. Se prestará especial atención a la integración de los sistemas de gestión de energía y captación de datos para que exista un correcto funcionamiento.

D. Fase de evaluación/ análisis de resultados

En esta fase, se realizará una evaluación del sistema implementado en un entorno operativo real. Se enfocará en probar el sistema de captación de datos y del sistema de gestión de energía bajo condiciones prácticas de uso. Se llevarán a cabo pruebas para medir el rendimiento del sistema en un entorno real, comparando los datos recolectados. Esta evaluación en condiciones reales permitirá identificar desafíos prácticos, áreas de mejora y oportunidades de optimización específicas para el sistema

1.4 Marco teórico

En esta sección, se explican los conceptos relacionados con la gestión de energía y el monitoreo de caudales a través de un estudio teórico. Se presenta la diversa terminología asociada al monitoreo de los recursos hídricos, incluidos conceptos como caudal, sensores de caudal, canales abiertos, cañerías, entre otros. Además, se ofrece información pertinente sobre los sistemas de gestión de energía. Esta explicación se basa en información recopilada relevante relacionada con la medición de caudales y la gestión de energía.

El monitoreo de caudales se refiere al proceso de medición y seguimiento continuo del flujo de agua que circula a través de canales abiertos o cañerías, como ríos, arroyos, canales de riego, canales de drenaje, entre otros. El monitoreo de caudales desempeña un papel crucial en diversas áreas, como la gestión del agua, la hidrología, diferentes campos de ingeniería, la agricultura y la conservación del medio ambiente, entre otras. Al conocer y comprender el comportamiento y la variabilidad del caudal, se pueden tomar decisiones informadas sobre el uso eficiente del agua, el diseño de infraestructuras hidráulicas, la predicción de inundaciones, la evaluación de la disponibilidad de agua y la planificación de recursos hídricos.

1.4.1 Importancia de la medición de caudales

El monitoreo de caudales en diferentes sistemas es fundamental para garantizar la gestión eficiente y sostenible de este recurso vital. Medir y monitorear los caudales es esencial por varias razones:

Gestión de recursos hídricos

Medir y monitorear los caudales permite una gestión eficiente de los recursos hídricos, asegurando que se utilice de manera sostenible, lo que es esencial para aplicaciones como el riego agrícola, el abastecimiento de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y el control de inundaciones. [3]

Predicción de eventos climáticos extremos

El monitoreo de caudales es esencial para predecir y mitigar el impacto de eventos climáticos extremos, como inundaciones o sequías, al proporcionar datos en tiempo real sobre el flujo de agua. [4]

Planificación y Diseño de Infraestructuras Hidráulicas

En el diseño de proyectos, el monitoreo de caudales es fundamental para el diseño de presas, canales, sistemas de riego, y plantas de tratamiento de agua. Con datos precisos sobre los caudales, los ingenieros pueden dimensionar adecuadamente estas infraestructuras para que sean eficientes y seguras. [5]

Generación de Energía Hidroeléctrica

En la generación de energía hidroeléctrica, el monitoreo del caudal es esencial para maximizar la producción de energía y planificar el mantenimiento de las instalaciones. Una medición precisa permite optimizar el uso del recurso hídrico para generar energía de manera sostenible.

1.4.2 Principios de medición de caudales

1.4.2.1 Conceptos básicos de medición

Para comprender y llevar a cabo el procedimiento de medición y monitoreo de caudal, es esencial tener una comprensión de ciertos parámetros en la medición de caudal en canales abiertos y cañerías, así como su aplicación en la gestión de recursos hídricos. Por lo cual se detallan algunos conceptos fundamentales para tener en cuenta:

Caudal: es la cantidad de líquido que fluye a través de un canal abierto o una cañería en un intervalo de tiempo específico, se expresa en unidad de volumen sobre unidad de tiempo.

Canal abierto: es una estructura por donde fluye un líquido, esta tiene una sección transversal descubierta que se encuentra expuesta al aire. Este tipo de canal puede ser

natural como los ríos o arroyos, o artificial como los canales de irrigación, vertederos, entre otros.

Los canales abiertos artificiales pueden tener diferente geometría, rectangular, circular, trapezoidal, entre otras, generalmente se seleccionan aquellas que ofrecen mayor estabilidad y son más sencillas de construir.

Cañería: es una tubería cerrada, utilizada principalmente para el transporte de líquidos o gas de un lugar a otro.

1.4.2.2 Flujo en canales y cañerías

El flujo en el contexto de la dinámica de fluidos se refiere al movimiento de un fluido y su comportamiento al desplazarse. Este movimiento puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como la viscosidad del fluido, la velocidad de flujo, la geometría del canal y las fuerzas externas aplicadas. En los fluidos reales, existen principalmente dos tipos de flujo: laminar y turbulento. La comprensión de estas diferencias, así como su influencia en la medición de caudales, es fundamental en la dinámica de fluidos y tiene aplicaciones prácticas importantes. [6]

El flujo laminar se caracteriza por un movimiento fluido en capas paralelas, sin mezcla entre ellas. Este tipo de flujo, suave y ordenado, suele estar presente a bajas velocidades y en fluidos de baja viscosidad. Por otro lado, el flujo turbulento se distingue por su naturaleza caótica y desordenada. En él, las partículas del fluido se mezclan intensamente, resultando en un intercambio significativo de masa, momento y energía. Este flujo es más común a altas velocidades y en fluidos de alta viscosidad. [7]

La transición de un flujo laminar a turbulento puede ser influenciada por varios factores, como la velocidad del fluido, su viscosidad y las características físicas del conducto, tales como su diámetro y rugosidad. Esta transición es un área de estudio crucial en la ingeniería de fluidos.

1.4.2.3 Métodos y tecnologías para la medición de caudales

El desarrollo de una variedad de técnicas y métodos para medir el caudal se ha visto impulsado por la diversidad en tipos de canales y cañerías, así como por variaciones en la viscosidad y composición de los fluidos. Estas técnicas se adaptan a circunstancias específicas, permitiendo seleccionar la más adecuada en función de la naturaleza del flujo y las necesidades de medición. En canales abiertos, donde la topografía y el entorno son

determinantes, y en cañerías con limitaciones espaciales, escoger la técnica de medición correcta es crucial para garantizar resultados precisos y confiables.

A continuación, se describen algunas técnicas utilizadas para medir el caudal en canales abiertos y cañerías. Estos métodos van desde enfoques tradicionales basados en principios hidrostáticos hasta tecnologías avanzadas que utilizan ultrasonidos y propiedades electromagnéticas. Cada técnica aporta una perspectiva única y beneficios específicos en la medición de caudal, contribuyendo así al manejo eficiente de recursos hídricos y fluidos en diversos contextos.

1.4.2.4 Métodos Tradicionales de Medición de Caudales

Método del Flotador: Este método implica colocar un flotador en el agua del canal y medir el tiempo que tarda en recorrer una distancia conocida. La velocidad del agua se calcula utilizando la distancia y el tiempo, permitiendo estimar el caudal. Este método es más adecuado para canales con velocidades moderadas y condiciones tranquilas. [8]

Método del Vertedero: En este método, se utiliza una estructura con una abertura de forma específica para medir la altura del agua que fluye sobre ella. Esta altura se relaciona con el caudal utilizando fórmulas establecidas. Es importante tener en cuenta que distintas geometrías de la sección del vertedero (como rectangular o triangular) resultarán en diferentes valores de caudal calculado. [9]

Método del Molinete: Consiste en usar un molinete para medir la velocidad del flujo en diferentes puntos del canal. Combinando estas mediciones con la sección transversal del canal, se puede calcular el caudal. [10]

Placas de Orificio: Consiste en una placa plana con un orificio central, instalada perpendicularmente al flujo en la cañería, donde el diámetro del orificio es menor que el de la cañería. Al pasar el fluido a través del orificio, su velocidad aumenta, generando una caída en la presión que se mide a ambos lados de la placa. Esta diferencia de presión es proporcional a la velocidad del flujo y, utilizando la ecuación de Bernoulli junto con principios de conservación de energía, se puede calcular el caudal del fluido. [2]

Método del Aforador de Corriente: Utiliza estructuras diseñadas para medir la altura del agua en el canal, convirtiendo esta altura en una medición de caudal. [9]

Medidor Parshall: Consiste en una estructura instalada en canales y construida generalmente de concreto, consta de tres secciones: una entrada convergente, una garganta estrecha y una salida divergente. Su funcionamiento se basa en la variación de

la velocidad y nivel del agua a medida que fluye a través de estas secciones. En la garganta, el agua alcanza su profundidad mínima, lo que es clave para medir el caudal. Dicha medición se realiza indirectamente observando la altura del agua en la entrada y utilizando tablas o ecuaciones que correlacionan esta altura con el caudal. [9]

A pesar de su amplia utilización, estos métodos presentan limitaciones en términos de precisión, necesidad de intervención humana frecuente, infraestructura y capacidad para proporcionar datos en tiempo real. Los avances tecnológicos han comenzado a superar algunas de estas limitaciones.

1.4.2.5 Avances Tecnológicos en la Monitorización de Caudales

La búsqueda de medidores precisos y confiables ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías, como los sensores de radar y ultrasonido. Estas herramientas son valiosas para la monitorización de caudales en canales abiertos, debido a su capacidad para medir con precisión y sin contacto la velocidad y el nivel del agua. Esta característica los hace particularmente útiles en ambientes donde no es viable o deseable instalar instrumentos de medición directamente en el agua.

Sensores de Radar: Estos sensores trabajan emitiendo ondas de radio que rebotan en la superficie del agua y regresan al sensor. Midiendo el tiempo que tardan estas ondas en regresar y su frecuencia, el sensor puede calcular la velocidad de la superficie del agua. Esta técnica, conocida como radar Doppler, es eficaz para medir la velocidad del flujo en una amplia gama de condiciones, incluyendo flujos turbulentos o con escombros. [11]

Sensores de Ultrasonido: Los sensores ultrasónicos funcionan de manera similar, pero utilizan ondas de sonido de alta frecuencia en lugar de ondas de radio. Son especialmente útiles para medir el nivel del agua. Envían pulsos de sonido hacia la superficie del agua y miden el tiempo que tardan en reflejarse de vuelta. Esta información se utiliza para calcular la distancia entre el sensor y la superficie del agua, proporcionando una medida precisa del nivel del agua en el canal. [12], [13]

La combinación de radar y sensores ultrasónicos permite obtener una imagen completa del comportamiento del flujo en canales abiertos. Esto es crucial para una variedad de aplicaciones, incluyendo la gestión de recursos hídricos, la prevención de inundaciones, y el monitoreo ambiental.

Con los avances en la tecnología de sensores, los medidores ultrasónicos se han vuelto más confiables y precisos. La integración con IoT y tecnologías basadas en la nube permite el monitoreo en tiempo real de la tasa de flujo y proporciona información valiosa sobre el rendimiento del sistema. Además, la miniaturización de estos medidores y las mejoras en la vida útil de la batería y la eficiencia energética los hacen ideales para aplicaciones remotas con acceso limitado a la energía. Las técnicas avanzadas de calibración aseguran mediciones precisas y exactas, incluso en condiciones extremas. [14]

1.4.3 Geometría de los canales

La geometría de los canales es un factor importante en la medición de caudales, ya que las características físicas del canal influyen directamente en cómo se mueve el agua y, por lo tanto, en cómo se mide su flujo. La geometría del canal incluye su forma, tamaño, inclinación, rugosidad de las paredes y cualquier estructura dentro del canal que pueda alterar el flujo del agua.

Un canal que presenta una sección transversal invariable y una pendiente uniforme en su fondo se denomina canal prismático, una característica común en los canales artificiales. En cambio, aquellos canales cuyas características no se mantienen constantes se clasifican como no prismáticos, típicos de ríos y arroyos naturales. Los canales artificiales o prismáticos suelen construirse siguiendo una geometría regular específica, diseñada para optimizar el flujo de agua y facilitar su medición. Estas consideraciones geométricas son esenciales para asegurar mediciones precisas y una gestión eficiente del agua en diversos contextos hidráulicos. [15]




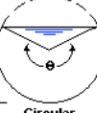

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 1.1. Tipos de geometría de secciones utilizadas en canales. [16]

1.4.4 Elementos geométricos de una sección de caudal

Los elementos geométricos, que son características definitorias de la sección de un canal, se determinan completamente a través de su geometría y la profundidad del flujo. Estos elementos son fundamentales y se aplican extensamente en el cálculo del flujo en canales.

En el caso de secciones de canales regulares y sencillas, es posible representar matemáticamente estos elementos geométricos utilizando la profundidad del flujo y otras dimensiones de la sección. Por otra parte, para secciones más complejas o aquellas pertenecientes a corrientes naturales, resulta imposible definir una fórmula simple para estos elementos. No obstante, es posible elaborar gráficos que ilustren la relación entre estos elementos geométricos y la profundidad del flujo, lo cual resulta útil en los cálculos hidráulicos. [17]

Para conocer los elementos geométricos que componen una sección de un canal, se toma como referencia un canal trapezoidal.

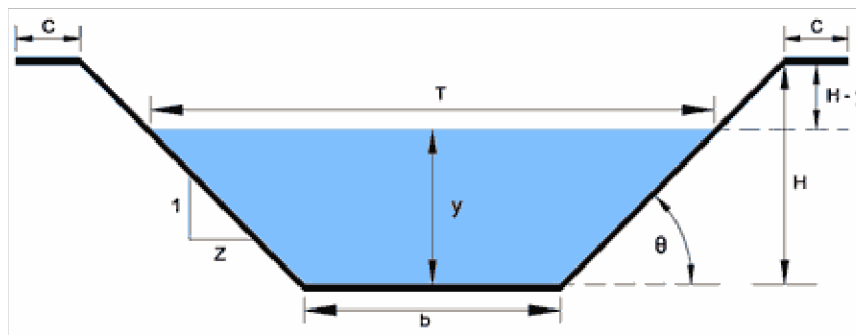


Figura 1.2. Elementos de una sección de canal trapezoidal. [18]

Donde:

Tirante de Agua (y): Se refiere a la altura que alcanza el agua en la sección transversal del canal. Es una medida vertical desde la base del canal hasta la superficie del agua.

Base del Canal (b): Es el ancho de la parte inferior del canal. Representa la distancia horizontal en el fondo del canal.

Espejo de Agua (T): Esta es la superficie libre del agua, es decir, la parte superior del agua que está en contacto con el aire.

Profundidad Total del Canal (H): Indica la profundidad máxima del canal, medida desde la base hasta la parte superior del canal, independientemente de si está completamente lleno de agua o no.

Borde Libre (H-y): Representa la distancia vertical entre la superficie del agua y la parte superior del canal. Es la diferencia entre la profundidad total del canal y el tirante de agua.

Ancho de Corona (C): Es la anchura de la parte superior del canal, medida de un lado al otro.

Ángulo de Inclinación de las Paredes (θ): Este término se refiere al ángulo formado entre las paredes laterales del canal y la línea horizontal. Describe cómo las paredes del canal se inclinan hacia adentro o hacia afuera desde la base.

