



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño y construcción de un prototipo para la medición de parámetros hidráulicos
de cauces naturales para el I2TEC**

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico.**

AUTOR:

Jimmy Alexander Tapia Salinas

DIRECTOR:

Ing. José Leonardo Benavides Maldonado, PhD.

Loja- Ecuador

2025

Certificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Benavides Maldonado Jose Leonardo**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE CAUCES NATURALES PARA EL I2TEC**, perteneciente al estudiante **Jimmy Alexander Tapia Salinas**, con cédula de identidad N° **1104829278**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 4 de Marzo de 2024



Firmado digitalmente por:
JOSE LEONARDO
BENAVIDES MALDONADO

F) _____
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

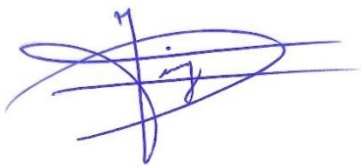


Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000797

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Jimmy Alexander Tapia Salinas**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de Identidad: 1104829278

Fecha: 24/02/2025

Correo electrónico: jimmy.a.tapia@unl.edu.ec

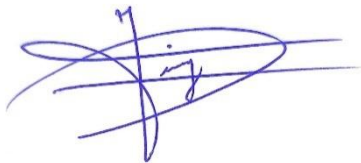
Teléfono o Celular: 0989358032

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Jimmy Alexander Tapia Salinas** declaro ser autor del trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un prototipo para la medición de parámetros hidráulicos de cauces naturales para el I2TEC**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticuatro días del mes de febrero del dos mil veinticinco.



Firma:

Autor: Jimmy Alexander Tapia Salinas

Cédula: 1104829278

Dirección: Saraguro, parroquia San Antonio de Cumbe

Correo electrónico: jimmy.a.tapia@unl.edu.ec

Teléfono: 0989358032

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora del Trabajo de Integración Curricular:

Ing. José Leonardo Benavides Maldonado, PhD.

Dedicatoria

Con profunda gratitud, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría necesaria para siempre escoger el camino correcto. Cada uno de mis logros, tanto presentes como futuros, los dedico con amor y agradecimiento a mis padres, quienes son mi fuente inagotable de inspiración. Son la razón por la cual me levanto cada día con entusiasmo, aspirando a ser mi mejor versión.

Este logro, alcanzar la meta de mi carrera, es también un regalo que me hago a mí mismo por el amor y dedicación que puse para obtenerlo. Es el resultado palpable de un arduo esfuerzo que demuestra que cualquier meta es alcanzable con determinación.

A mis amigos que he elegido a lo largo de mi trayecto en la vida, les expreso mi sincero agradecimiento. Su apoyo constante y motivación fueron pilares fundamentales que me impulsaron a culminar esta meta sin desfallecer. A todos ustedes, mil gracias.

Jimmy Alexander Tapia Salinas

Agradecimientos

Quiero manifestar mi profundo agradecimiento a todas las personas que, de diversas maneras, han contribuido al logro de este inmenso sueño. Dirijo mi gratitud hacia la distinguida Facultad de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja. Especialmente, deseo expresar mi reconocimiento al valioso equipo directivo, al personal administrativo y a los dedicados profesores que conforman la Carrera de Ingeniería Electromecánica. Agradezco sinceramente por su colaboración incondicional y por compartir sus amplios conocimientos, lo cual ha sido fundamental en mi formación integral. La calidad y dedicación de la enseñanza han impactado positivamente tanto en mi crecimiento personal como en mi preparación profesional. Cada interacción y lección recibida ha dejado una huella significativa, guiándome hacia un desarrollo completo y sólido en el ámbito personal y académico.

Este logro no solo es el resultado de mi esfuerzo individual, sino también del respaldo constante y la guía experta proporcionada por todos ustedes. Agradezco sinceramente a la comunidad académica de la carrera por ser fuente de inspiración y motivación a lo largo de este viaje educativo. Su dedicación ha sido clave para convertir este sueño en una realidad tangible.

Jimmy Alexander Tapia Salinas

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos.....	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico	6
4.1 Capítulo 1: Generalidades	6
4.1.1 Caudal de agua	6
4.1.2 Medidor de caudal	6
4.1.2.1 Tipos de medidores de caudal	6
4.1.2.2 Dispositivos de medición de caudal de los ríos.....	8
4.1.3 Hidrometría	9
4.2 Capítulo 2: Métodos de medición de caudal	9
4.2.1 Método Volumétrico	10
4.2.2 Medidor Parshall	10
4.2.3 Método de vertedero y orificios	11
4.2.3.1 Vertedero rectangular de cresta delgada sin contracciones.....	11
4.2.3.2 Vertedero rectangular con contracciones	12
4.2.3.3 Vertedero rectangular de pared gruesa.....	13

4.2.3.4	Vertedero triangular	14
4.2.3.5	Vertedero trapezoidal	14
4.2.3.6	Vertedero circular.....	15
4.2.4	Método de sección y velocidad	16
4.2.4.1	Método del molinete.....	16
4.2.4.2	Método del flotador	17
4.2.5	Método de la solución de sal	18
4.3	Capítulo 3: Fundamentos para el diseño y construcción del medidor de parámetros hidráulicos de cauces naturales	19
4.3.1	Componentes electrónicos para la construcción del prototipo.....	19
4.3.1.1	Sensor ultrasónico HC-SR04	19
4.3.1.2	Microcontroladores	20
4.3.1.1	Transmisión de datos.....	22
4.3.2	Fuente de alimentación autónomos	25
4.3.2.1	Paneles solares.....	25
4.3.2.2	Celdas solares autónomos	26
4.3.2.3	Tipos de paneles fotovoltaicos	26
4.3.2.4	Elementos del sistema de generación fotovoltaico	27
4.4	Capítulo 4: Internet de las cosas (IoT).....	28
4.4.1	Componentes del IoT	29
4.4.1.1	Sensores.....	29
4.4.1.2	Características de los sensores	30
4.4.1.3	Actuadores.....	30
4.4.2	La computación en la nube.....	31
4.4.3	Plataformas de internet de las cosas	31
4.4.3.1	Protocolos de comunicación.....	32
4.4.4	Hardware	33
5.	Metodología.....	35
5.1	Área de trabajo	35
5.2	Equipos y materiales	35
5.2.1	Softwares	35
5.2.2	Páginas web.....	35