1.4.4.1 Propiedades geométricas de una sección transversal de canal

A continuación, se detalla cada uno de los elementos geométricos que conforma una sección de cauda, elementos que son fundamentales para determinar el caudal haciendo uso de su geometría:

Área mojada (A): es la superficie de la sección transversal de un canal o tubería que está en contacto directo con el fluido que fluye a través de ella. Esta representa la parte del canal o tubería que está efectivamente "mojada" por el líquido en movimiento. El área mojada aumenta o disminuye con el nivel del agua. [19]

Perímetro Mojado (P): Es la longitud de la línea que delimita el área mojada en un canal o tubería. En términos más simples, es la longitud de la sección transversal del canal que está en contacto directo con el flujo. [19]

Radio Hidráulico (R): Es una medida de eficiencia de un canal para transportar líquido. Se calcula dividiendo el área mojada por el perímetro mojado. Indica la relación entre el área que lleva el flujo y la longitud en contacto con el canal, afectando directamente la velocidad y la resistencia al flujo. [19]

Ancho Superficial (T): Es el ancho de la superficie libre del agua en un canal. En un canal abierto, sería simplemente el ancho de la parte superior del agua que fluye. [19]

Profundidad Hidráulica (D): Es el área mojada dividida por el ancho superficial. Representa una profundidad promedio ponderada que se utiliza en cálculos hidráulicos, especialmente útil en secciones donde la forma del canal es irregular. [19]

Factor de Sección: Es un término utilizado en el cálculo de la capacidad de flujo en canales abiertos, a menudo representando una función del área mojada y/o el radio hidráulico. Su definición exacta puede variar según el contexto específico o la fórmula en la que se utiliza. [19]

Profundidad de Flujo (y): Es la distancia vertical desde el fondo de un canal o tubería hasta la superficie del líquido. Indica cuán profundo es el agua o cualquier otro líquido que fluye a través del canal. [19]

Nivel: En el contexto de flujo de agua y canales, generalmente se refiere a la altura del agua o la profundidad del flujo en un punto específico. Puede referirse al nivel de agua en relación con un punto de referencia fijo o en términos de elevación sobre un datum como el nivel del mar.

1.4.5 Ecuación de Manning y su aplicación en la medición de caudales

La fórmula de Manning es una ecuación importante en la hidráulica, que se utiliza para calcular el caudal de fluidos en canales y tuberías. Esta fórmula establece una relación entre la velocidad de flujo, el coeficiente de rugosidad (n), el radio hidráulico (R) y la pendiente del terreno (S). [20] Se expresa de la siguiente manera:

$$[21] Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

Donde:

Q: es el caudal expresado en $\frac{m^3}{s}$

A: es el área mojada en m^2

R: es el radio hidráulico en m

S: es la pendiente del terreno, $\frac{m}{m}$

n: es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Para aplicar la fórmula de Manning eficazmente, es esencial conocer las variables requeridas, que incluyen el radio hidráulico, la rugosidad del canal y la pendiente del terreno. Estos datos pueden obtenerse a través de mediciones directas en el campo. El coeficiente de Manning (n) es un factor crucial que representa la rugosidad de las paredes del canal y varía según el tipo de superficie. [20]

Esta fórmula se utiliza ampliamente en la gestión y diseño de canales, ríos y sistemas de drenaje. Es una fórmula fundamental para calcular flujos en redes de alcantarillado, estimar la capacidad de drenaje de tuberías y diseñar estructuras hidráulicas. [20]

A pesar de sus ventajas, como su fácil aplicación y uso generalizado, la fórmula de Manning tiene limitaciones, especialmente su sensibilidad a cambios en la rugosidad del canal, lo que puede afectar la precisión de los resultados. Además, la fórmula puede variar dependiendo de si el flujo es uniforme o no. En flujos uniformes, donde la velocidad y el caudal son constantes a lo largo del canal, se pueden simplificar los cálculos. Sin embargo, en flujos no uniformes, donde la velocidad y el caudal varían, se requieren fórmulas más complejas. [22]

1.4.6 Sensores ultrasónicos en la medición de caudales

La tecnología de sensores ultrasónicos ha revolucionado diversos campos, incluyendo la medición de caudales en canales abiertos y cañerías. Estos sensores, que utilizan ondas de sonido de alta frecuencia para detectar y medir la distancia a objetos o superficies, ofrecen un método no invasivo y preciso para evaluar el flujo de líquidos en diversos entornos. Su capacidad para proporcionar mediciones en tiempo real y su adaptabilidad a diferentes aplicaciones los hacen herramientas valiosas en la gestión del agua y en la industria.

1.4.6.1 Principio de funcionamiento de los sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos funcionan emitiendo ondas de sonido de alta frecuencia, las cuales viajan a través del aire (o cualquier otro medio) hasta que encuentran un objeto o superficie. Estas ondas, luego de impactar contra el objeto, se reflejan de vuelta hacia el sensor. El dispositivo mide el tiempo que tardan estas ondas en regresar, permitiendo calcular la distancia al objeto. Esta técnica, conocida como "tiempo de vuelo" (Time-of-Flight), es esencial para determinar niveles de líquido en tanques o canales, ya que la distancia medida se correlaciona con el nivel del líquido. [23]

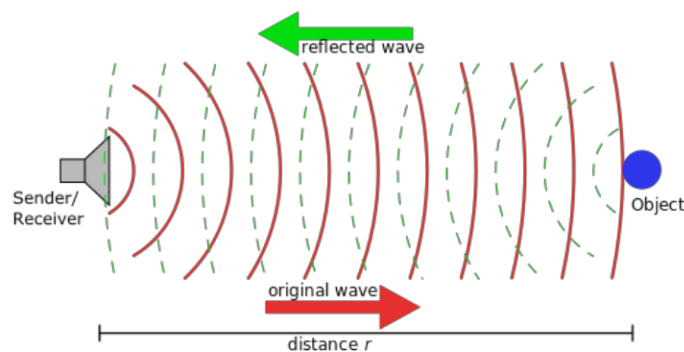


Figura 1.3. Funcionamiento de un sensor ultrasónico. [24]

Como se muestra en la Figura 1.3, el sensor consta de un emisor y un receptor. El emisor envía una señal (representada por ondas rojas) que viaja a través de un medio, como puede ser el aire, hasta alcanzar un objeto. Este objeto puede ser sólido o líquido, o cualquier otro que permita el rebote de la señal. Posteriormente, la señal reflejada (onda verde) regresa al sensor, donde es captada por el receptor. El tiempo que tarda la onda en desplazarse desde el sensor hasta el objeto y volver es utilizado para calcular la distancia.

1.4.6.2 Aplicaciones de los sensores ultrasónicos en la medición de caudales

En el campo de la hidrología, los sensores ultrasónicos son utilizados para medir el caudal de ríos, canales abiertos y cañerías. Al medir el nivel del agua y combinar estos datos con información preexistente sobre la geometría del canal o tubería, es posible calcular el caudal del fluido. Esta aplicación es fundamental en la gestión de recursos hídricos, en la agricultura para el riego, en plantas de tratamiento de aguas residuales y en la monitorización de sistemas de drenaje urbano. [25]

1.4.6.3 Ventajas y limitaciones de los sensores ultrasónicos

Entre las ventajas de los sensores ultrasónicos destacan su alta precisión y fiabilidad, así como su capacidad para realizar mediciones sin contacto directo con el líquido. Esto último reduce la necesidad de mantenimiento y evita la contaminación del sensor. Además, estos dispositivos son flexibles y se adaptan fácilmente a diferentes entornos y aplicaciones. No obstante, también presentan ciertas limitaciones. Una de ellas es su susceptibilidad a variaciones de temperatura y presión atmosférica, factores que pueden afectar la precisión de las mediciones. [26] Otro aspecto que considerar en la medición hidráulica es el efecto de las olas en los líquidos; por ello, es necesario que el líquido u objeto a medir se encuentre lo más perpendicular posible al sensor para obtener resultados precisos.

1.4.7 Gestión de energía en sistemas de monitoreo

La gestión eficiente de energía en sistemas de monitoreo autónomos es crucial, particularmente en aplicaciones medioambientales y de infraestructura. Estos sistemas a menudo están ubicados en áreas remotas o de difícil acceso, lo que hace esencial maximizar su autonomía y fiabilidad energética. La gestión de energía en estos dispositivos implica no solo la selección de fuentes de energía adecuadas sino también la optimización de su uso y almacenamiento.

1.4.7.1 Principios de Gestión de Energía para Dispositivos de Monitoreo Autónomos

La gestión de energía en dispositivos autónomos se centra en tres aspectos principales: minimización del consumo de energía, gestión eficiente del almacenamiento de energía y adaptación a las condiciones variables de operación. Esto implica el uso de componentes de bajo consumo, algoritmos inteligentes para la gestión de energía y la capacidad de ajustar el comportamiento del dispositivo según las condiciones ambientales y el estado de la batería. [27]

1.4.7.2 Uso de Baterías de Ion Litio en sistemas autónomos

Las baterías de ion litio se han convertido en la elección preferida para sistemas de monitoreo autónomos debido a su superioridad en varios aspectos clave. En primer lugar, ofrecen una alta densidad energética, lo que significa que pueden almacenar más energía en un tamaño y peso más reducidos en comparación con otras tecnologías de baterías. Esta característica es esencial en aplicaciones donde el espacio y el peso son factores críticos. Además, poseen una vida útil significativamente más larga, lo que las hace ideales para uso en ubicaciones remotas donde el mantenimiento y el reemplazo frecuente de baterías serían imprácticos. Otro beneficio importante es su bajo mantenimiento, ya que no requieren los mismos niveles de cuidado que las baterías basadas en tecnologías más antiguas, como el níquel-cadmio. Esta combinación de alta densidad energética, larga vida útil y bajo mantenimiento hace que las baterías de ion litio sean especialmente adecuadas para dispositivos de monitoreo autónomos que necesitan funcionar de manera confiable durante largos períodos sin intervención humana.

1.4.7.3 Sistemas de Carga Solar en Sistemas Autónomos

La integración de sistemas de carga solar basado en sistemas fotovoltaicos en dispositivos de monitoreo autónomos ha revolucionado la forma en que estos dispositivos pueden ser desplegados y utilizados, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso. Los paneles solares proporcionan una fuente de energía renovable y autónoma, lo que significa que los dispositivos pueden funcionar de forma independiente sin necesidad de fuentes de energía externas. Esta característica es crucial en lugares donde el acceso a la energía tradicional es limitado o inexistente. [27]

EL uso de energía solar es una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente, lo que la hace ideal en el contexto actual de búsqueda de alternativas de energía limpia y

sostenible. Los sistemas de carga solar pueden diseñarse para ser altamente adaptables a diversas condiciones de luz y climáticas, asegurando así un rendimiento óptimo en una variedad de entornos. Esta adaptabilidad y sostenibilidad hacen que los sistemas de carga solar sean una opción ideal para mantener operativos los dispositivos de monitoreo autónomos durante largos períodos, con un mantenimiento mínimo. [27]

1.4.7.4 Estrategias para Maximizar la Eficiencia y Autonomía Energética en Dispositivos de Campo

Maximizar la eficiencia y autonomía energética implica no solo seleccionar la tecnología adecuada sino también implementar estrategias como la programación de tareas para reducir el consumo energético, la utilización de algoritmos de bajo consumo y la implementación de sistemas de gestión de energía adaptativos que respondan a las condiciones cambiantes del entorno y el estado del dispositivo. Esto puede incluir ajustes dinámicos de la frecuencia de muestreo, modos de hibernación y la optimización del uso de comunicaciones inalámbricas. [27]

1.4.7.5 Control PWM en sistemas de carga fotovoltaicos

El controlador PWM (Modulación por Ancho de Pulsos) para sistemas fotovoltaicos utiliza un simple diodo en su funcionamiento, lo que resulta en que los paneles solares operen a la misma tensión que las baterías solares. Esto significa que tanto la tensión como la corriente son idénticas a ambos lados del controlador. Sin embargo, esta configuración impide que los módulos solares operen en su punto de máxima potencia, ya que están restringidos por el estado de carga de la batería. Como resultado, se puede producir una pérdida de potencia que llega hasta un 25-30%. [28]

A pesar de esta limitación, el regulador PWM tiene la ventaja de permitir una carga de batería completa y eficiente. Funciona introduciendo la carga de manera gradual a través de pulsos de tensión durante la fase de flotación, que es la última etapa de carga de la batería. Este proceso asegura que la corriente se incorpore de manera progresiva, permitiendo que la batería se cargue de forma óptima y estable. [28]

1.4.7.6 Control MPPT en sistemas de carga fotovoltaicos

El control MPPT es una técnica avanzada utilizada en sistemas fotovoltaicos para maximizar la extracción de energía solar. Este algoritmo ajusta continuamente la carga

eléctrica conectada a los paneles solares para operar en el punto de máxima potencia, lo que resulta especialmente útil en condiciones ambientales cambiantes como la variación de la intensidad de la luz solar y la temperatura. Este tipo de control permite bajar el voltaje de los paneles fotovoltaico, al banco de baterías. [28]

La implementación del control MPPT se complementa con otras estrategias para mejorar la eficiencia y autonomía energética. Por ejemplo, la programación inteligente de tareas y el uso de modos de hibernación pueden reducir el consumo energético general del dispositivo, mientras que el MPPT asegura que la energía disponible se utilice de la manera más eficiente, extendiendo la vida útil de las baterías y reduciendo la frecuencia de mantenimiento. [28]

El control MPPT puede ser implementado con algoritmos como el de “Perturbar y Observar” y el de “Condiciones iniciales”, a continuación, se muestra el diagrama de flujo de cada uno de los algoritmos mencionados para trabajar en el punto de máxima transferencia de potencia.

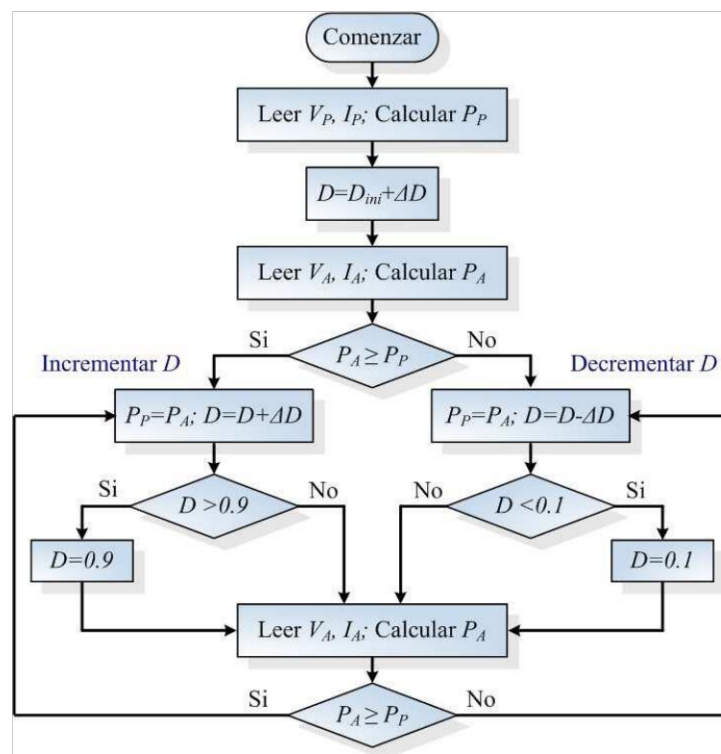


Figura 1.4. Diagrama de flujo del algoritmo Perturbar y Observar. [29]

como Keil, ArduinoIDE, con una configuración adicional, y puede ser programado en varios lenguajes, incluidos el C/C++, lo cual lo hace más cómoda su programación.

La selección del microcontrolador para este proyecto se basó no solo en sus especificaciones técnicas, sino también en su tamaño compacto. Esta característica permite su implementación en diversos circuitos sin incrementar su tamaño total. Adicionalmente, su costo económico en el mercado lo hace una opción atractiva.

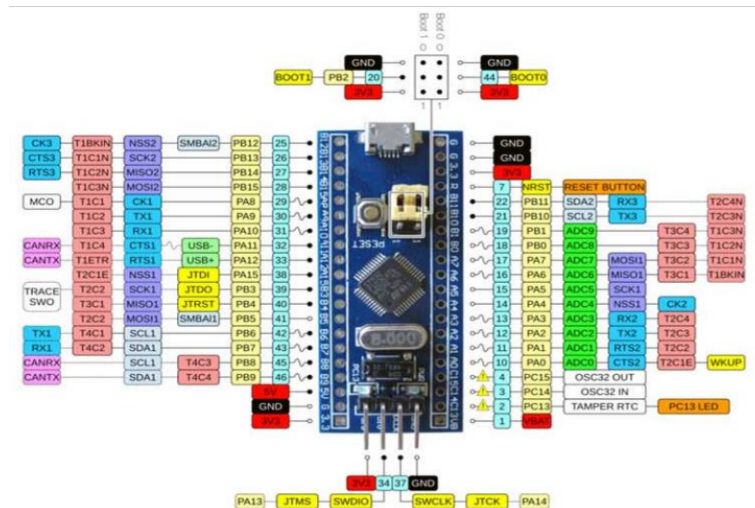


Figura 1.6. Esquema de pines del SMT32 BluePill. [31]

Características técnicas:

Tabla 1.1. Características técnicas del STM32 Blue Pill. [32]

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 V DC
Frecuencia de trabajo	72 MHz (1.25 DMIPS/MHz)
Memoria Flash	64 Kbytes
Memoria SRAM	20 Kbytes
Modos de trabajo	Sleep, Stop y Standby
Entradas y salidas digitales	26
Convertidores A/D	2 de 12-bit de 1us
Entradas analógicas	10
Interfaces de comunicación	2 I2C, 3 USART, 2 SPI, CAN
Temporizadores	7
Consumo	10 mA

1.4.8.2 Módulo de carga para batería de litio TP4056

El Módulo TP4056 es un cargador compacto diseñado para baterías LiPo o Li-ion de 3.7V y 1 Ah o más, como las 16550 o 18650. Este módulo se destaca por incluir un circuito de protección que previene daños a las baterías. Gracias al chip TP4056 y al chip de protección DW01, el módulo proporciona una corriente de carga de 1A y se apaga automáticamente una vez completada la carga, extendiendo la vida útil de la batería. Además, protege la batería de funcionar con un voltaje demasiado bajo desconectando la carga si el voltaje cae por debajo de 2.4V, y también previene daños por sobretensión o conexión de polaridad inversa. [33]

La selección del módulo TP4056 es debido a su capacidad para cargar de manera eficiente las baterías de Li-ion, su circuito de protección integrado que salvaguarda las baterías de posibles daños, y sus medidas de seguridad adicionales contra condiciones de carga adversas.

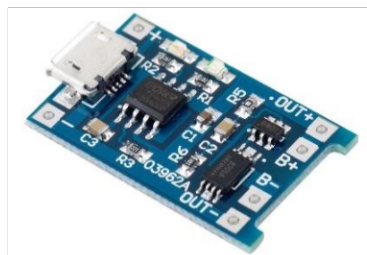


Figura 1.7. Módulo de carga TP4056. [33]

Características técnicas:

Tabla 1.2. Características técnicas del módulo de carga TP4056.

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	4.5 – 5.5 V DC
Tipo de carga	Lineal
Corriente	1 A (Variable cambiando la resistencia)
Voltaje de carga completa	4.2 V
Tipo de entrada	Micro-USB, C
Precisión de carga	1.5%
Temperatura de operación	-10 a 85°C

1.4.8.3 Convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2A MT3608

El convertidor DC-DC Step-Up 2A MT3608 es un regulador conmutado (Step-Up o Boost) de alta eficiencia, diseñado para entregar un voltaje de salida constante y superior al de entrada, ajustable mediante un potenciómetro multivuelta, soportando cargas de hasta 2A. A diferencia de los reguladores lineales, que son simples pero ineficientes, los convertidores conmutados como el MT3608 maximizan la eficiencia energética mediante el uso de componentes que no absorben energía, como transistores MOSFET y almacenadores de energía como inductores y capacitores. Esto lo convierte en una solución ideal para elevar el voltaje de fuentes de alimentación, como obtener 5V o 12V a partir de una batería de litio de 3.7V. [34]

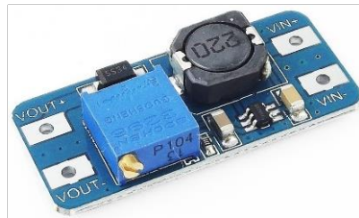


Figura 1.8. Módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2A MT3608. [34]

Características técnicas:

Tabla 1.3. Características técnicas del MT3608. [34]

Característica	Especificación
Voltaje de entrada	2 -24 V DC
Voltaje de salida	5 – 28 V DC
Corriente de salida	2 A máx
Potencia de salida	6 W
Eficiencia de conversión	93% máx
Frecuencia de trabajo	1.2 MHz

1.4.8.4 Sensor ultrasónico SR04-M2

El sensor SR04M-2, es un sensor de ultrasonidos para medir distancias, capaz de detectar objetos en un rango de 25 a 450 cm. Se caracteriza por su pequeño tamaño, eficiencia energética, alta precisión y resistencia al agua, aunque no es sumergible. Su funcionamiento se basa en la emisión de pulsos ultrasónicos y la captura de su eco, calculando la distancia mediante el análisis del tiempo transcurrido entre ambos. [35]

La elección de este sensor se debe por su resistencia al agua, lo que permite su uso en exteriores sin problemas. Esta característica lo hace especialmente adecuado para las necesidades de nuestro proyecto.



Figura 1.9. Sensor ultrasónico SR04-M2. [35]

Características técnicas:

Tabla 1.4. Características técnicas del sensor SR04-M2. [35]

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	5 V DC
Corriente de trabajo	30 mA
Rango de detección	25 – 450 cm
Precisión	±0.5 cm
Frecuencia de emisión acústica	40 kHz
Tiempo mínimo entre mediciones	20 ms
Ángulo de detección	<50°

1.4.8.5 Módulo Micro SD para lectura y escritura

El módulo Micro SD para lectura y escritura es un dispositivo electrónico que permite a los sistemas de microcontroladores leer y escribir datos en una tarjeta Micro SD. Las tarjetas Micro SD son un tipo de medio de almacenamiento flash muy utilizado en dispositivos móviles y electrónicos por su pequeño tamaño. [36]

Este módulo es útil en una variedad de aplicaciones de electrónica, especialmente en proyectos que necesitan almacenar grandes cantidades de datos, como:

Registro de datos (Data logging): Por ejemplo, para registrar datos ambientales (temperatura, humedad) o información de sensores a lo largo del tiempo.

Almacenamiento de archivos: Puede ser usado para almacenar archivos que el sistema necesita, como configuraciones, datos de usuario, o incluso contenido multimedia.

Transferencia de datos: Facilita la transferencia de datos entre el proyecto de microcontrolador y un PC o otro dispositivo, ya que las tarjetas Micro SD pueden ser fácilmente leídas por la mayoría de los computadores.

El módulo generalmente incluye un slot para insertar la tarjeta Micro SD y una interfaz que se conecta al microcontrolador. Esta interfaz suele ser SPI (Serial Peripheral Interface), un protocolo de comunicación común en dispositivos electrónicos, que permite la comunicación del microcontrolador con la tarjeta. [36]



Figura 1.10. Módulo microSD. [37]

Características técnicas:

Tabla 1.5. Características técnicas del módulo microSD. [37]

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	4.5 - 5 V DC
Corriente de consumo	100 mA
Memoria microSD	2 – 32 GB
Comunicación	SPI

1.4.8.6 ESP-WROOM 32

El ESP WROOM32 es un microcontrolador versátil y potente, ampliamente utilizado en proyectos de Internet de las Cosas (IoT) debido a su capacidad para manejar Wi-Fi, Bluetooth y Bluetooth Low Energy (BLE). Basado en el chip ESP32-D0WDQ6, este módulo destaca por su adaptabilidad y escalabilidad. Cuenta con dos núcleos de CPU que se pueden controlar de manera independiente, con una frecuencia ajustable de 80 a 240 MHz. Además, el ESP WROOM32 es eficiente en términos de energía, con una corriente de reposo de menos de 5 μ A, lo que lo hace ideal para dispositivos alimentados por baterías y aplicaciones portátiles. [38]

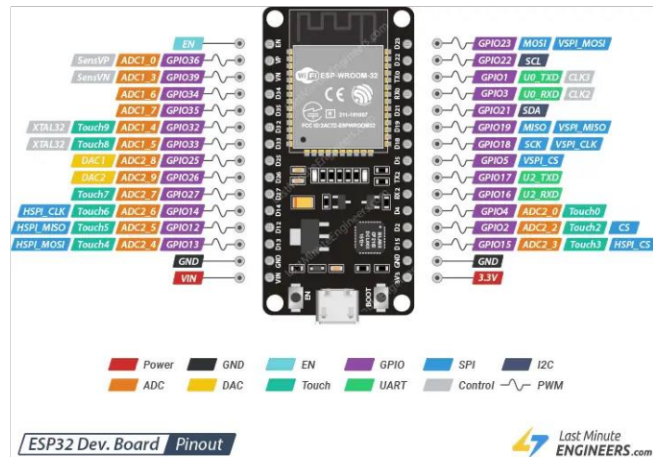


Figura 1.11. ESP32-WROOM. [39]

Características técnicas:

Tabla 1.6. Características técnicas del microcontrolador ESP32-WROOM. [40]

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	3.3 V DC
Frecuencia de trabajo	80 - 240 MHz
Memoria Flash	16 Mbytes
Memoria SRAM	520 Kbytes
Modos de trabajo	Sleep, Stop y Standby
Convertidores A/D	18 de 12 bits
Convertidores D/A	2 de 8 bits
Interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, Sensor táctil capacitivo, ADC, DAC.
Temperatura de trabajo	-40 a 85°C
Consumo	80 mA

1.4.8.7 Sensor de Corriente ACS712T-20A

El sensor de corriente ACS712T-20A es un dispositivo compacto y eficiente diseñado para la medición precisa de corrientes eléctricas. Este sensor opera basado en el principio del efecto Hall y es capaz de medir corrientes de hasta 20 amperios. Su principal característica es la capacidad de proporcionar una salida analógica lineal proporcional a la corriente que

fluye a través del terminal de entrada. Esto lo hace especialmente útil en aplicaciones donde se requiere monitorear y controlar la corriente de manera precisa, como en sistemas de gestión de energía, circuitos de protección y aplicaciones de control de carga. [41]

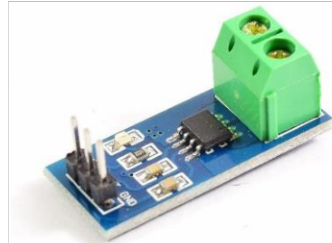


Figura 1.12. Sensor de Corriente ACS712T-20A. [41]

Características técnicas:

Tabla 1.7. Características técnicas del sensor de corriente ACS712T-20A. [41]

Característica	Especificación
Voltaje de alimentación	5 V DC
Rango de medición de corriente	-20 A a +20 A
Salida proporcional a la corriente	0.5 V – 4.5 V
Sensibilidad	100 mV/A
Tiempo de respuesta de la salida	5 μ s
Ancho de banda máximo	80 kHz
Medición	Corriente AC y DC
Error	\pm 1.5%

1.4.8.8 Elevador de Voltaje Boost Step Up SX1308

El Elevador de Voltaje Boost Step Up SX1308 es un módulo convertidor DC-DC que incrementa un voltaje de entrada de nivel más bajo a un nivel de salida más alto. Este módulo es útil en aplicaciones donde se requiere un voltaje de salida mayor al que proporciona la fuente de alimentación disponible. El SX1308 es conocido por su eficiencia y capacidad para manejar una amplia gama de tensiones de entrada y salida. [42]

Este módulo puede soportar tensiones de entrada desde alrededor de 2V a 24V, y es capaz de aumentar estas tensiones a un nivel de salida que generalmente varía de 5V a 28V, ajustable a través de un potenciómetro. Es ideal para proyectos electrónicos que necesitan una fuente de alimentación estable y de mayor voltaje, como en el caso de dispositivos portátiles, prototipos electrónicos y sistemas alimentados por batería. [42]



Figura 1.13. Elevador de Voltaje Boost Step Up SX1308. [42]

Características técnicas:

Tabla 1.8. Características técnicas del elevador de voltaje. [42]

Característica	Especificación
Voltaje de entrada	2 – 24 V DC
Voltaje de salida (variable)	5 – 28 V DC
Corriente máxima de salida	2 A
Eficiencia	>93%
Frecuencia de operación	1.5 MHz
Regulación de carga	±0,5%
Regulación de voltaje	±0,5%
Temperatura de operación	-40°C a 85°C

2 METODOLOGÍA

2.1 Introducción a la metodología

En esta parte del documento, se detallan los criterios utilizados para seleccionar los componentes clave, métodos y técnicas pertinentes al monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías, que son esenciales para el diseño y desarrollo del hardware y software del sistema de gestión de energía y sistema de captación de datos. Esta sección se orienta hacia el logro de una medición precisa y eficiente, integrando tecnologías avanzadas como sensores de flujo y técnicas de procesamiento de datos. Además, se considera la importancia de la sostenibilidad energética en el diseño del sistema, asegurando que el monitoreo sea no solo efectivo sino también energéticamente eficiente.

Esta metodología no solo guía el proceso de diseño y desarrollo del sistema propuesto, sino que también asegura que cada etapa del proyecto contribuya de manera efectiva a la consecución de los objetivos establecidos. La metodología adoptada en este proyecto es crucial, ya que aborda desafíos en la medición y gestión de caudales, así como en la optimización del uso de energía en sistemas de monitoreo. A través de un enfoque mixto que integra tanto técnicas cuantitativas como cualitativas, esta metodología permite abarcar la amplitud y profundidad del proyecto, asegurando que todos los aspectos, desde el diseño de hardware y software hasta la implementación práctica y la evaluación de rendimiento.

La importancia de adoptar esta metodología radica en su capacidad para estructurar el desarrollo del sistema de una manera que facilite la replicabilidad y la evaluación objetiva de los resultados. Además, al seguir un enfoque sistemático, se garantiza que cada decisión tomada y cada componente seleccionado para el sistema esté alineado con los objetivos finales del proyecto, que son desarrollar un sistema eficiente, efectivo y económicamente viable para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías.

En las siguientes secciones, se detallarán los enfoques específicos, los tipos de trabajo realizados, las técnicas de recolección y análisis de información, y se describirán los procedimientos y actividades que se han llevado a cabo. Esto proporcionará una comprensión clara y completa de cómo se ha abordado el proyecto desde su concepción hasta su implementación final.

2.2 Descripción general

El sistema de adquisición de datos ha sido desarrollado en base a las necesidades de una medición de caudal precisa en determinados escenarios como son los canales abiertos y las tuberías, con esto se ha realizado la elección de componentes que cumplan con los parámetros requeridos, que se encuentren disponibles en el mercado y que sean económicamente viables.