5.2.3	Equipos.....	35
5.2.4	Equipos electrónicos	35
5.2.5	Materiales	36
5.3	Procedimiento	36
5.3.1	Análisis de metodologías de medición de caudales hídricos	36
5.3.2	Diseño y construcción del prototipo.....	37
5.3.3	Validación del prototipo.....	38
5.4	Procesamiento y análisis de datos	39
5.4.1	Determinación del método de medición de caudal a implementar	39
5.4.2	Diseño, dimensionamiento de los componentes para construir prototipo.....	40
5.4.2.1	Principio de funcionamiento	40
5.4.2.2	Sensor ultrasónico	40
5.4.2.3	Microcontrolador.....	41
5.4.2.4	Transmisión de datos.....	42
5.4.2.5	Diseño del sistema de medición con el sensor ultrasónico	42
5.4.2.6	Dimensionamiento de sistema de alimentación	42
5.4.2.7	Diseño de la estructura del prototipo.....	48
5.4.2.8	Selección de la caja de control	50
5.4.2.9	Construcción del prototipo	51
5.4.3	Ubicación de componentes en la caja de control	54
5.4.4	Validación del prototipo construido.....	56
5.4.4.1	Calibración del sensor ultrasónico HC-SR04.....	56
5.4.4.2	Validación del prototipo en el canal.....	57
5.4.4.3	Validación del prototipo en el río Malacatos	65
6.	Resultados	71
6.1	Análisis de los métodos de medición de caudal.....	71
6.2	Prototipo medidor de caudal	71
6.2.1	Visualización de datos en la plataforma IoT	73
6.3	Valoración de las mediciones efectuadas.....	74
7.	Discusión	78
8.	Conclusiones	81

9. Recomendaciones	82
10. Bibliografía	83
11. Anexos	87

Índice de tablas

Tabla 1. Características principales del sensor ultrasónico	20
Tabla 2. Características principales de la tarjeta Arduino uno	21
Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino nano	22
Tabla 4. Características generales del ESP8266	23
Tabla 5. Características técnicas del ESP32.....	25
Tabla 6. Características de los sensores	30
Tabla 7. Plataforma de hardware.....	33
Tabla 8. Tecnologías de comunicación IoT	34
Tabla 9. Equipos electrónicos para la construcción del prototipo.....	36
Tabla 10. Materiales para la estructura del equipo.....	36
Tabla 11. Valoración	39
Tabla 12. Matriz para la selección del método de medición de caudal.....	40
Tabla 13. Tabla de valoración para la selección del microcontrolador.....	41
Tabla 14. Consumo de energía de los dispositivos	43
Tabla 15. Insolación global de la ciudad de Loja.....	44
Tabla 16. Ángulo de inclinación	44
Tabla 17. Característica del módulo FV de 10 W	46
Tabla 18. Características del regulador de carga.....	48
Tabla 19. Tabla para la selección del tipo de tablero de control	50
Tabla 20. Tiempos tomados por el recorrido del flotador en 7 m	60
Tabla 21. Mediciones realizadas con el prototipo en el canal.....	64
Tabla 22. Dimensiones del río Malacatos	66
Tabla 23. Tiempo promedio tomado por el método del flotador en el río	67
Tabla 24. Promedio de las diferentes alturas del nivel de agua	68
Tabla 25. Cálculo del coeficiente de descarga promedio para el río Malacatos	70
Tabla 26. Caudal real determinado por el prototipo en el canal.....	75
Tabla 27. Comparación de resultados del canal	76
Tabla 28. Datos obtenidos del prototipo medidor de caudal.....	77
Tabla 29. Comparación de resultados de caudal del río Malacatos	77

Índice de figuras

Figura 1. Caudalímetro ultrasónico.....	6
Figura 2. Medidor de caudal electromagnético.....	7
Figura 3. Medidor de caudal Vórtex.....	7
Figura 4: Caudalímetro de presión diferencial.....	8
Figura 5. Uso de molinete de barra OTT C31.....	8
Figura 6. Medidor de caudal Phoenix.....	9
Figura 7. Medición de caudal por el método volumétrico.....	10
Figura 8. Canal parshall.....	11
Figura 9. Vertedero rectangular sin contracciones.....	12
Figura 10. Vertedero rectangular con contracciones.....	12
Figura 11. Vertedero de pared gruesa.....	13
Figura 12. Vertedero triangular.....	14
Figura 13. Vertedero trapezoidal.....	15
Figura 14. Vertedero circular.....	15
Figura 15. Partes del molinete OTT C31.....	17
Figura 16. Medición de velocidad mediante el flotador.....	17
Figura 17. Método de solución de sal.....	18
Figura 18. Factor de conversión k	19
Figura 19. Sensor ultrasónico HC-SR04.....	19
Figura 20. Funcionamiento del sensor ultrasónico.....	20
Figura 21. Arduino uno.....	21
Figura 22. Arduino nano.....	22
Figura 23. Variantes del ESP8266.....	23
Figura 24. Arquitectura Harvard.....	24
Figura 25. Células solares.....	26
Figura 26. Diferentes tipos de células fotovoltaicas.....	26
Figura 27. Acumuladores de energía (baterías).....	27
Figura 28. Regulador de carga.....	28
Figura 29. Tipos de sensores.....	29
Figura 30. Capas de la comunicación mediante el protocolo TCP/IP.....	33
Figura 31. Ubicación geográfica del proyecto.....	35
Figura 32. Metodología utilizada para el análisis de los métodos de medición.....	37
Figura 33. Metodología utilizada para el diseño y construcción del prototipo.....	38

Figura 34. Metodología utilizada para la validación del prototipo en el río Malacatos.....	39
Figura 35. Diagrama de bloques del prototipo.....	40
Figura 36. Elementos a utilizar en el prototipo	42
Figura 37. Panel fotovoltaico monocristalino	46
Figura 38. Batería de litio recargable de 9600 mA	47
Figura 39. Controlador solar de 12/24 V de 10 A.....	48
Figura 40. Especificaciones generales del tubo estructural rectangular	49
Figura 41. Diseño preliminar de la parte estructural del prototipo	49
Figura 42. Caja Plexo Legran de 180x140x86 mm, IP55	50
Figura 43. Diseño del sistema electrónico	51
Figura 44. Esquema de la placa de circuito impreso.....	51
Figura 45. Estructura del prototipo	52
Figura 46. Ubicación del tablero de control.....	52
Figura 47. Marcación de las pistas con láser.....	53
Figura 48. Placa electrónica con sus componentes	53
Figura 49. Ubicación del sensor ultrasónico	54
Figura 50. Elementos en el tablero de control.....	54
Figura 51. Diagrama de flujo de la programación	55
Figura 52. Programación del envío de datos	56
Figura 53. Prediseño del entorno para la visualización de datos en ThingSpeak	56
Figura 54. Programación de la ecuación de calibración.	57
Figura 55. Método del flotador	57
Figura 56. Toma de las dimensiones del canal	58
Figura 57. Ubicación de señales a 7 m de distancia.....	59
Figura 58. Medición del tiempo de recorrido de la pelota	59
Figura 59. Ajuste del código del microcontrolador	62
Figura 60. Ajuste de usuario y contraseña de la red Wi-Fi	62
Figura 61. Ubicación del prototipo en el canal	63
Figura 62. Comprobaciones del nivel de agua	63
Figura 63. Ubicación de la validación del prototipo en el Río Malacatos	65
Figura 64. Medición de longitud transversal del río	65
Figura 65. Medición de profundidad de nivel de agua.....	66
Figura 66. Longitud del puente de extremo a extremo	67
Figura 67. Lanzamiento de flotador al agua.....	67