El presente trabajo se lo realiza previa a una investigación y teniendo los conocimientos de la tarea que va a cumplir el sistema, para esto se toma como punto de partida el tratamiento de señales ultrasónicas en el ámbito de la medición de recursos hídricos y todos los parámetros a considerar en este tipo de medición como son el oleaje en la superficie, la superficie del canal o cañería, parámetros que pueden afectar a la medición.

2.3 Diseño e implementación del hardware

El diseño y la implementación del hardware del sistema de adquisición de datos para el monitoreo de caudales se basarán en un diagrama de bloques detallado, que se presentará de manera similar a la Figura 2.1. Este diseño comprenderá dos sistemas, el de captación de datos y el de energía, que a su vez están compuestos por varios circuitos principales que son fundamentales para el funcionamiento eficiente y efectivo del sistema.

Sistema de captación de datos

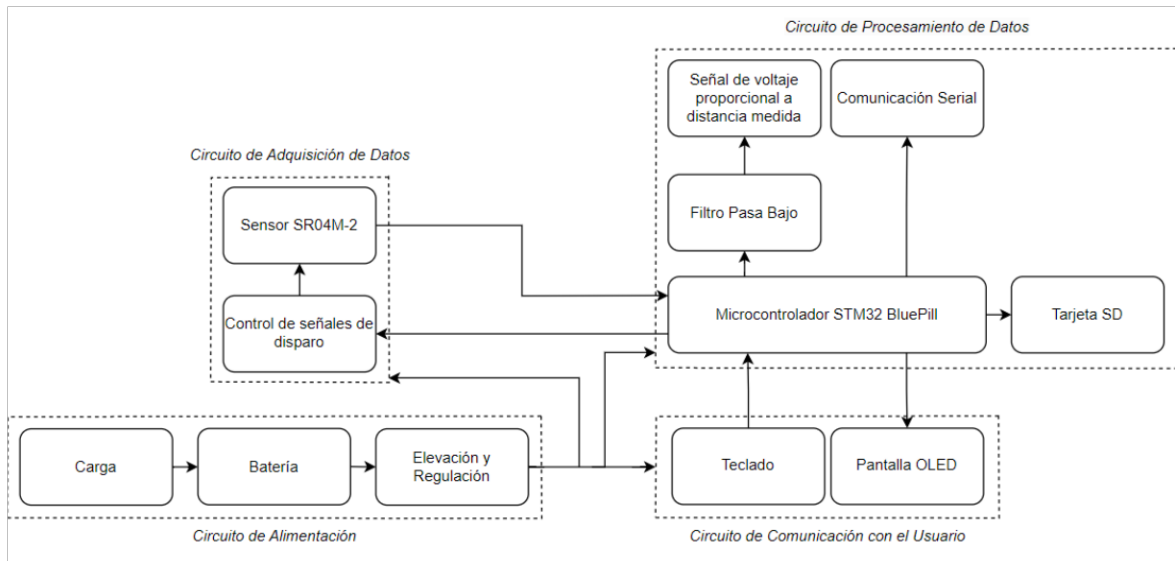


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema de captación de datos.

- **Circuito de Alimentación:** La gestión de energía es un aspecto crítico en este proyecto, por lo que el diseño del circuito de alimentación se enfoca en maximizar la eficiencia energética. Este circuito asegura que todos los componentes del sistema reciban un suministro adecuado de energía, garantizando así su funcionamiento óptimo. La eficiencia en la distribución y el uso de la energía no solo contribuye al rendimiento general del sistema, sino que también apoya la sostenibilidad y la reducción del consumo energético.
- **Circuito de Adquisición de Datos:** Este circuito será responsable de capturar datos precisos de altura del fluido desde los sensores instalados en canales abiertos y cañerías. La precisión y la fiabilidad de este circuito son cruciales para garantizar mediciones de caudal exactas.
- **Circuito de Procesamiento de Datos:** Este circuito manejará el análisis y procesamiento de los datos recopilados. Incluirá la implementación de algoritmos para convertir las señales de los sensores en información útil y significativa sobre los caudales, permitiendo así una monitorización efectiva.
- **Circuito de Comunicación con el Usuario:** Este circuito facilitará la interfaz entre el sistema y los usuarios. Incluirá elementos de visualización de datos e interfaces de usuario para permitir a los operadores interactuar con el sistema, ajustar parámetros y acceder a información vital en tiempo real.

Sistema de gestión de energía

El diseño y la implementación del hardware del sistema de energía se realizarán basándose en un diagrama de bloques detallado, similar al presentado para el sistema de adquisición de datos. Este sistema de energía se compone de varios circuitos clave que garantizan la gestión eficiente y efectiva de la energía solar para su almacenamiento y uso posterior.

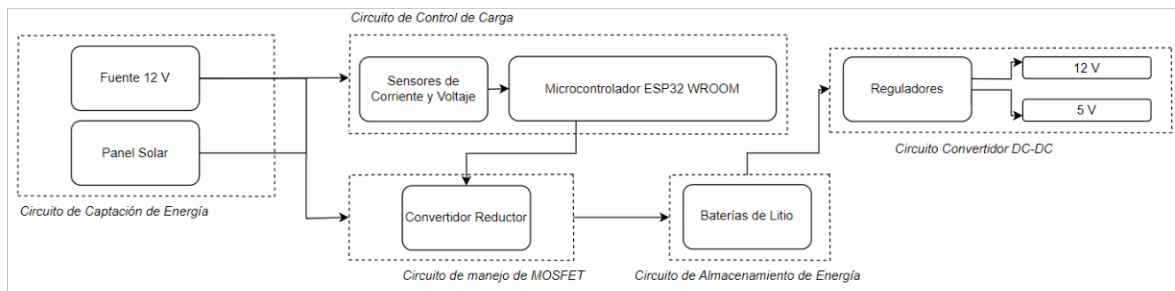


Figura 2.2. Diagrama de bloques del sistema de energía.

- **Circuito de Captación de Energía Híbrida (Solar y Red Eléctrica):** Este circuito representa el núcleo del sistema de gestión de energía, integrando de manera inteligente y eficiente dos fuentes de energía: solar y de la red eléctrica. Compuesto por un conjunto de paneles solares y un sistema de conexión a la red eléctrica, este circuito está diseñado para maximizar la captación y el uso de la energía solar, manteniendo la red eléctrica como una fuente de respaldo o complementaria.
- **Circuito de Control de Carga y MPPT (Maximum Power Point Tracking):** Este circuito crucial gestiona la carga de las baterías. Utiliza algoritmos de MPPT para optimizar la eficiencia de la conversión de energía solar, asegurando que las baterías se carguen en el punto de máxima potencia disponible de los paneles solares. La monitorización de corriente y voltaje es fundamental en este circuito para ajustar dinámicamente las condiciones de carga.
- **Circuito de Manejo de MOSFET para la Regulación de Carga:** Este circuito utiliza transistores MOSFET para controlar el flujo de energía hacia las baterías. Su activación se basa en las señales generadas por el circuito de MPPT, asegurando una carga eficiente y segura de las baterías.

- **Circuito de Almacenamiento de Energía (Baterías):** Este circuito comprende las baterías donde se almacena la energía solar convertida. Es esencial para proporcionar un suministro de energía constante, especialmente durante periodos sin luz solar.
- **Circuito Convertidor DC-DC:** Este circuito se encarga de convertir el voltaje de las baterías a los niveles de salida estandarizados (5V,12V). Es fundamental para asegurar que la energía almacenada en las baterías pueda utilizarse eficientemente para alimentar diversos dispositivos y cargas.

2.3.1 Circuito de alimentación

El circuito de alimentación ha sido diseñado tras un análisis de los componentes del sistema. Este análisis ha considerado el consumo de corriente de elementos clave como el sensor, el microcontrolador, la pantalla OLED, el teclado matricial, y otros componentes esenciales del sistema de captación de datos. Al sumar el consumo de corriente de todos estos elementos, se determina la batería más adecuada para su funcionamiento.

Tabla 2.1. Consumo de corriente de los componentes de sistema de captación de datos.

Componente	Corriente de consumo
Sensor ultrasónico SR04M-2	30 mA
Pantalla OLED 1.3"	30 mA
Teclado Matricial 4x4	1 mA
Microcontrolador STM32 Blue Pill	10 mA
Módulo microSD	100 mA
Consumo Total de Corriente	171 mA

Para realizar el cálculo de la capacidad del sistema, se emplea la siguiente ecuación que permite determinar la capacidad de la batería mediante el consumo de corriente de los elementos y el tiempo de funcionamiento.

$$Capacidad (mAh) = Consumo (mA) \times Tiempo(horas) \quad (2.1)$$

Donde:

Capacidad (mAh): Esta es la capacidad total que necesita la batería para alimentar todos los componentes del sistema durante un periodo de tiempo específico. Se mide en

miliamperios-hora (mAh), una unidad que indica cuántos miliamperios puede suministrar la batería durante una hora antes de agotarse.

Consumo (mA): Es la suma de la corriente que cada componente del sistema consume. Se mide en miliamperios (mA).

Tiempo (horas): Este es el tiempo durante el cual deseas que el sistema funcione sin necesidad de recargar o reemplazar la batería. Se mide en horas.

Basándonos en estos parámetros, se realiza el cálculo de la capacidad de la batería, colocando como tiempo base un valor de tiempo de 24 horas para que el sistema se encuentre operativo ininterrumpidamente.

$$\text{Capacidad (mAh)} = 171 \text{ mA} \times 24 \text{ h} = 4104 \text{ mAh} \quad (2.2)$$

Por lo tanto, la capacidad mínima requerida para la batería es de 4104 mAh. Considerando un margen de seguridad del 25%, la capacidad se eleva a 5130 mAh. En base a esto, seleccionamos una batería de litio de 3.7 V y 8800 mAh. Dado que el voltaje requerido para todos los componentes es de 5 V, se utilizará un convertidor DC-DC para ajustar el voltaje de la batería. Este análisis confirma que la batería seleccionada cumple con los requisitos necesarios.

2.3.1.1 Circuito de carga

El circuito de carga de la batería emplea un módulo TP4056, diseñado específicamente para cargar baterías de Litio de una sola celda. Este módulo ya incluye un circuito de protección contra sobrecargas y corta la energía automáticamente cuando la batería está completamente cargada, lo que contribuye a prolongar su vida útil. En la Figura 2.3 se puede observar cómo se realiza la conexión de la batería con el módulo TP4056 de manera correcta.

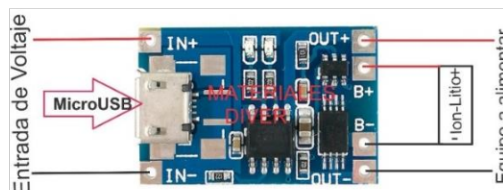


Figura 2.3. Conexión de batería a Módulo TP4056. [43]

En el lado de la entrada de voltaje requiere 5 voltios, se lo puede conectar por los pines de entrada o a su vez por un conector microUSB, tipo C, dependerá de la entrada que tenga el módulo, a la salida en los terminales B+, B-, se conectará la batería a utilizar, como se mencionó anteriormente una batería de litio 3.7 V, 8800 mAh, en los terminales se tendrá una salida de 3.7 voltios, que se conectará a las siguientes etapas del circuito de alimentación como es la elevación de este voltaje.

2.3.1.2 Circuito de elevación de voltaje

El circuito de elevación de voltaje juega un papel crucial al adaptar la energía suministrada para las necesidades específicas del sistema. Este circuito se encarga de aumentar el voltaje de salida, que originalmente es de 3.7 voltios, al voltaje de operación requerido por los componentes del sistema de captación de datos. En este caso, dado que todos los elementos del sistema funcionan a 5 voltios, es esencial elevar el voltaje de 3.7 a 5 voltios. Para lograr esto, se emplea un convertidor de voltaje, específicamente el módulo MT3608, el cual se ajusta para proporcionar una salida de 5 voltios.

El funcionamiento del circuito inicia con la entrada de 3.7 voltios suministrada por el módulo de carga TP4056. Este voltaje se introduce en el módulo convertidor MT3608, que luego eleva y regula el voltaje a 5 voltios, adecuándolo para el funcionamiento óptimo de todo el sistema de captación de datos. De esta manera, el circuito de elevación de voltaje asegura que la energía proporcionada sea compatible y suficiente para las necesidades energéticas del sistema.

2.3.1.3 Circuito para el monitoreo del porcentaje de carga en la batería

Se ha diseñado un circuito específico para monitorear el porcentaje de carga de la batería en tiempo real. Este circuito, que utiliza un divisor de voltaje, es capaz de ajustar el voltaje de la batería de litio a niveles que el microcontrolador puede manejar con precisión. Basándonos en mediciones obtenidas cuando la batería está completamente cargada y totalmente descargada, se establecieron los siguientes parámetros de referencia:

- Voltaje de batería Li-ion completamente cargada: 4.2 V
- Voltaje de batería Li-ion completamente descargada: 2.4 V

Estos valores son cruciales para configurar el divisor de voltaje de manera que opere dentro de un rango seguro y efectivo para el microcontrolador. El diseño del divisor de voltaje se realiza de la siguiente manera:

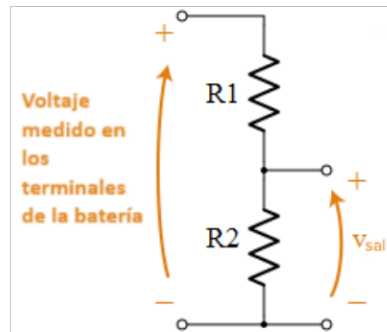


Figura 2.4. Divisor de voltaje.

Dado que conocemos los rangos de voltaje que maneja el microcontrolador, que van desde 0 a 3.3 V, y sabiendo los voltajes máximo y mínimo que puede tener la batería, diseñamos el divisor de voltaje. Se asigna un valor inicial a R_1 , en este caso de 10 k Ω :

Considerando que el rango de voltaje que maneja el microcontrolador varía de 0 a 3.3 V, y teniendo en cuenta los voltajes máximo y mínimo de la batería, se procede a diseñar el divisor de voltaje. Se asigna inicialmente un valor a R_1 , en este caso 10 k Ω , y se calcula R_2 utilizando la fórmula:

$$V_{sal} = V_{bat} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

$$3.3 = 4.2 \cdot \frac{R_2}{10k\Omega + R_2} \quad (2.4)$$

$$R_2 = 36666.667 \Omega \quad (2.5)$$

Se observa que el valor de la resistencia R_2 obtenido no es comercialmente estándar, por lo que buscamos un valor comercial más cercano al obtenido. En este caso, seleccionamos una resistencia de 33 k Ω . Luego, calculamos el nuevo valor máximo de voltaje que se tendrá a la salida del divisor con este cambio en la resistencia:

Dado que el valor calculado de R_2 no es un valor estándar comercial, se selecciona un valor comercial cercano, como es el de 33 k Ω . Luego se recalcula el voltaje máximo a la salida del divisor con esta resistencia, dado que, debido al cambio de resistencia a un valor comercial, el voltaje de salida máxima ya no será el mismo que el considerado

anteriormente.

$$V_{sal\ max} = V_{bat\ max} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

$$V_{sal\ max} = 4.2 \cdot \frac{33k\Omega}{10k\Omega + 33k\Omega} = 3.223\ V \quad (2.4)$$

De manera similar, se calcula el voltaje mínimo a la salida:

$$V_{sal\ min} = V_{bat\ min} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

$$V_{sal\ min} = 2.4 \cdot \frac{33k\Omega}{10k\Omega + 33k\Omega} = 1.841\ V \quad (2.4)$$

Estos valores de voltaje máximo y mínimo permiten monitorear de manera efectiva el porcentaje de carga de la batería. Los valores de voltaje ingresan en el microcontrolador, y a través de un cálculo proporcional, se estima el porcentaje de carga de la batería.