Figura 68. División en 5 tramos del río.....	68
Figura 69. Programación de la ecuación 6 en el prototipo.....	69
Figura 70. Medición de caudal teórico.....	69
Figura 71. Diseño en 3D del prototipo medidor de caudal	71
Figura 72. Elementos que componen el prototipo	72
Figura 73. Prototipo medidor de caudal y sus componentes.....	72
Figura 74. Visualización de los datos en ThingSpeak	73
Figura 75. Visualización de los datos en MATLAB.....	74
Figura 76. Visualización de datos con ThingView	74
Figura 77. Toma de datos de caudal real.....	76
Figura 78. Construcción de estructura	103
Figura 79. Pintado de estructura.....	103
Figura 80. Colocación de módulo solar	104
Figura 81. Colocación del sensor ultrasónico	104
Figura 82. Colocación de caja de control.....	105
Figura 83. Construcción de placa electrónica	105
Figura 84. Ubicación de dispositivos en el tablero de control	106
Figura 85. Validación de prototipo	106
Figura 86. Comprobación de dimensiones del canal	107
Figura 87. Medición de las dimensiones del Río Malacatos.....	107
Figura 88. Toma de resultados del río.....	108
Figura 89. Ubicación del prototipo en el río	109
Figura 90. Lugar de ubicación del prototipo en el río.....	110
Figura 91. Toma de tiempo que recorre el flotador	110
Figura 92. Esquema de ubicación de prototipo en el río.....	111

Índice de anexos

Anexo 1. Especificaciones del material utilizado	87
Anexo 2. Planos de la estructura del prototipo	88
Anexo 3. Código del microcontrolador del prototipo	95
Anexo 4. Costo total del del prototipo	99
Anexo 5. Esquema de conexión de los componentes del prototipo.....	100
Anexo 6. Tabla de factores de corrección de velocidad, para el método del flotador.	102
Anexo 7. Imágenes de la construcción del prototipo y validación del prototipo.....	103
Anexo 8. Certificación de la traducción del resumen	112

1. Título

Diseño y construcción de un prototipo para la medición de parámetros hidráulicos de cauces naturales para el I2TEC

2. Resumen

La presente investigación se enfoca en explorar los diversos enfoques, recursos y herramientas necesarios para desarrollar un dispositivo de medición de parámetros hidráulicos, específicamente nivel y caudal. Con el propósito de ofrecer un dispositivo de monitoreo de bajo coste que permita evaluar continuamente la condición de los afluentes en tiempo real. Esta iniciativa busca mejorar la gestión del monitoreo permanente del caudal de río mediante el uso de dispositivos tecnológicos de bajo costo. El proceso metodológico incluye el análisis de distintos métodos de medición de caudal para identificar el más apropiado para acoplar para medición en ríos, evaluando criterios como precisión, asequibilidad, mantenimiento y disponibilidad de materiales en el mercado local. A partir de esta evaluación, se lleva a cabo el diseño, construcción e implementación del prototipo. Además, se realizaron cálculos detallados sobre el consumo energético para seleccionar adecuadamente los componentes del sistema de alimentación autónoma. Estos componentes incluyen un módulo fotovoltaico, un regulador de carga y una batería, asegurando así la autonomía de funcionamiento del prototipo. Para validar el dispositivo, se empleó el método del flotador para determinar el caudal real que atraviesa un sector del río Malacatos y con esto se pudo calcular el coeficiente de descarga necesario para este vertedero. Posteriormente, se utilizó el prototipo para medir el caudal en el mismo lugar. Al cotejar los valores de caudal obtenidos, se observó una notable similitud, lo que confirma la eficacia del dispositivo diseñado.

Palabras clave: Parámetros, hidráulicos, prototipo, caudal, monitoreo

2.1 Abstract

The present research work focuses on exploring the various approaches, resources and tools needed to develop a device for measuring hydraulic parameters, in particular level and flow. The objective is to provide monitoring equipment that allows continuous evaluation of the condition of the tributaries in real time. This initiative seeks to optimize the management of permanent river flow monitoring through the use of low-cost technological devices. The methodological process includes the analysis of different flow measurement methods to identify the most appropriate one to couple for measurement in rivers, prioritizing criteria such as accuracy, affordability, maintenance and availability of materials in the local market. Based on this evaluation, the prototype was designed, built and implemented. For this purpose, detailed energy consumption calculations were carried out in order to correctly select the components of the autonomous power supply system, which includes a photovoltaic module, a charge regulator and a battery, thus guaranteeing the autonomy of the system. To validate the device, the float method was used to determine the real flow in a sector of the Malacatos River, and the prototype was used to calculate the theoretical flow in the same place. This procedure allowed the calculation of the discharge coefficient necessary for the prototype to deliver real flow values using the thick-walled rectangular weir methodology. When measuring with the final device and comparing the flow rate data obtained, a remarkable correspondence was observed, confirming the effectiveness of the designed device.

Keywords: Parameters, hydraulics, prototype, flow, monitoring

3. Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente de los recursos hídricos enfrenta desafíos críticos, derivados tanto del cambio climático y el aumento en la demanda de agua. A la par de condiciones naturales extremas, surge la necesidad de soluciones rentables y expansibles que permitan la monitorización continua de las condiciones de los afluentes, posibilitando la toma de medidas preventivas. Por esta razón, este proyecto es una propuesta con el propósito de concebir una solución basada en el Internet de las cosas (IoT) para supervisar de manera constante los parámetros hidráulicos de cauces naturales (Acosta et al., 2022).

La relevancia crucial de este proyecto reside en la necesidad de obtener información en tiempo real sobre los afluentes naturales, elementos esenciales para la planificación en ingeniería hidráulica y la gestión de cuencas. La formulación del problema destaca la carencia de herramientas especializadas de bajo costo capaces de medir parámetros hidráulicos en tiempo real en entornos naturales; aunque según Calvo y Mora (2007) manifiestan que “en algunos casos esta medición no es una tarea fácil de efectuar dadas las diferencias morfológicas de los ríos, la profundidad y el ancho del cauce, la velocidad de la corriente y la accesibilidad a los puntos de medición” (p. 3).

En este proyecto se lleva a cabo el diseño, construcción y validación de un prototipo destinado para la medición de parámetros hidráulicos, el mismo que se empleará para monitorear el nivel y caudal del río Malacatos que atraviesa por la ciudad de Loja.

El objetivo general de esta investigación es el de: “Desarrollar un prototipo para la medición de parámetros hidráulicos de cauces naturales”

A continuación, se detallan los objetivos específicos:

- Analizar las metodologías de medición de caudales hídricos de cauces naturales.
- Diseñar un prototipo para monitorear los parámetros hidráulicos de cauces naturales a través de un sensor ultrasónico.
- Validar el prototipo en el Río Malacatos de la ciudad de Loja.