2.3.2 Circuito de Adquisición de Datos

En este proyecto, el dato principal para la medición de caudales es la altura del líquido en el canal o cañería (superficie mojada). Para determinar esta medida, utilizamos el sensor SR04M-2, que se conecta directamente al microcontrolador. Este sensor cuenta con pines de TRIGGER y ECHO, que permiten, mediante impulsos controlados por el microcontrolador, medir la distancia desde el punto de instalación hasta la superficie del agua. No es necesario realizar un acondicionamiento adicional de la señal, ya que podemos obtener directamente la distancia medida por el sensor.

El control del tiempo entre los impulsos emitidos por el sensor ultrasónico es crucial, especialmente en aplicaciones como la medición de caudales, donde las variaciones en la altura del líquido no son extremadamente rápidas. Por lo tanto, el intervalo entre impulsos depende de la frecuencia con la que se desee obtener una medición de la altura del líquido. En este caso, se ha establecido un intervalo de 250 milisegundos.

2.3.3 Circuito de Comunicación con el Usuario

El circuito de comunicación con el usuario es un componente esencial del sistema y se establece mediante el uso combinado de un teclado, una pantalla OLED y el microcontrolador. Este conjunto de herramientas permite una navegación eficiente y efectiva a través del sistema, facilitando así la configuración necesaria para el procesamiento de datos.

El teclado es el medio principal para introducir datos referentes a los distintos parámetros requeridos por el sistema para el cálculo del caudal. Esta funcionalidad es crucial, ya que permite al usuario personalizar y ajustar las variables según las necesidades específicas de la medición. Por otro lado, la pantalla OLED juega un papel vital en la visualización de la información. No solo proporciona una interfaz intuitiva para la navegación y configuración de parámetros dentro del sistema, sino que también muestra variables críticas como el caudal, la velocidad, el estado de carga de la batería y otros datos relevantes. Además, la pantalla informa sobre el estado de la grabación de datos en la tarjeta de memoria, asegurando al usuario un seguimiento constante del funcionamiento y del registro de datos del sistema.

2.3.4 Circuito de Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos se lo realiza con la información ingresada al sistema, por el circuito de comunicación, así como también por el circuito de adquisición de datos, estos nos darán la información necesaria para poder tratar los datos y tener una medida de caudal en tiempo real que sea confiable y de acuerdo con las necesidades de medición ya sea en canal o cañería.

2.3.4.1 Obtención y filtrado de distancia medida por el sensor

Un desafío en la obtención de mediciones estables es la presencia de olas en la superficie del líquido. Estas pueden causar fluctuaciones en las mediciones, ya que cada vez que el sensor emite y recibe la señal ultrasónica, el cálculo de la altura puede variar debido al movimiento del agua. Para abordar este problema y obtener lecturas más consistentes, hemos implementado un filtro en la programación. Este filtro está diseñado para suavizar las variaciones en los valores medidos, proporcionando así una estimación más precisa y estable de la altura del líquido.

Para lograr medidas estables, implementamos un proceso de filtrado que descarta valores inesperados o anómalos. Este proceso es esencial, especialmente cuando se presentan lecturas que varían abruptamente a cero o caen por debajo de un umbral preestablecido. Tales cambios bruscos pueden ser el resultado de movimientos particulares del líquido, que solo ocurren por un instante, y podrían llevar a obtener datos erróneos. Por lo tanto, el filtrado se efectúa con el objetivo de garantizar la confiabilidad de las mediciones.

El proceso de filtrado se realiza de la siguiente manera:

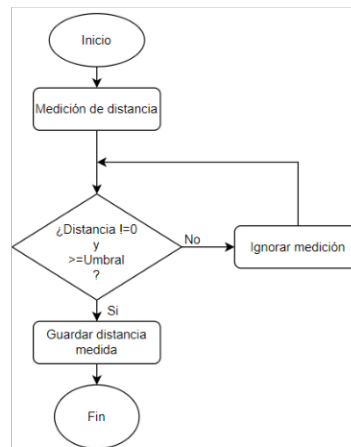


Figura 2.5. Algoritmo de filtrado de distancia.

2.3.4.2 Cálculo de caudal

El proceso de cálculo del caudal se basa en una serie de parámetros clave, que pueden ser configurados a través de la interfaz de usuario, como el teclado. Estos parámetros incluyen:

- La distancia medida a la superficie del agua, previamente filtrada.
- El tipo de cañería o canal.
- Las dimensiones específicas de la cañería o canal.
- La altura de instalación del sensor.
- El ángulo de inclinación del canal.
- El coeficiente de rugosidad de la superficie del canal (Coeficiente de Manning).

Una vez que el sensor se ha instalado en una posición fija, estos parámetros se incorporan en una ecuación específica para calcular el caudal. Esta ecuación varía ligeramente en función de la geometría particular del canal o la cañería. Por esta razón, el sistema ofrece la opción de seleccionar entre canal o cañería, adaptando así la ecuación de cálculo del caudal según el caso.

El proceso mediante el cual el sistema determina el caudal, tomando en cuenta todos estos factores, se ilustra en el siguiente diagrama:

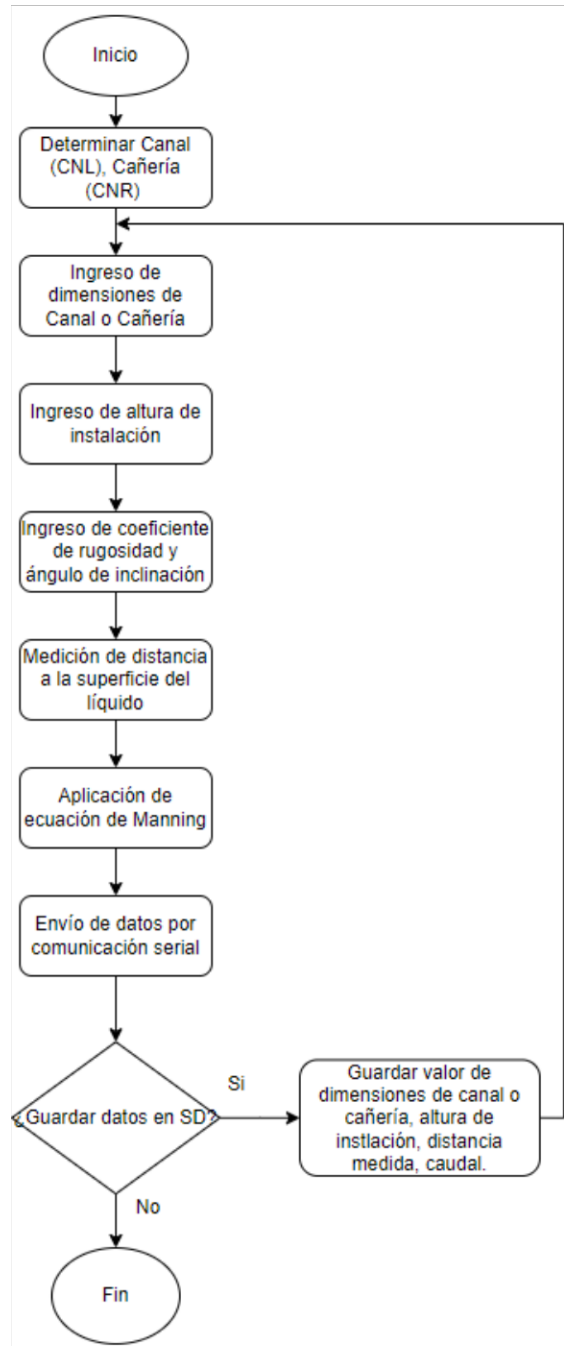


Figura 2.6. Algoritmo de cálculo de caudal.

2.3.4.3 Comunicación serial para envío de información

La comunicación serial en este sistema se efectúa a través del microcontrolador STM32 Blue Pill, que viene equipado con capacidades integradas para este fin. En el proceso de programación del microcontrolador, se configura específicamente para enviar una variedad de datos previamente establecidos y cargados en el equipo. Estos datos incluyen, pero no se limitan a, la altura medida por el sensor, las dimensiones del canal o cañería, y la altura de instalación del sensor. Estos datos se transmiten a través de los terminales de comunicación serial del microcontrolador (RX y TX), permitiendo así que sean leídos por otros dispositivos.

Es crucial mantener una referencia de voltaje uniforme y una velocidad de comunicación constante para evitar problemas en la transmisión de datos. En este caso, el sistema trabaja con una referencia de voltaje de 3.3 voltios y una velocidad de comunicación de 9600 baudios. Establecer y mantener estos parámetros garantiza una comunicación serial eficaz y el correcto envío de datos.

2.3.4.4 Almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos se efectúa a través de un módulo microSD, utilizado para la lectura y escritura de datos, en conjunto con el microcontrolador. El módulo microSD se comunica con el microcontrolador STM32 Blue Pill mediante la interfaz SPI (Serial Peripheral Interface), lo cual facilita su uso sin inconvenientes. Este módulo se conecta directamente al puerto SPI integrado en el microcontrolador.

La grabación de datos en el dispositivo comienza según la demanda del usuario, activándose o deteniéndose a través de la interacción con el teclado. Los datos se registran en un archivo con formato .csv, en el cual se almacenan valores como el caudal, la velocidad y los parámetros configurados para el cálculo del caudal. La frecuencia de registro de datos se establece en intervalos de 5 segundos. Este intervalo se ha seleccionado teniendo en cuenta que las variaciones de caudal en un canal o cañería no suelen ser abruptas, sino más bien graduales. Además, es importante considerar la capacidad limitada de la memoria microSD, lo que requiere una optimización del almacenamiento para registrar datos relevantes en los intervalos de tiempo apropiados.

Con estos datos recopilados, se facilita un análisis detallado posterior, permitiendo una evaluación precisa de las condiciones del flujo en el canal o cañería.

2.3.4.5 Salida de voltaje proporcional a la distancia

El equipo dispone de una salida de voltaje que es proporcional a la distancia medida por el sensor. Esta característica se ha integrado para facilitar la interoperabilidad con otros sistemas, ya que ofrece una forma de transmitir los datos de medición del sensor sin depender exclusivamente de un tipo de comunicación específico, como la serial. Esta señal de voltaje proporcional es particularmente útil, ya que permite la conexión del equipo a diversos sistemas de control o monitoreo que aceptan entradas de voltaje.

La salida de voltaje proporcional a la distancia medida por el sensor se lo realiza mediante la generación de una señal PWM en el pin de salida, esta señal variará su ancho de pulso para de esta manera ajustarse a un valor proporcional a la altura medida por el sensor, la variación está dentro de un rango de 0 a 3.3 voltios. Para que esta señal pueda ser detectada por otro equipo será necesario que la señal de salida que en este caso es la señal PWM sea una señal continua, esto se logra mediante la colocación de un filtro que suavice la señal y la haga continua, para esto se implementa un filtro pasa bajo:

La salida de voltaje puede ser conectada a una amplia gama de sistemas, incluyendo sistemas de registro de datos, controladores lógicos programables (PLC), sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA), o incluso dispositivos de alarma. Estos dispositivos de alarma pueden ser configurados para alertar sobre condiciones anormales de caudal, proporcionando así una herramienta adicional para la gestión y el control eficaz de los procesos relacionados con el flujo de líquidos.

Esta versatilidad en la salida de voltaje del equipo mejora significativamente su capacidad de integración y adaptación a diferentes entornos y necesidades de monitoreo, convirtiéndolo en una solución robusta y flexible para diversas aplicaciones de medición.

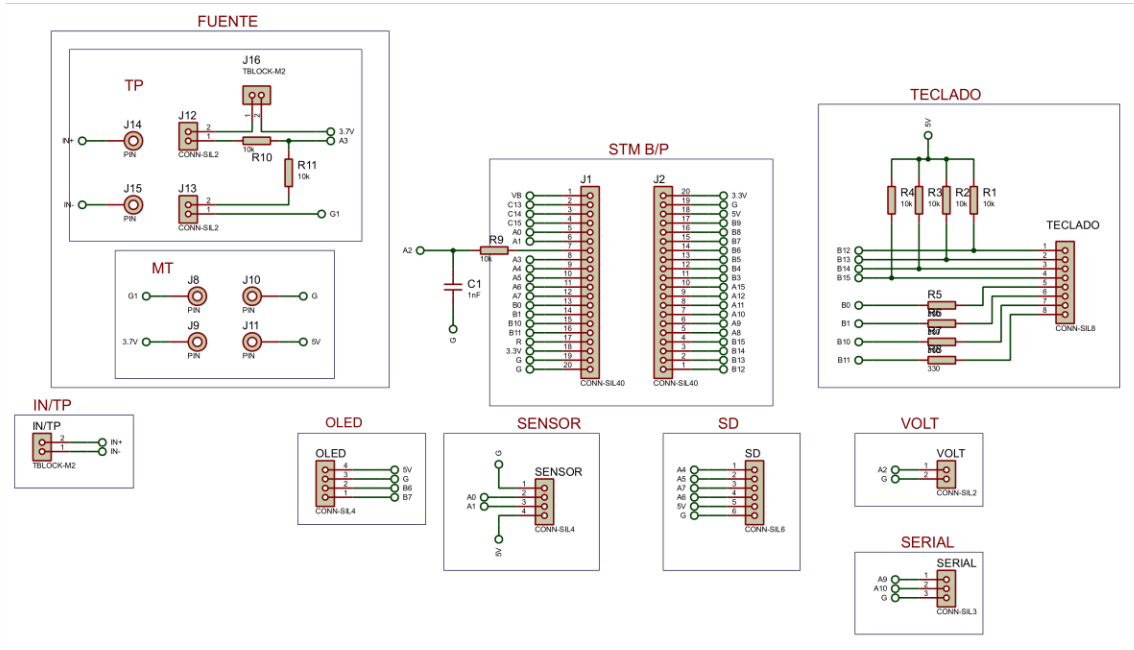


Figura 2.7. Esquema del circuito del sistema de captación de datos.

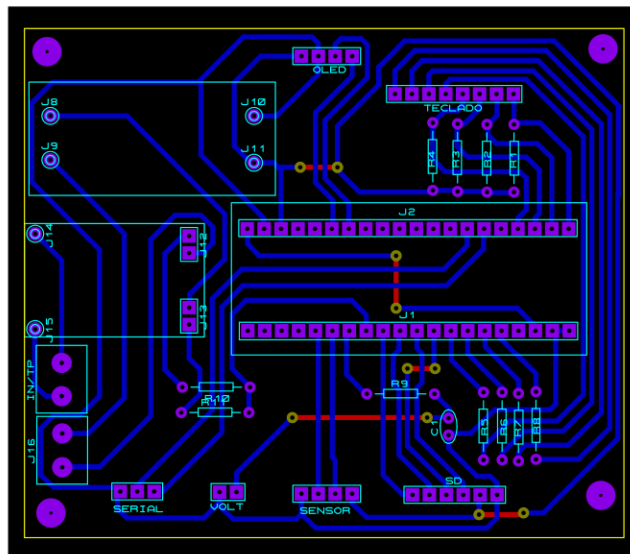


Figura 2.8. Esquema de la placa PCB del sistema de captación de datos.