Este proceso se fundamenta en la revisión bibliográfica de las generalidades de los medidores de caudal y el análisis de las metodologías existentes para la medición de caudal en los cauces naturales. La concepción del prototipo incluirá el diseño de un sistema que permita el monitoreo del caudal de los ríos, haciendo uso de un sensor ultrasónico como componente clave.

La validación de este prototipo se desarrolla en el Río Malacatos que atraviesa por la ciudad de Loja, para evaluar el desempeño y confiabilidad en condiciones reales. Este proceso de validación permite identificar la funcionalidad del dispositivo, e identificar interrogantes sobre la viabilidad y eficacia de la tecnología propuesta.

4. Marco Teórico

4.1 Capítulo 1: Generalidades

4.1.1 Caudal de agua

Se refiere a la liberación de líquido en un río, indicando la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal en un período de tiempo determinado. Por lo general, se expresa en unidades de medida como metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (l/s). Es importante destacar que, en la mayoría de los casos, el caudal medido en una sección de control o en una estación hidrométrica se correlaciona con un nivel relativo y/o absoluto (Arboleda et al., 2018).

4.1.2 Medidor de caudal

El medidor de caudal o también conocido como caudalímetro es una herramienta de medida para determinar el caudal o la tasa de flujo volumétrico de un fluido, también se suele utilizar para medir el flujo másico y por lo general se suele colocar en la tubería de transporte del fluido.

4.1.2.1 Tipos de medidores de caudal

A continuación, se presentan los principales medidores de caudal para la medición en tuberías:

4.1.2.1.1 Caudalímetros por ultrasonidos

Un medidor de caudal ultrasónico (ver **Figura 1**) emplea ondas ultrasónicas de dos sensores opuestos para medir el tiempo que tarda una señal en viajar a favor y en contra del flujo. La diferencia en los tiempos se utiliza para calcular la velocidad del flujo (Rodríguez, 2023).

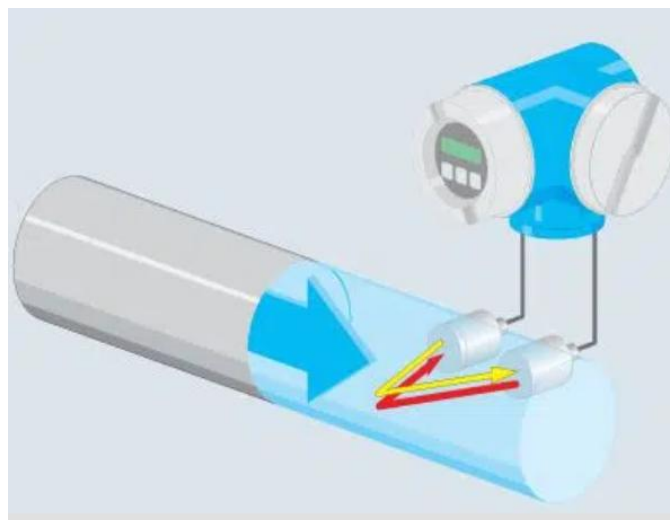


Figura 1. Caudalímetro ultrasónico

Fuente: (Rodríguez, 2023)

4.1.2.1.2 Caudalímetros electromagnéticos

El medidor electromagnético (**ver Figura 2**) utiliza el principio de inducción electromagnética para medir el flujo de líquidos conductivos. La velocidad del flujo se relaciona con la fuerza electromotriz inducida. Por consiguiente, este dispositivo puede medir líquidos con la presencia de sólidos en suspensión y por lo general posee un gran rango de diámetros nominales desde DN hasta 2400 (Rodríguez, 2023).

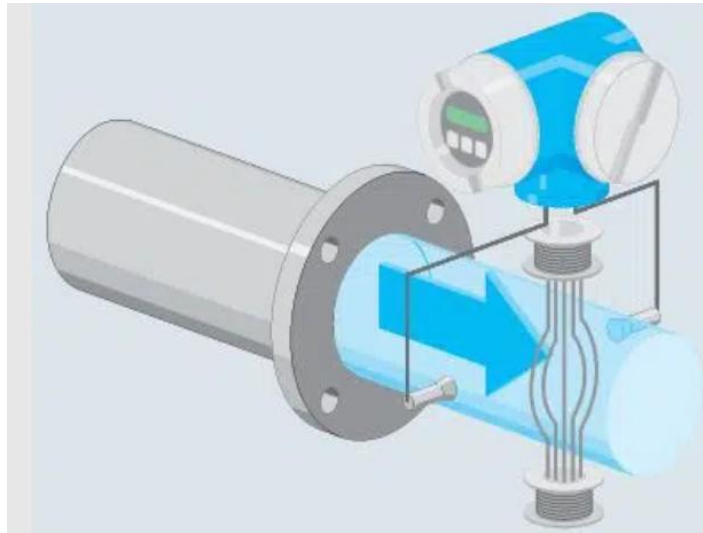


Figura 2. Medidor de caudal electromagnético

Fuente: (Rodríguez, 2023)

4.1.2.1.3 Caudalímetro vórtex

El caudalímetro vórtex (**ver figura 3**) detecta la formación de vórtices en el flujo de líquidos o gases, miden la velocidad del flujo en función de la frecuencia de los vórtices. Estos permiten la medición simultánea de caudal másico, densidad, temperatura y viscosidad. Así mismo, ofrece una alta precisión en la medición (Rodríguez, 2023).

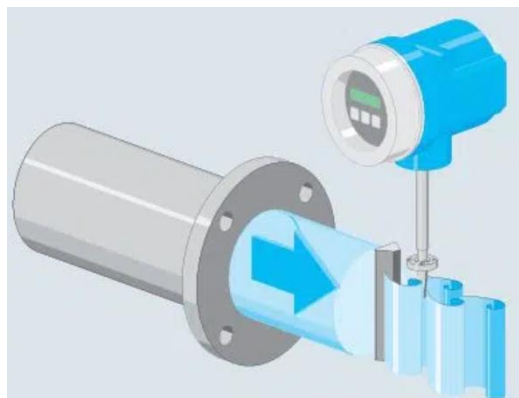


Figura 3. Medidor de caudal Vórtex

Fuente: (Rodríguez, 2023)

4.1.2.1.4 Caudalímetro de presión diferencial

Los caudalímetros de presión diferencial (**ver Figura 4**) miden la caída de presión en un tubo o elemento de restricción, como un orificio o una placa de flujo. La velocidad del flujo se relaciona con la diferencia de presión, lo cual permite medir el caudal (Rodríguez, 2023).