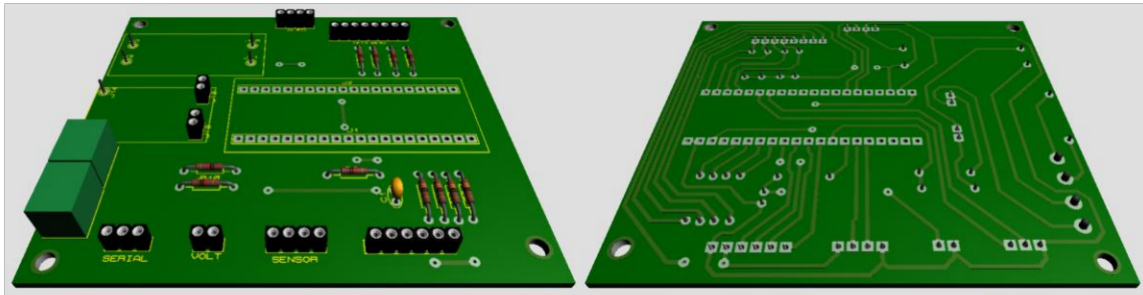


Figura 2.9. Vista Frontal y Posterior del diseño de la placa del sistema de captación de datos en 3D.

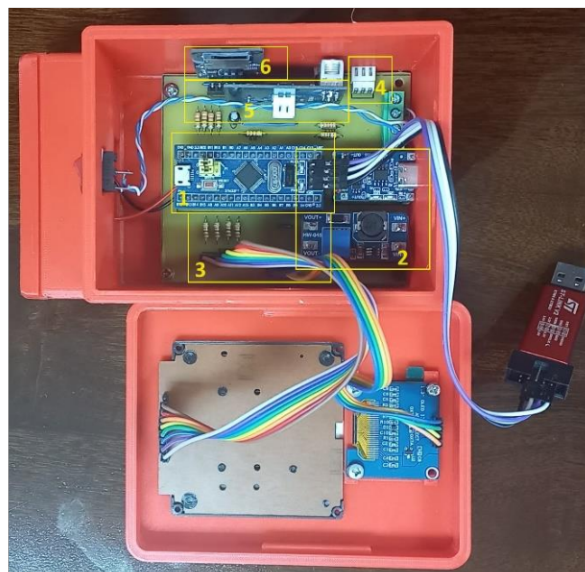


Figura 2.10. Implementación del sistema de captación.

En la Figura 2.10 se puede observar ya la implementación del sistema de captación, en donde se resaltan las partes que constituyen el sistema:

1. Microcontrolador STM32 BluePill
2. Módulo de carga de batería y convertidor elevador
3. Pantalla OLED y teclado
4. Puerto para comunicación serial
5. Sensor ultrasónico
6. Módulo SD para almacenamiento de datos

2.3.5 Circuito de captación de energía solar y de red eléctrica

Este circuito se encarga de recolectar energía proveniente tanto de paneles solares como de la red eléctrica para cargar las baterías del sistema. Está diseñado para adaptarse a la variabilidad de la tensión que los paneles solares pueden experimentar, la cual fluctúa en función de las condiciones de iluminación.

La configuración de este circuito incluye componentes clave tales como los propios paneles solares, que son el punto de entrada de la energía al sistema. Incorpora diodos, cuya función es impedir el flujo de corriente en dirección contraria, protegiendo así las baterías de posibles descargas hacia los paneles. Adicionalmente, se emplean convertidores DC-DC en el proceso.

El circuito hace uso de sensores de corriente y voltaje para monitorear y evaluar la potencia generada. Con base en esta información, se activa un convertidor reductor a través de la activación de un MOSFET, elemento encargado de gestionar la carga de las baterías de manera eficiente.

Para la salida, se utilizan convertidores elevadores que ajustan el voltaje a los niveles requeridos por el sistema, como son 5 voltios y 12 voltios, garantizando así la compatibilidad con diversos dispositivos y aplicaciones.

Esta configuración no solo optimiza la captación y el uso de la energía solar, sino que también asegura una integración efectiva con la red eléctrica, proporcionando una solución energética versátil y sostenible.

2.3.5.1 Circuito de Control de Carga y MPPT

El núcleo de este sistema es un microcontrolador, el cual tiene la crucial tarea de generar señales de Modulación de Ancho de Pulso (PWM) que se encargan de controlar el accionamiento de un MOSFET. Este proceso es fundamental para llevar a cabo la carga eficiente de las baterías. La eficacia del control de carga se basa en el análisis de corriente y voltaje proporcionado por los sensores, permitiendo así la implementación del control de MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) a través del algoritmo de "perturbar y observar".

2.3.5.1 Circuito de Manejo de MOSFET para la Regulación de Carga

La generación de la señal PWM por parte del microcontrolador es clave para regular un circuito convertidor reductor, el cual está integrado por un MOSFET. Este circuito

convertidor reductor juega un papel vital en la optimización de la conversión de energía, asegurando que la energía captada se administre de manera eficiente y se ajuste a los requerimientos de carga de las baterías.

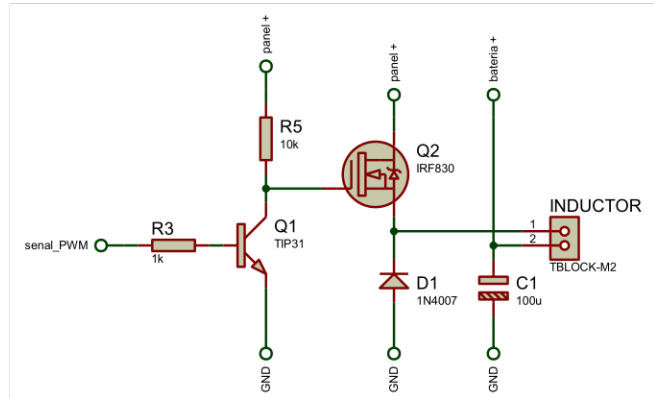


Figura 2.11. Esquema del circuito de control de carga y convertidor reductor.

2.3.5.1 Circuito de Almacenamiento de Energía (Baterías)

El sistema de almacenamiento de energía está constituido por la interconexión de cinco baterías de ion de litio. Estas baterías son cargadas a través del control descrito en la sección anterior, lo que asegura una gestión eficiente y precisa de la energía. Se configuran cuidadosamente para optimizar su rendimiento y capacidad de almacenamiento, permitiendo así obtener una salida de corriente amplificada, adecuada para alimentar los diversos dispositivos del sistema.

Esta configuración estratégica de las baterías de ion de litio es fundamental para maximizar la disponibilidad de energía. Al ajustar la conexión de las baterías para que trabajen de manera conjunta, el sistema puede lograr una salida de corriente superior, lo que resulta crucial para soportar cargas mayores y ofrecer una fuente de energía confiable y duradera.

La integración de este circuito de almacenamiento de energía con el circuito de control de carga y MPPT previamente mencionado, garantiza que la carga de las baterías se realice de manera óptima, aprovechando al máximo la energía solar captada. Esta sinergia entre los componentes del sistema no solo mejora la eficiencia energética global, sino que también prolonga la vida útil de las baterías.

2.3.5.1 Circuito Convertidor DC-DC

Esta sección del sistema desempeña un papel esencial en la adecuación del voltaje suministrado por las baterías a los niveles de voltaje específicos requeridos por los

dispositivos conectados, en este caso, 5 y 12 voltios. Esta conversión se logra utilizando convertidores elevadores de voltaje, específicamente el modelo SX1308, que permite un ajuste preciso de la salida a los niveles deseados.

El funcionamiento del circuito convertidor DC-DC es fundamental para la eficiencia y la efectividad del sistema de energía. Al transformar el voltaje de las baterías, este circuito garantiza que la energía almacenada pueda ser utilizada de manera óptima por una variedad de dispositivos que requieran diferentes niveles de alimentación. Esto no solo maximiza la utilidad de la energía capturada y almacenada, sino que también asegura la compatibilidad con los estándares de voltaje de los equipos electrónicos a los que se suministra energía.

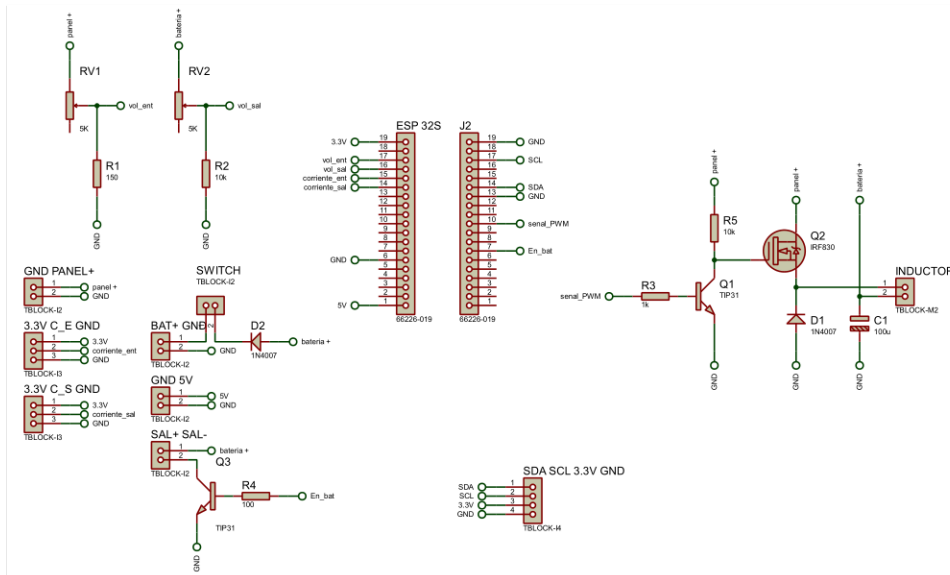


Figura 2.12. Esquema del circuito del sistema de gestión de energía.

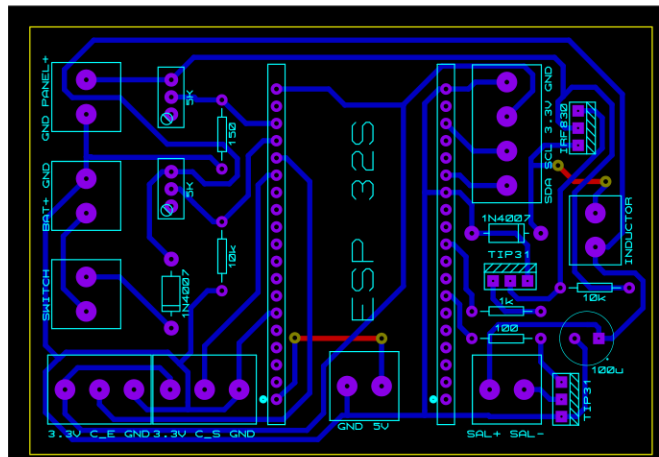


Figura 2.13. Esquema de la placa PCB del sistema de gestión de energía.

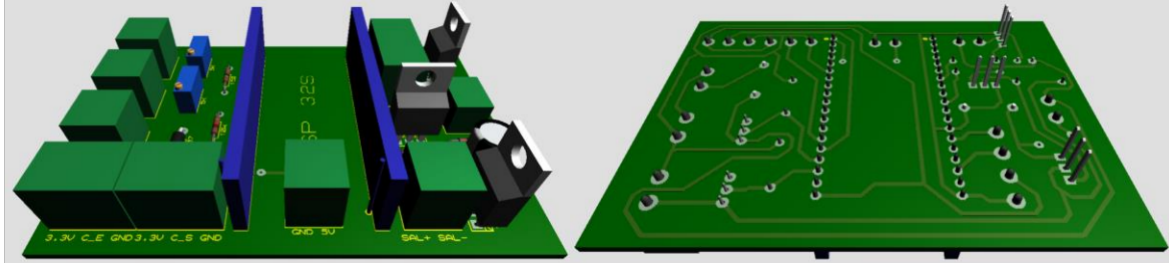


Figura 2.14. Vista Frontal y Posterior del diseño de la placa del sistema de captación de datos en 3D.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos mediante el empleo del sistema de captación de datos y del sistema de energía implementados en el proyecto. Detallamos el procedimiento seguido para garantizar una validación precisa de los datos de caudal, que incluye la medición en un canal de agua real, la calibración del equipo y la verificación del correcto funcionamiento de los equipos.

Inicialmente, se recabaron datos preliminares utilizando el equipo, lo cual fue esencial para realizar un ajuste y calibración de este. Este proceso crítico aseguró que las mediciones fueran tanto precisas como fiables. Posteriormente, con el equipo ya calibrado, se continuó con obtener y analizar los resultados correspondientes a diferentes valores de caudal medidos en un canal real. Este análisis permitió no solo validar la efectividad del sistema sino también identificar áreas de mejora potencial para futuras iteraciones del proyecto.

Además, se incluye una comparación de los resultados obtenidos con valores teóricos y mediciones previas, proporcionando así un marco de referencia que respalda la validez de nuestro enfoque. La discusión también aborda los desafíos encontrados durante el proceso de validación y cómo estos fueron superados, ofreciendo una visión completa del rendimiento y la fiabilidad de los sistemas implementados.

3.1 Resultados

Sistema de captación de datos

El equipo desarrollado ha demostrado cumplir satisfactoriamente con los requisitos para la captación de datos, preparándolos para su posterior análisis. Antes de proceder con las pruebas en canales reales, se llevaron a cabo diversas evaluaciones preliminares para evaluar el funcionamiento del sistema de captación. En estas pruebas preliminares, se puso especial atención en la variable de entrada como es la distancia medida por el sensor y en las variables de salida, que incluyen la comunicación serial, la generación de una salida de voltaje proporcional a la distancia medida, y el almacenamiento eficaz de los datos. Todos estos componentes arrojaron resultados satisfactorios tras someterse a múltiples evaluaciones.

Para evaluar la eficacia del sistema de captación, se llevaron a cabo pruebas midiendo la distancia a distintos objetos, obteniendo resultados precisos en la lectura de distancias. Sin embargo, dado que el sistema será empleado en la medición de caudales, resulta

imperativo asegurar su capacidad para medir el nivel de altura del agua sin inconvenientes. Con este fin, se procedió a medir la distancia entre el sensor y un recipiente lleno de agua simulando un canal, variando el nivel del líquido para verificar la exactitud de las mediciones. Para ello, se utilizó un flexómetro como referencia de la distancia real, comparándola con los datos proporcionados por el sensor. Esta metodología permitió confirmar que el sistema mantiene su precisión al medir en entornos líquidos, garantizando su fiabilidad para la aplicación prevista.

Tabla 3.1. Medición de variables de entrada y salida

Distancia real [cm]	Distancia medida (sensor) [cm]	Voltaje de salida [V]
24	24	0.198
24.5	24	0.198
30	30	0.2475
35.5	35	0.28875
40	40	0.33
50	50	0.4125
57.8	58	0.4785
100	100	0.825
120	120	0.99
150	150	1.2375
180	180	1.485
193.4	193	1.59225
220	220	1.815
250	250	2.0625
300	300	2.475

En el análisis de los resultados obtenidos con el sensor ultrasónico, se observa claramente, a través de los datos presentados en la tabla, que el sensor ofrece mediciones precisas cuando estas se expresan en centímetros. Sin embargo, al intentar capturar variaciones más finas en milímetros, el sensor muestra limitaciones en su capacidad de detección. Esto se debe a que la sensibilidad del sensor que está en el orden de los centímetros, y no en milímetros. En consecuencia, cualquier intento de medir cambios sutiles menores a un centímetro puede resultar en imprecisiones, lo cual es particularmente relevante en aplicaciones donde se requiere una gran exactitud, como en el cálculo de caudales.