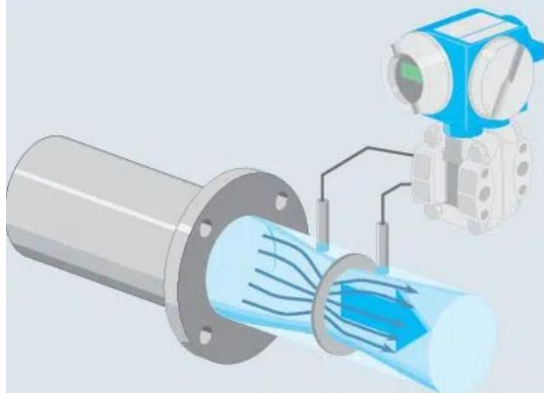


Figura 4: Caudalímetro de presión diferencial

Fuente: (Rodríguez, 2023)

4.1.2.2 Dispositivos de medición de caudal de los ríos

A continuación, se presentan algunos dispositivos utilizados en la medición de caudal de los ríos:

4.1.2.2.1 Molinete universal para la medición de caudal OTT C31

Este dispositivo se los puede utilizar en arroyos y ríos con bajos niveles de agua (**ver Figura 5**); y con velocidades de flujo no superiores a 10 m/s. Posee un amplio ámbito de aplicaciones como molinete de barra o suspendido. Su funcionamiento se basa en el giro de la hélice (OTT C31, s. f.).



Figura 5. Uso de molinete de barra OTT C31

Fuente: (OTT C31, s. f.)

4.1.2.2.2 *Medidor de caudal Phoenix*

PHOENIX es un medidor de área/velocidad sin contacto basado en tecnología radar (ver **Figura 6**), creado específicamente para su uso en ríos y extensos canales de riego. Su ángulo de apertura cuidadosamente diseñado de 32° permite al radar captar una gama completa de velocidades en toda la anchura del río o canal. Esto garantiza mediciones de caudal altamente precisas, que abarcan un amplio espectro de caudales y diversas condiciones.

Este medidor puede conectarse opcionalmente a cualquier dispositivo que soporte el protocolo de comunicación modbus ASCII para el control y análisis de datos (Halma Water Management, s. f.).



Figura 6. Medidor de caudal Phoenix

Fuente: (Halma Water Management, s. f.)

4.1.3 *Hidrometría*

La hidrometría, una disciplina dentro del campo de la hidrología, la cual se dedica a la medición, el cálculo y el análisis de los volúmenes de agua que fluyen a través de un área de un río, canal o conducto, ya sea en el contexto de un sistema de riego de pequeña o gran escala. Además de la medición del agua, la hidrometría incluye la planificación, ejecución y procesamiento de la información registrada en sistemas de riego, cuencas hidrográficas y sistemas urbanos de distribución de agua (Arboleda et al., 2018).

4.2 **Capítulo 2: Métodos de medición de caudal**

Los métodos más empleados en la práctica para su aplicación son los siguientes:

- Método volumétrico
- Dispositivo Parshall para la medición

- Métodos de vertederos y orificios
- Métodos basados en la sección y velocidad, determinando la velocidad mediante:
 - ✓ Flotador
 - ✓ Molinete

4.2.1 Método Volumétrico

Empleado para corrientes de menor caudal, como manantiales o arroyos, este método se considera el más preciso siempre y cuando el contenedor sea lo suficientemente grande y se pueda medir con precisión su capacidad (Alvarado, 2017). En este proceso, se dirige el flujo hacia un recipiente impermeable de volumen conocido, y se registra el tiempo necesario para que el recipiente se llene por completo, como se indica en la **Figura 7**. La **ecuación 1** permite determinar el caudal mediante el método volumétrico.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal en [m³/s]

V = Volumen en [m³]

t = Tiempo en [s]

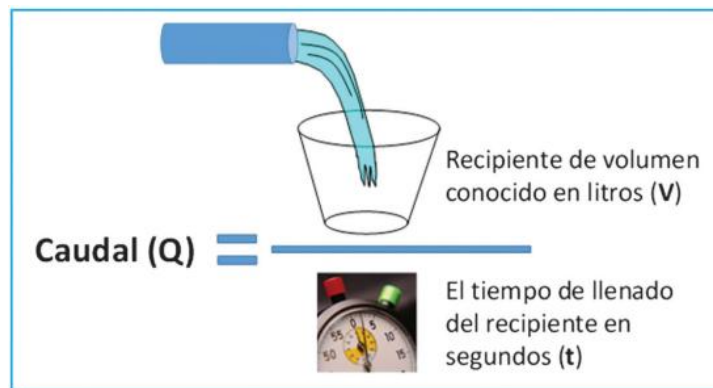


Figura 7. Medición de caudal por el método volumétrico

Fuente: (Delgadillo et al., 2011)

4.2.2 Medidor Parshall

El método concebido por Ralph Parshall en 1920 se emplea para medir el flujo de agua en canales y pequeños ríos. Se aconseja su uso en canales de riego con una pendiente mínima, así como en drenajes, especialmente en situaciones donde no resulta práctico instalar estructuras como vertederos, que puedan afectar el patrón de flujo del agua (Alvarado, 2017).

En medidor Parshall se lo presenta en la **Figura 8**.

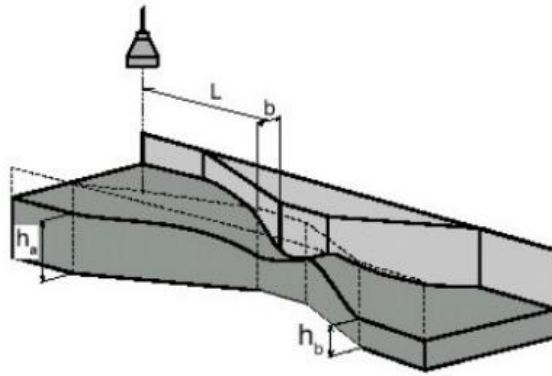


Figura 8. Canal parshall

Fuente: (Girona, s.f.)

Parshall mediante este canal creó una expresión matemática como se indica en la **Ecuación 2**, la cual relaciona el calado y caudal en situación de descarga libre.

$$Q = C \times (H)^n \quad (2)$$

Donde:

Q = Caudal en [m³/s]

H = Altura de la lámina de agua, en [m]

C y n = Son coeficiente que depende de las dimensiones del canal

4.2.3 Método de vertedero y orificios

En esencia, implica la colocación de un tabique en el camino de una corriente, lo que genera una caída de agua que atraviesa una sección específica. Con base en las propiedades del vertedero u orificio, que están reflejadas en un factor previamente establecido mediante experimentación, se determina la sección de la lámina de agua que atraviesa estos elementos y la velocidad teórica de la caída libre (Alvarado, 2017).

4.2.3.1 Vertedero rectangular de cresta delgada sin contracciones

Este método es más sencillo y uno de los más utilizados para medir el caudal mediante un vertedero rectangular (**ver Figura 9**).

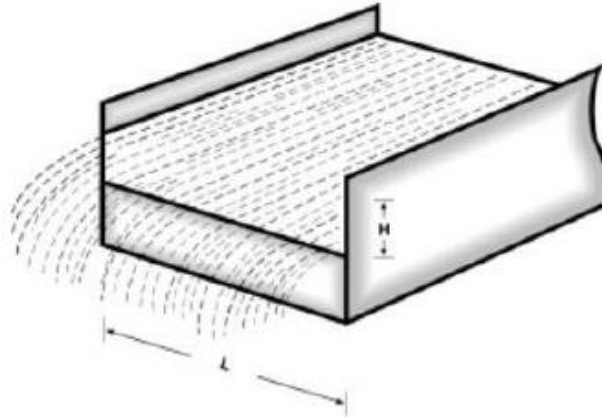


Figura 9. Vertedero rectangular sin contracciones

Fuente: (Alvarado, 2017)

La **ecuación 3** permite determinar el caudal para este tipo de vertedero.

$$Q = 1,84L \times H^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero en [m³/s]

L = Ancho del vertedero, en [m]

H = Altura de la lámina de agua, en [m]

4.2.3.2 Vertedero rectangular con contracciones

Este procedimiento es similar a la anterior, pero se tiene en cuenta las contracciones laterales del canal (ver **Figura 10**).

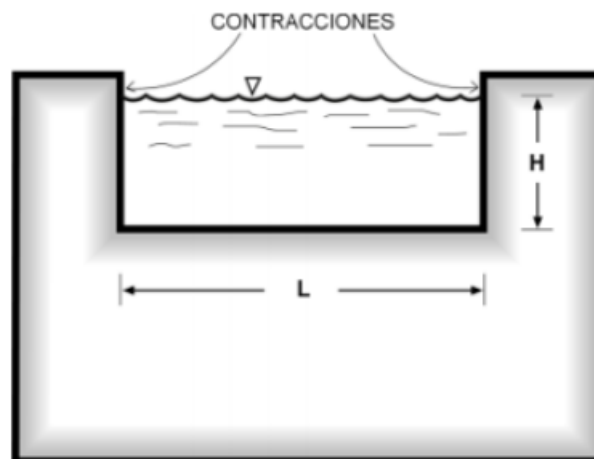


Figura 10. Vertedero rectangular con contracciones

Fuente: (Alvarado, 2017)

Aplicando la **ecuación 4** permite determinar el caudal mediante este tipo de vertedero

$$Q = 1,84(L - 0,2H) \times H^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero en [m³/s]

L = Ancho de la cresta, en [m]

H = Altura de la lámina de agua, en [m]

4.2.3.3 Vertedero rectangular de pared gruesa

Se trata de un vertedero con una pared más ancha en comparación con los vertederos de pared delgada, con una longitud denotada como L (ver **Figura 11**). Este vertedero opera bajo condiciones de descarga libre, lo que implica que las condiciones del agua corriente aguas abajo no tienen efecto sobre él (Nengoue, 2015).

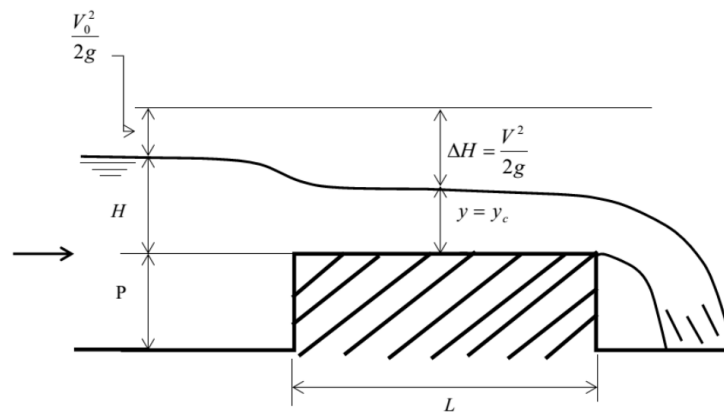


Figura 11. Vertedero de pared gruesa

Fuente: (Dávila et al., 2010)

Para que los vertederos se consideren de pared gruesa se tiene que cumplir la condición de la **ecuación 5**:

$$L \geq \frac{2}{3}H \quad (5)$$

Para el cálculo del caudal teórico sobre un vertedero rectangular de pared gruesa se emplea la **ecuación 6**:

$$Q = 1,7BH^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

Donde:

B = Longitud del vertedero en [m]

H = Altura del nivel de agua en [m]

Por otra parte, para el cálculo del caudal real se tiene que implementar un coeficiente de descarga C_D , formulándose la **ecuación 7**.

$$Q = 1,7C_D B H^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

4.2.3.4 Vertedero triangular

Alvarado (2017) afirma que los vertederos de forma triangular son especialmente útiles para obtener mediciones más exactas de las alturas de carga (H) en situaciones de caudales bajos. Estos vertederos suelen construirse con placas metálicas, y en la práctica, los más comunes son aquellos que tienen una forma isósceles, siendo los de 90° el tipo más utilizado (ver Figura 12).

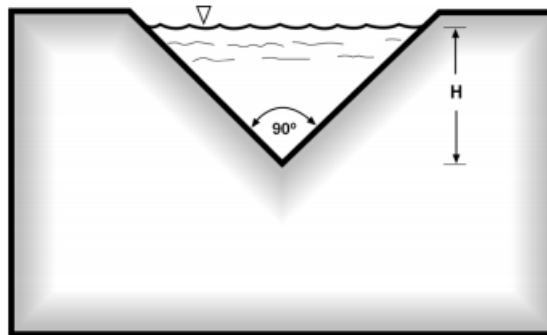


Figura 12. Vertedero triangular

Fuente: (Alvarado, 2017)

La **ecuación 8** se utiliza para calcular el caudal para este tipo de vertedero.

$$Q = 1,4 \times H^{\frac{5}{2}} \quad (8)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en [m³/s]

H = Carga del vertedero, en [m]

4.2.3.5 Vertedero trapezoidal

Este vertedero, conocido como "vertedero trapezoidal" o "vertedero Cipolletti", presenta una abertura en forma de trapecoide (ver Figura 13), con un talud de 1 unidad horizontal por cada 4 unidades verticales. Debido a su construcción más compleja en comparación con los dos tipos anteriores, se emplea con menos frecuencia (Alvarado, 2017).

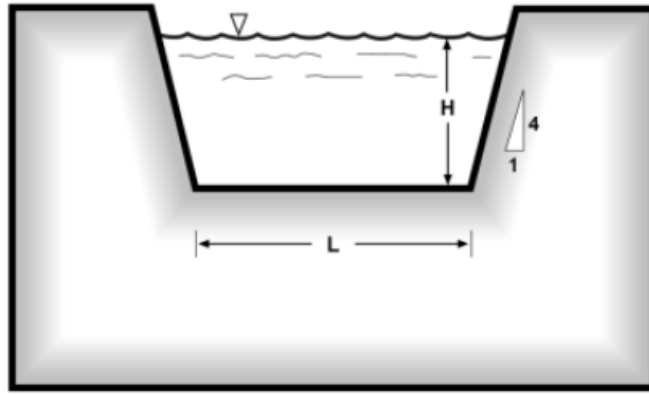


Figura 13. Vertedero trapezoidal

Fuente: (Alvarado, 2017)

La **ecuación 9** se emplea para determinar el caudal para el vertedero trapezoidal.

$$Q = 1,859 \times L \times H^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en [m³/s]

L = Ancho de cresta, en [m]

H = Carga del vertedero, en [m]

4.2.3.6 Vertedero circular

Alvarado (2017) afirma que, a diferencia de los métodos anteriores, se utiliza con menos frecuencia, pero presenta ciertas ventajas, como su sencillez de construcción y la ausencia de la necesidad de nivelar su parte superior debido a su forma geométrica (ver **Figura 14**).