Confirmado el correcto funcionamiento del equipo, el siguiente paso fue diseñar y construir una carcasa protectora adecuada. Para ello, se realizaron mediciones detalladas del circuito ya ensamblado. Basándonos en estas mediciones, se diseñó una carcasa utilizando herramientas de modelado 3D, preparándola así para su impresión. Este proceso no solo buscó proteger el equipo sino también facilitar su manejo y asegurar su durabilidad durante las pruebas en ambientes reales.

Para llevar a cabo la elaboración de la carcasa, se comienza con el diseño detallado, tomando en cuenta las medidas exactas de los componentes del sistema electrónico. Este paso es crucial para garantizar que la carcasa no solo se ajuste perfectamente a los componentes, sino que también ofrezca una accesibilidad óptima a los periféricos del sistema. Se pone especial atención en la disposición y el espacio dedicado a cada elemento, asegurando así una integración funcional. Este proceso meticuloso asegura que la carcasa final no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también mejore la experiencia del usuario, facilitando el mantenimiento y la interacción con el sistema.

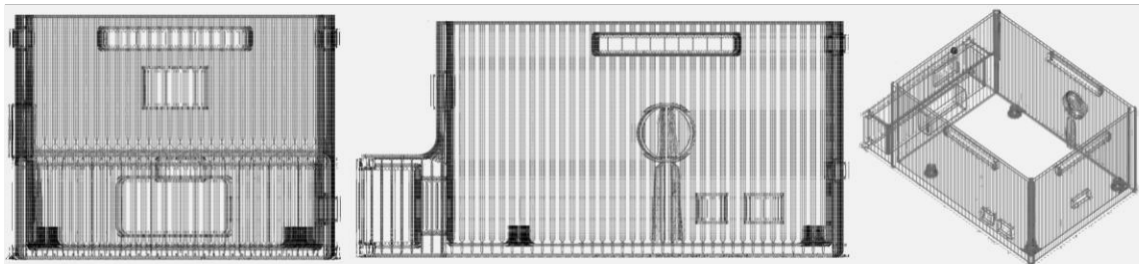


Figura 3.1. Vistas del diseño de la carcasa del sistema de captación de datos.



Figura 3.2. Carcasa del sistema de captación de datos

Sistema de gestión de energía

Se realizó una evaluación del sistema de gestión de energía, centrándose en dos aspectos críticos: la eficacia en la carga del sistema y la eficiencia en la entrega de energía. Para la carga, se aprovecharon ambas fuentes de entrada: energía solar y una conexión a la red eléctrica. Los resultados mostraron una carga más lenta de lo esperado, con una eficiencia del sistema rondando el 65%. Esta cifra se obtuvo tras medir la potencia de entrada y salida, evidenciando que, aunque el sistema es capaz de gestionar la energía de manera efectiva, aún hay margen de mejora en términos de eficiencia.

Para facilitar la carga a través de la red eléctrica, se incorporó un convertidor DC-DC con control tanto de voltaje como de corriente. Esta medida fue crucial para adaptar la corriente de entrada al límite seguro de 500 mA que el sistema puede manejar sin que sus componentes sufran de sobrecalentamiento. Ajustar el nivel de corriente de entrada fue un paso necesario para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento del sistema, evitando el riesgo de daño por exceso de calor.

A pesar de la lentitud observada en el proceso de carga de las baterías, el sistema demostró funcionar adecuadamente en términos de entrega de energía. Las salidas de 5 y 12 voltios se mantuvieron estables y fiables para cada una de las configuraciones, asegurando que los dispositivos conectados reciban la energía necesaria para su operación. Este balance entre la gestión de carga y la entrega de energía subraya la importancia de un diseño cuidadoso y de la integración de componentes adecuados para alcanzar un rendimiento óptimo, aunque destaca también la necesidad de seguir optimizando la eficiencia global del sistema.

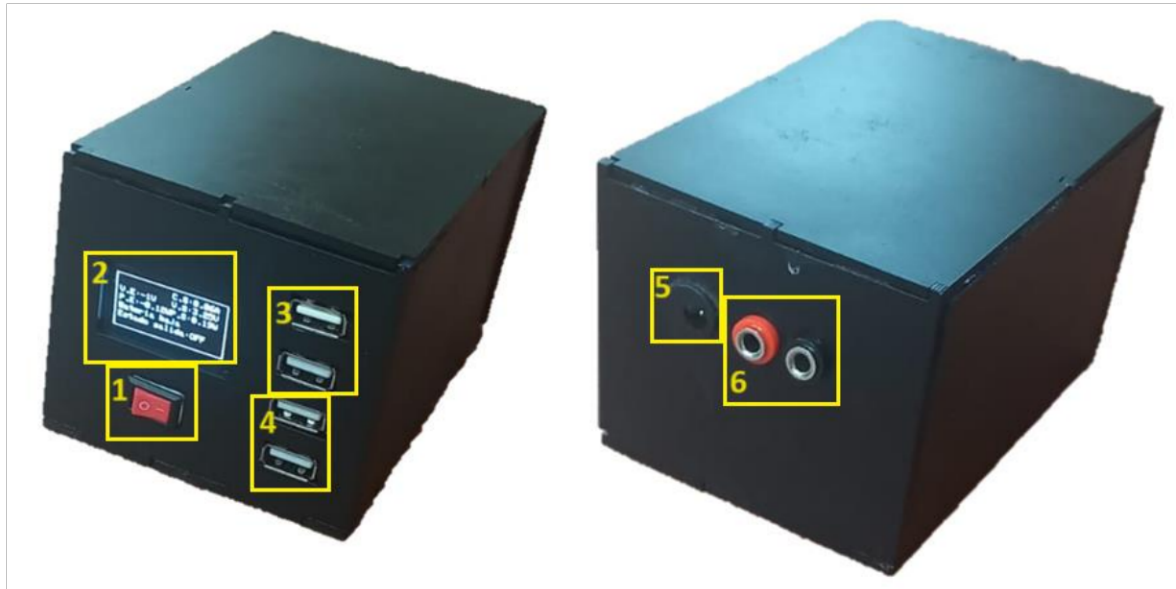


Figura 3.3. Sistema de gestión de energía

1. Switch de encendido del equipo
2. Pantalla OLED
3. Salida de 12 voltios
4. Salida de 5 voltios
5. Entrada para una fuente de 12 voltios
6. Entrada para panel solar

3.2 Pruebas de funcionamiento

Para evaluar el funcionamiento del equipo del sistema de captación, se llevaron a cabo diversas pruebas en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional. Estas pruebas consistieron en comparar las mediciones de caudal obtenidas en el laboratorio con las registradas por el equipo desarrollado en este proyecto.



Figura 3.4. Canal del Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional

El primer paso en el proceso de obtención de resultados fue la comparación y calibración del equipo. Para ello, se realizaron mediciones de caudal a distintos valores, empleando la variación de la altura generada por la diferencia de presión en la tubería por donde fluye el caudal hacia el canal. Esta metodología permite determinar el caudal que circula por el canal. La medición se basó en la siguiente ecuación, que es obtenida en base a las características de la placa de orificios que se tiene instalada en la tubería.

$$Q = 0.046 \cdot \Delta h^{0.5} \quad (3.1)$$

Donde:

Q: es el caudal expresado en $\frac{m^3}{s}$

Δh : distancia causada por la diferencia de presión expresado en m

Utilizamos esta ecuación para calcular el caudal y lo comparamos con los valores obtenidos a través de la ecuación de Manning. Esta comparación tenía como objetivo determinar si los valores de caudal calculados eran similares entre ambos métodos. Es importante destacar que la medición de caudal según la ecuación 3.1 no es exacta debido a que la diferencia de altura se mide de forma aproximada, lo que resulta en una estimación del caudal.

Para realizar una comparación efectiva, fue necesario obtener todos los parámetros relevantes de la ecuación de Manning. Estos parámetros, basados en mediciones

realizadas, incluyen el área mojada, radio hidráulico, la pendiente del canal y el coeficiente de rugosidad de Manning. Esto se puede determinar haciendo uso de la Figura 1.1, ya que relaciona estas variables con las dimensiones del canal, con esto se tiene lo siguiente:

b= longitud de base del canal = 0.417 m

y= altura del agua en el canal (variable detectada por el sensor)

Área mojada (A)= $by = 0.417y$

Perímetro Mojado (P): $b + 2y = 0.417 + 2y$

Radio Hidráulico (R): $\frac{by}{b+2y} = \frac{0.417y}{0.417+2y}$

Pendiente (S): $\tan(1.2^\circ) \approx 0.0209$ (adimensional)

Coefficiente de Manning (n): 0.0013 (Latón o vidrio)

La pendiente se obtuvo inicialmente en grados. Sin embargo, para aplicar la ecuación de Manning, es necesario convertir este valor a una magnitud adimensional. Esto se logra calculando la tangente del ángulo de pendiente, proceso mediante el cual se elimina la unidad de medida, resultando en un valor adimensional adecuado para su uso en dicha ecuación.

Los parámetros mencionados anteriormente fueron determinados mediante la medición de las características físicas del canal, permitiendo de esta manera realizar el cálculo del caudal. Estos valores se compararon con los obtenidos a través de la ecuación 3.1 correspondiente a las características de la placa de orificios instalada en la tubería que lleva el agua al canal y también mediante la aplicación de la ecuación de Manning. Los cálculos se basaron en la distancia que se determinó a partir de la presión diferencial y el calado (nivel de agua) determinado por el sistema de captación, haciendo uso del sensor ultrasónico, que permite determinar el nivel que tiene el agua en el canal. Utilizando estas variables junto con las expresiones mencionadas, se estimó el caudal en el canal.

En la siguiente tabla, se presenta los resultados del cálculo del caudal. Se muestra la distancia generada por la diferencia de presión en la tubería (Δh), que corresponde a una distancia proporcional al caudal que fluye por el canal. Además, se incluye el calado (H), que indica la altura del agua en el canal, que es determinado con el sistema de captación,

junto con las mediciones de caudal obtenidas mediante la aplicación de cada una de las ecuaciones mencionadas.

Tabla 3.2. Comparación inicial de medidas de caudal

N° Medición	Δh (distancia generada por la diferencia de presión) [m]	H (Calado) [m]	Caudal (Diferencia de presión) [$\frac{m^3}{s}$]	Caudal (Manning) [$\frac{m^3}{s}$]
1	0.004	0.01	0.00290	0.00298
2	0.037	0.02	0.00884	0.00920
3	0.045	0.02	0.00975	0.00920
4	0.14	0.03	0.01721	0.01757
5	0.168	0.03	0.01885	0.01757
6	0.35	0.04	0.02721	0.02760
7	0.63	0.05	0.03651	0.03899
8	1.09	0.06	0.04802	0.05149
9	1.18	0.06	0.04996	0.05149
10	1.78	0.07	0.06137	0.06496
11	1.85	0.07	0.06256	0.06496
12	2.67	0.07	0.07516	0.07924

Como se observa en la tabla 3.2, se detecta una ligera variación en los valores de caudal obtenidos mediante los dos métodos analizados. Esta variabilidad puede deberse a múltiples factores, tales como cambios en la pendiente del canal, variaciones en el coeficiente de Manning, la estabilidad del flujo, y las mediciones de altura del agua. Resulta importante destacar que modificaciones mínimas en la pendiente y en el coeficiente de Manning pueden inducir alteraciones considerables en los cálculos del caudal. Es relevante mencionar también que el cálculo del caudal, según la ecuación 3.1, representa una aproximación, debido a la necesidad de medir la distancia entre tubos, la cual refleja diferencias de presión. Dicha distancia puede presentar fluctuaciones, introduciendo pequeños errores que inciden en el valor final del caudal.

Se llevó a cabo una comparación entre el caudal determinado mediante la ecuación 3.1, que se aplica a la placa de orificio instalada en la tubería que dirige el agua hacia el canal, y el caudal calculado a partir de las mediciones obtenidas por el sensor. El objetivo de este análisis es determinar el porcentaje de error existente entre ambos valores para poder extraer conclusiones válidas. Para ello, se consideró como caudal real aquel medido en el Laboratorio de Hidráulica, que se ajusta a la ecuación 3.1, y como caudal medido, el obtenido mediante la aplicación de la ecuación de Manning, utilizando los datos obtenidos por el sistema de captación.

$$Error = \frac{|Caudal Real - Caudal Medido|}{Caudal Real} \quad (3.2)$$

Tabla 3.3. Error entre mediciones de caudal

Caudal (Diferencia de presión) [$\frac{m^3}{s}$]	Caudal (Manning) [$\frac{m^3}{s}$]	Error entre mediciones de caudal [%]
0.00290	0.00298	2.714
0.00884	0.00920	4.019
0.00975	0.00920	5.678
0.01721	0.01757	2.104
0.01885	0.01757	6.791
0.02721	0.02760	1.447
0.03651	0.03899	6.792
0.04802	0.05149	7.232
0.04996	0.05149	3.062
0.06137	0.06496	5.848
0.06256	0.06496	3.826
0.07516	0.07924	5.426

En la tabla 3.3, que detalla el error entre mediciones, se evidencia un porcentaje de error reducido al comparar los valores obtenidos mediante la ecuación para la placa de orificios, considerados como valores reales, con aquellos calculados por la ecuación de Manning.

Este margen de error puede atribuirse a diversos factores. Tal como se mencionó anteriormente, la limitada sensibilidad del sensor para detectar variaciones milimétricas contribuye a discrepancias en el cálculo del caudal. Además, es crucial disponer de estimaciones precisas de los parámetros que intervienen en la ecuación de Manning, tales como la pendiente, el coeficiente de rugosidad, y las dimensiones del canal, ya que variaciones en estos factores pueden resultar en errores. Sin embargo, a pesar de la sensibilidad baja del sensor, el error observado sigue siendo bajo, lo que indica que las mediciones de caudal se aproximan significativamente al valor real. Este resultado subraya la fiabilidad de las mediciones proporcionadas por el sistema de captación, confirmando su precisión y efectividad.

3.3 Conclusiones

- El proyecto logró diseñar, desarrollar e implementar un sistema integrado para la gestión de energía y captación de datos, específicamente para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías, ofreciendo una solución innovadora para la gestión eficiente del agua.
- Mediante la utilización de sensores ultrasónicos y un sistema de gestión energética que incluye fuentes renovables, el proyecto contribuye de manera significativa a una gestión del agua eficiente y sostenible, vital ante el cambio climático y la creciente demanda de agua.
- La precisión en las mediciones de caudal depende de la sensibilidad del sensor, las condiciones del sitio y las variables del flujo de agua, lo cual asegura la adaptabilidad y optimización del sistema en diferentes contextos, reforzando su eficacia en la gestión de recursos hídricos.
- La implementación de sensores ultrasónicos permite mediciones precisas sin necesidad de alterar físicamente los sistemas de canales o cañerías, favoreciendo el mantenimiento y la preservación de estos sistemas.
- El sistema de gestión de energía del proyecto asegura su independencia de la red eléctrica convencional, ayudando a tener un sistema autónomo asociado al monitoreo de recursos hídricos.
- El uso de componentes disponibles localmente en Ecuador mejora la economía del proyecto, reduciendo costos de importación y facilitando su replicabilidad y

mantenimiento, destacando la sostenibilidad económica y adaptabilidad del proyecto.