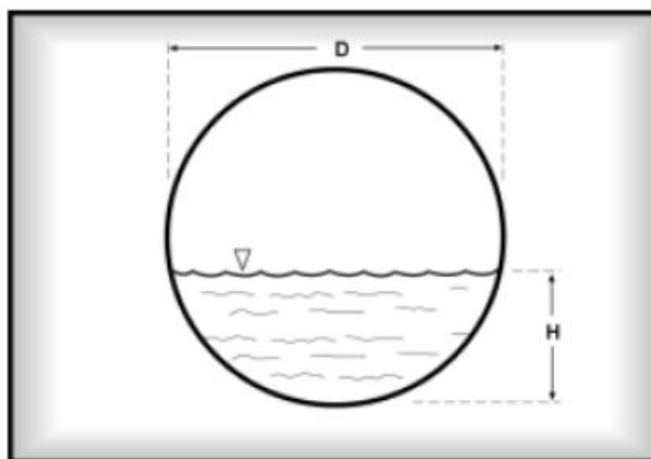


Figura 14. Vertedero circular

Fuente: (Alvarado, 2017)

La **ecuación 10** permite calcular el caudal mediante el vertedero circular.

$$Q = 1,518 \times D^{0,693} \times H^{1,807} \quad (10)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en [m³/s]

D = Diámetro del círculo en [m]

H = Carga del vertedero en [m]

4.2.4 Método de sección y velocidad

Este enfoque implica la evaluación independiente de dos factores: la forma de la sección transversal del cauce, que se obtiene a través de sondeos u otros métodos topográficos, y la velocidad del flujo de agua, que se mide mediante cualquiera de los métodos, ya sea un molinete, un flotador o la pendiente hidráulica.

Por lo tanto, la expresión para medir el caudal está dada por la **ecuación 11**.

$$Q = A \times v \quad (11)$$

Donde:

Q = Caudal de agua, en [m³/s]

A = Área de sección transversal, en [m²]

v = Velocidad media del agua, en [m/s]

La principal dificultad que presenta este método es el cálculo de la velocidad media porque varía en los diferentes puntos de la sección hidráulica (Alvarado, 2017).

4.2.4.1 Método del molinete

A través del uso de flotadores o molinetes, el Instituto de Ciencias de la Construcción (ICC), como entidad de investigación, mide las velocidades mediante molinetes de la marca OTT C-31 (**ver Figura 15**). Estos dispositivos cuentan con una hélice o rueda de copas que gira cuando el agua de la corriente choca contra ellas, y se les conoce también como correntómetros. La velocidad de rotación de la hélice es directamente proporcional a la velocidad del flujo de agua: cuanto más rápida sea la corriente, más rápido girará la hélice (Alvarado, 2017).

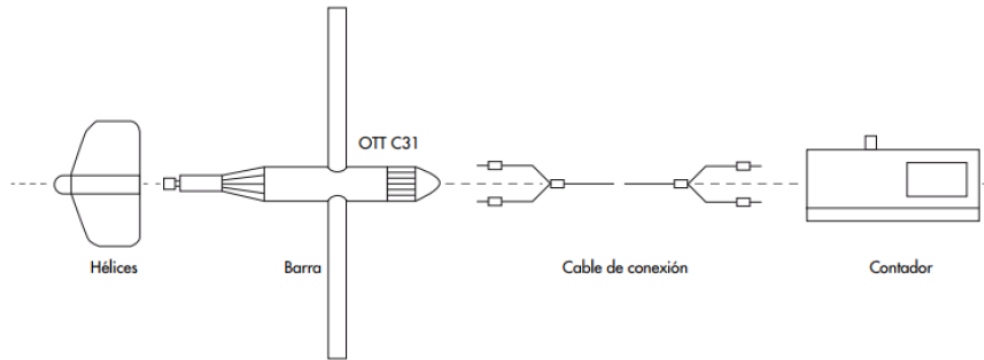


Figura 15. Partes del molinete OTT C31

Fuente: (Alvarado, 2017)

Los procedimientos para calcular la velocidad promedio en diversas zonas mediante el empleo del molinete se distinguen principalmente por el nivel de profundidad al que se realizan las mediciones de velocidad en la dimensión vertical (Alvarado, 2017).

4.2.4.2 Método del flotador

Este procedimiento se emplea tanto para evaluar el flujo de agua en canales como en sistemas de riego por acequias, aunque su precisión es limitada y proporciona únicamente una estimación aproximada de los caudales (ver **Figura 16**). Se presenta como una técnica de campo sencilla, pero su utilidad se ve restringida por el hecho de que los valores obtenidos son aproximativos en cuanto al flujo de agua, siendo esencial que el elemento utilizado como flotador esté centrado en el cauce en lugar de estar cerca de las paredes del canal (Chamorro de Rodríguez y Velásquez, 2011).

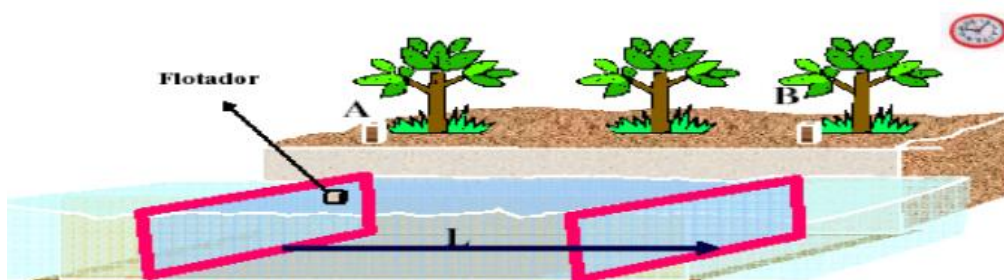


Figura 16. Medición de velocidad mediante el flotador.

Fuente: (Chamorro de Rodríguez y Velásquez, 2011)

Mediante el empleo de la **ecuación 12** se puede determinar el caudal para el método del flotador.

$$Q = k \times A \times v \quad (12)$$

Donde:

Q = Caudal en $[m^3/s]$

v = Velocidad media en $[m/s]$

A = Área de sección en $[m^2]$

k = Factor de corrección de velocidad

4.2.5 Método de la solución de sal

Este método es altamente preciso y de fácil aplicación. Si se llevan a cabo las medidas correctamente, los errores serán inferiores al 5%. Se basa en la variación de la conductividad del agua al modificar la concentración de sal. Al disolver una cantidad conocida de sal en un recipiente con agua y verter la solución en un flujo de agua, permitiendo su adecuada dilución, se produce un aumento en la conductividad, que puede ser detectado mediante un dispositivo llamado conductímetro como se indica en la **Figura 17** (Dávila et al., 2010).