3.4 Recomendaciones

- Aumentar la recolección de datos bajo distintas condiciones ambientales para mejorar la adaptabilidad del sistema a diferentes escenarios, como variaciones en la forma del canal, rugosidad y pendiente.
- Utilizar tecnologías emergentes, tales como inteligencia artificial y redes neuronales, para optimizar el análisis de datos y mejorar la predicción de patrones de flujo, adaptando el sistema a la variabilidad de los escenarios.
- Para mediciones más exactas, es recomendable hacer uso de un sensor más sensible, ya que ha pequeñas variaciones de altura en el caudal del canal, puede representar grandes variaciones en el caudal.
- Explorar la integración del sistema con controladores lógicos programables (PLCs) para ampliar su funcionalidad y adaptabilidad a distintas aplicaciones industriales y de monitoreo, aumentando su versatilidad y valor en la automatización de procesos y la gestión eficiente de recursos.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Water Management Institute, «Water Accounting for Integrated Water Resources Management».
- [2] L. García Gutiérrez, «TEORÍA DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES Y VOLÚMENES DE AGUA E INSTRUMENTAL NECESARIO DISPONIBLE EN EL MERCADO».
- [3] O. Glovatskii, S. Usmanov, R. Ergashev, B. Hamdamov, y A. Gazaryan, «Hydrometric flow measurement in water management», doi: 10.1051/e3sconf/202336503016.
- [4] R. Risnawati, I. Irawati, N. A. Deliarnoor, y H. Nurasa, «Implementation of Flood and Drought Control for Economic Growth of the Cisadane River Flow in Banten», *KnE Social Sciences*, vol. 2022, pp. 65-78.-65–78., mar. 2022, doi: 10.18502/KSS.V7I5.10540.
- [5] SCHEMMER, «The Importance of Hydrology and Hydraulics in the Design Process». Accedido: 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.schemmer.com/h-h-hydrology-and-hydraulics-why-its-important-to-the-design-process/>
- [6] F. C. Adrián y J. Carballo, «MECÁNICA DE FLUIDOS: VISCOSIDAD Y TURBULENCIA».
- [7] CRUMA, «Flujo Laminar o Turbulento: Diferencias y Aplicaciones». Accedido: 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cruma.es/flujo-laminar-o-turbulento/>
- [8] I. Gladys, I. Chamorro, y D. E. Rodríguez, «HIDROMETRÍA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DE FLOTADORES».
- [9] Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, «Manual de Medición de Caudales», Accedido: 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- [10] Liliana Pozo Díaz, «Construcción de un prototipo universal para la medición de la velocidad de agua en ríos, basado en el molinete universal utilizado en el INAMHI».
- [11] K. Chhantyal, H. Viumdal, y S. Mylvaganam, «Ultrasonic level scanning for monitoring mass flow of complex fluids in open channels - A novel sensor fusion approach using AI techniques», *Proceedings of IEEE Sensors*, vol. 2017-December, pp. 1-3, dic. 2017, doi: 10.1109/ICSENS.2017.8234010.
- [12] T. S. R. Pereira, T. P. de Carvalho, T. A. Mendes, y K. T. M. Formiga, «Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors», *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 5512*, vol. 14, n.º 9, p. 5512, may 2022, doi: 10.3390/SU14095512.
- [13] S. S. Mulik, A. D. Patange, R. Jegadeeshwaran, S. S. Pardeshi, y A. Rahegaonkar, «Development and experimental assessment of a fluid flow monitoring system using flow sensor and arduino interface», *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 115-122, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-6619-6_12.

- [14] SmarthMeasurement, «Tendencias e innovaciones emergentes en la tecnología de medidores de flujo ultrasónicos: medición inteligente». Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.smartmeasurement.com/es/emerging-trends-and-innovations-in-ultrasonic-flow-meter-technology/>
- [15] José Gregorio Basanta y Gastón Parra Loynaz, «ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO COMPARATIVO DE CAÍDAS VERTICALES Y RÁPIDOS, EN CANALES PARA RIEGO Y DRENAJE», 2007.
- [16] «Curso Hidraulica: Propiedades geométricas de los canales». Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hidraulicaucentral.blogspot.com/2012/05/variables-y-fenomenos-hidraulicos.html>
- [17] «INGENIERIA CIVIL: Elementos Geométricos de la Sección Transversal de un Canal». Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/02/elementos-geometricos-de-la-seccion.html>
- [18] «Elementos geométricos de la sección transversal de un canal - IngeCivil». Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingecivil.net/2018/01/16/elementos-geometricos-de-la-seccion-transversal-de-un-canal/>
- [19] J. I. David Rojo Hdz Msc Recursos Hidráulicos, «Introducción al estudio del flujo libre».
- [20] «Fórmula de Manning: Aplicación en Hidráulica y Flujos». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://quesignificado.org/que-es-la-formula-de-manning/>
- [21] Ramiro Vicente Marbello Pérez y Manuel Guillermo Cárdenas Quintero, «ECUACIONES DE DISEÑO DE CUNETAS, EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE MANNING Y LA ECUACIÓN DE DARCY & WEISBACH - COLEBROOK & WHITE. CASO COLOMBIANO», Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Cardenas-Quintero/publication/321599141_ECUACIONES_DE_DISENO_DE_CUNETAS_EMPLEANDO_LA_ECUACION_DE_MANNING_Y_LA_ECUACION_DE_DARCY_WEISBACH_-_COLEBROOK_WHITE_CASO_COLOMBIANO/links/5a2860edaca2727dd88701c9/ECUACIONES-DE-DISENO-DE-CUNETAS-EMPLEANDO-LA-ECUACION-DE-MANNING-Y-LA-ECUACION-DE-DARCY-WEISBACH-COLEBROOK-WHITE-CASO-COLOMBIANO.pdf
- [22] «CALCULO DEL CAUDAL UTILIZANDO LA FÓRMULA DE MANNING». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/article/calculo-del-caudal-utilizando-la-f%C3%B3rmula-de-manning.yee63nry>
- [23] Lawrence C. Lynnworth, *Ultrasonic Measurements for Process Control: Theory, Techniques, Applications*. Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=TV_ExpL6-7oC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ultrasonic+Sensors:+Theory+and+Applications&ots=gU_3GDSCJT&sig=VwyOTK8onWNUiKKG_ataI2qkCp0&redir_esc=y#v=onepage&q=Ultrasonic%20Sensors%3A%20Theory%20and%20Applications&f=false

- [24] Industry Surfer, «Utiliza sensor ultrasónico impermeable JSN-SR04T y Arduino». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industrysurfer.com/cursos/utiliza-sensor-ultrasonico-impermeable-jsn-sr04t-y-arduino/>
- [25] R. C. Baker, «Flow measurement handbook : industrial designs, operating principles, performance, and applications», p. 524, 2000.
- [26] Andrzej M. Pawlak, «Sensors and Actuators in Mechatronics: Design and Applications». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=DRPNBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Sensors+and+Actuators+in+Mechatronics:+Design+and+Applications&ots=90VNXS0JT4&sig=wGLis0iJW9HAsOrxXWP3LOTwOQ8&redir_esc=y#v=onepage&q=Sensors%20and%20Actuators%20in%20Mechatronics%3A%20Design%20and%20Applications&f=false
- [27] H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, y M. Ismail, «Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review», *Sensors* 2017, Vol. 17, Page 1781, vol. 17, n.º 8, p. 1781, ago. 2017, doi: 10.3390/S17081781.
- [28] Monsolar, «¿Cómo funcionan los reguladores de carga solares PWM y MPPT?». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/como-funcionan-los-reguladores-de-carga-solares-pwm-y-mppt/>
- [29] M. G. Molina, P. E. Mercado, y P. E. Wiernes, «CONICET. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL PARA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266870166_Investigador_CONICET_ANALISIS_Y_SIMULACION_DE_ALGORITMOS_DE_CONTROL_PARA_EL_SEGUIMIENTO_DEL_PUNTO_DE_MAXIMA_POTENCIA_DE_SISTEMAS_SOLARES_FOTOVOLTAICOS_CONECTADOS_A_LA_RED_ELECTRICA
- [30] Quartux, «Características de las Baterías de Ion Litio». Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://quartux.com/blog/baterias-de-ion-litio-caracteristicas/>
- [31] Robocraze, «Introduction to the STM32 Bluepill». Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://robocraze.com/blogs/post/introduction-to-the-stm32-bluepill>
- [32] TodoMicro, «Modulo Desarrollo Stm32f103c8t6 Blue Pill Stm32». Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.todomicro.com.ar/arduino/779-modulo-desarrollo-stm32f103c8t6-blue-pill-stm32.html>
- [33] Grupo Electrostore, «MÓDULO TP4056 CARGADOR BATERÍAS LITIO CON PROTECCIÓN». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores-para-baterias/modulo-tp4056-5v-micro-usb-1a-cargador-para-baterias-litio-con-proteccion/>

- [34] naylampmechatronics, «Convertidor Voltaje DC-DC Step-Up 2A MT3608». Accedido: 6 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/119-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2a-mt3608.html>
- [35] altronics, «Sensor Ultrasónico SR04M-2». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://altronics.cl/sensor-ultrasonico-sr04m-2>
- [36] Luis Llamas, «Leer y escribir en una tarjeta SD o micro SD con Arduino». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>
- [37] ORELLANA, «Módulo Memoria Micro SD Lectura y Escritura – Orellana». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-memoria-micro-sd-lectura-y-escritura/>
- [38] Espressif Systems, «ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32) Datasheet», 2018.
- [39] Last Minute Engineers, «ESP32-WROOM-32 Pinout Reference». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://lastminuteengineers.com/esp32-wroom-32-pinout-reference/>
- [40] electropeak, «ESP32 Pinout Reference: A Comprehensive Guide». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://electropeak.com/learn/full-guide-to-esp32-pinout-reference-what-gpio-pins-should-we-use/>
- [41] NAYLAMP MECHATRONICS, «Sensor de Corriente ACS712T-20A». Accedido: 17 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/65-sensor-de-corriente-ac712t-20a.html>
- [42] UNIT Electronics, «SX1308 Elevador de Voltaje Boost Step Up 6W 2A ». Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/sx1308-modulo-regulador-dc-dc-2-28v-2a/>
- [43] «Modulo de carga TP4056 dual». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.colombianizate.com.co/tienda/arduino/modulos-potencia/modulo-de-carga-tp4056-dual/>

5 ANEXOS

ANEXO I. Manual de usuario

Este manual proporciona instrucciones detalladas para la utilización del sistema de medición de caudales, diseñado para su uso en cañerías y canales abiertos rectangulares. El dispositivo utiliza un sensor ultrasónico para determinar la altura del agua, lo cual es esencial para calcular el caudal. Para asegurar mediciones precisas, es fundamental seguir los pasos a continuación y configurar correctamente los parámetros del sistema.

Procedimiento de Inicio y Configuración

- 1. Inicio del Dispositivo:** Encienda el equipo y asegúrese de que se encuentra en la pantalla principal. Verifique la operatividad del sensor acercándolo o alejándolo de una superficie plana.



Figura 5.1. Pantalla principal del sistema de captación de datos.

- 2. Instalación del Sensor:** Posicione el sensor sobre el canal o cañería, asegurándose de que quede lo más perpendicular posible a la superficie del agua.

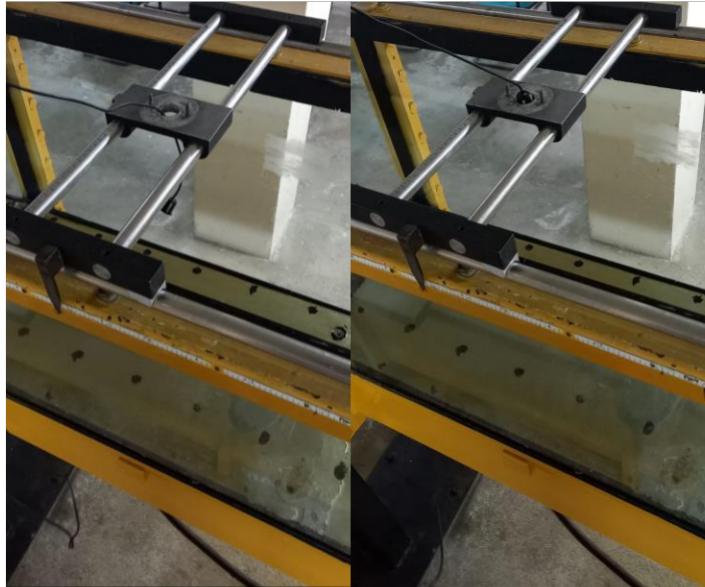


Figura 5.2. Posicionamiento y fijación del sensor

- 3. Medición de Distancia:** Mida la distancia desde el fondo hasta el sensor para establecer la altura de instalación. Esta distancia no debe ser inferior a 24 centímetros.



Figura 5.3. Medición de distancia de instalación del sensor.

- 4. Ajustes de Cableado:** Verifique que el cableado no obstruya el flujo del agua y coloque el equipo en un lugar seguro para evitar daños por salpicaduras.



Figura 5.4. Ubicación del equipo en un área segura.

5. Configuración de Parámetros: Acceda al menú de configuración presionando la tecla "D". Dependiendo del entorno de medición, seleccione la opción correspondiente: "2" para Canales o "3" para Cañerías, y proceda a ingresar los datos necesarios.

- Para Canales: Ingrese las dimensiones (altura y ancho) utilizando el teclado.



Figura 5.5. Ingreso de dimensiones de canal

- Para Cañerías: Ingrese el radio de la cañería.



Figura 5.6. Ingreso de dimensiones de cañería

- Confirme los datos ingresados con la tecla “A”. Utilice la tecla “#” para introducir decimales y la tecla “*” para corregir o retroceder.
- 6. Configuración de la Altura del Sensor:** Seleccione la opción “4” del menú para ingresar la altura de instalación del sensor (medida en el paso 3), y guarde con la tecla “A”.



Figura 5.7. Ingreso de altura de instalación.

- 7. Ajuste de Parámetros Adicionales:** Acceda a la opción “5” para configurar valores específicos como la pendiente del canal y el coeficiente de Manning. Ingrese y guarde los valores de la misma manera que en pasos anteriores.



Figura 5.8. Ingreso de pendiente y coeficiente de rugosidad.

- 8. Finalización de la Configuración:** Regrese a la pantalla principal con la tecla “D”. En esta pantalla, podrá visualizar los datos de caudal, velocidad y distancia medida, basados en las configuraciones previamente establecidas.
- 9. Inicio de la Grabación de Datos:** Si desea guardar los datos de medición en una memoria SD, presione la tecla "B" para comenzar la grabación. Para detener y guardar la grabación, presione nuevamente la tecla "B". Asegúrese de que la memoria SD esté correctamente insertada en el dispositivo antes de iniciar la grabación.

Recomendaciones Adicionales

- Antes de iniciar las mediciones, familiarícese con el teclado y las funciones del equipo para una navegación eficiente en el menú de configuración.
- Realice pruebas preliminares para verificar la precisión de las mediciones en diferentes condiciones.
- Mantenga el sensor y el equipo limpios para garantizar mediciones precisas y prolongar la vida útil del dispositivo.

Al seguir estas instrucciones y recomendaciones, asegurará el correcto funcionamiento del sistema de medición de caudales y obtendrá datos precisos para sus análisis.