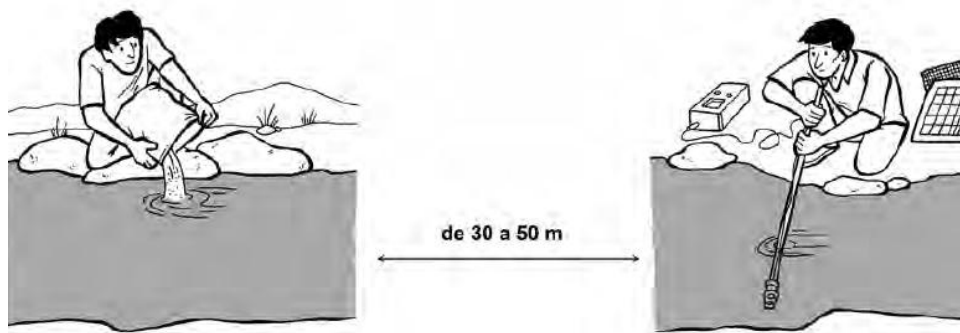


Figura 17. Método de solución de sal

Fuente: (Dávila et al., 2010)

Se puede demostrar matemáticamente que el caudal de la corriente de agua específica se puede determinar mediante la **ecuación 13**, la cual relaciona el caudal con la cantidad de sal y el área debajo de la curva obtenida, ajustada por un factor k .

$$Q = k \left(\frac{M}{A} \right) \quad (13)$$

Donde:

Q = Caudal $[l/s]$

M = Masa de sal $[mg]$

k = Factor de conversión $[\mu S/(mg/l)]$

De la **Figura 18** se observa el gráfico para la lectura de la conductividad y el gráfico para determinar el factor de conversión k

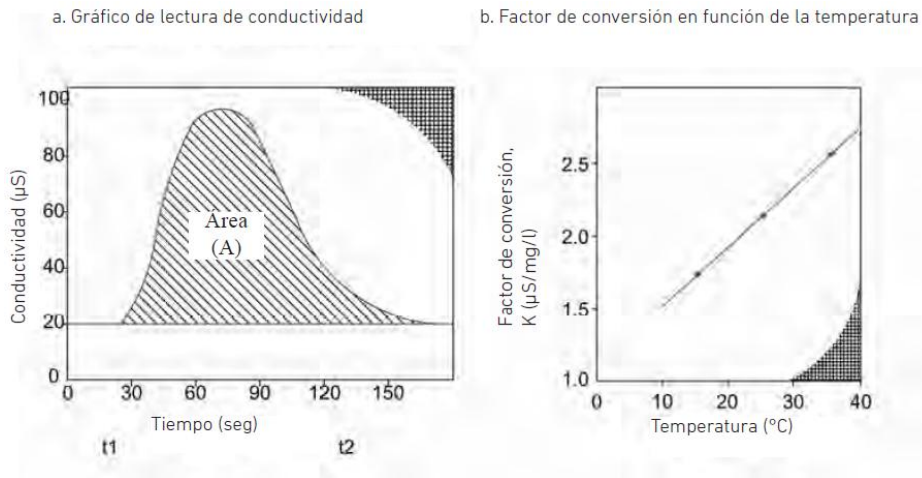


Figura 18. Factor de conversión k

Fuente: (Dávila et al., 2010)

4.3 Capítulo 3: Fundamentos para el diseño y construcción del medidor de parámetros hidráulicos de cauces naturales

4.3.1 Componentes electrónicos para la construcción del prototipo

4.3.1.1 Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor de ultrasonidos HC-SR04 (ver **Figura 19**) se emplea para la medición de distancias utilizando una onda ultrasónica emitida y recibida. Según la información del fabricante, el ángulo de funcionamiento efectivo, en el cual se obtienen resultados más precisos, se sitúa aproximadamente en ± 15 grados. Este sensor es capaz de medir distancias en un rango que va desde 4 cm hasta 450 cm, con una resolución de 0,3 cm (Hellbot, 2020).



Figura 19. Sensor ultrasónico HC-SR04

Fuente: (Hellbot, 2020)

A continuación, en la **Tabla 1** se resumen las principales características del sensor ultrasónico.

Tabla 1. Características principales del sensor ultrasónico

Características del sensor ultrasónico	
Salida	Digital
Frecuencia de ultrasonido	40 kHz
Alimentación	5 V
Consumo	0,015 A
Angulo de trabajo efectivo	15°
Rango de distancia medible	4-450 cm
Resolución	0,3 cm

Fuente: (Hellbot, 2020)

4.3.1.1 Principio de funcionamiento

Su funcionamiento se basa en la generación de un ultrasonido de 40 kHz que viaja por el aire rebotando en una superficie frente a él (**ver Figura 20**), para que luego este vuelva al sensor. También transforma el tiempo empleado por el ultrasonido en ir y volver en una magnitud de distancia (Goplani, 2018).



Figura 20. Funcionamiento del sensor ultrasónico

Fuente: (Goplani, 2018)

4.3.1.2 Microcontroladores

A continuación, se exponen algunas de las placas que se pueden emplear para proyectos electrónicos:

4.3.1.2.1 Arduino uno

El Arduino Uno (**ver Figura 21**) es una placa de desarrollo de código abierto basada en microcontrolador que forma parte de la plataforma Arduino. Es ampliamente utilizada para crear pequeños proyectos electrónicos interactivos. Esta placa está equipada con un microcontrolador ATmega328P y cuenta con una serie de pines de digitales y analógicos, lo que lo convierte en una herramienta versátil para la creación de proyectos electrónicos. El entorno de desarrollo Arduino IDE es utilizado para programar el Arduino Uno, lo que permite a los usuarios cargar y ejecutar su propio código en la placa. El Arduino Uno es conocido por

su facilidad de uso y su flexibilidad, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones, desde la robótica hasta la domótica y la automatización (Arduino, 2019).



Figura 21. Arduino uno

Fuente: (Arduino, 2019)

En la **Tabla 2** se presentan las principales características de la tarjeta Arduino uno.

Tabla 2. Características principales de la tarjeta Arduino uno

Característica de la tarjeta Arduino uno	
Voltaje de operación:	5 V DC
Pines digitales:	14
Pines PWM:	6
Pines de entradas analógicas	6
Corriente DC por cada pin I/O:	20 mA
Corriente DC en el pin de 3,3 V:	50 mA
Memoria flash:	32 kB
Memoria SRAM	2 kB
Memoria EEPROM:	1 kB
Velocidad de reloj:	16 MHz

Fuente: (Arduino, 2019)

4.3.1.2.2 *Arduino nano*

El Arduino Nano V3.0 Atmega es una placa electrónica de dimensiones reducidas que se fundamenta en el microprocesador ATmega328 (ver **Figura 22**). Carece de una toma de corriente externa, operando mediante un cable USB Mini-B (Arduino, 2019).

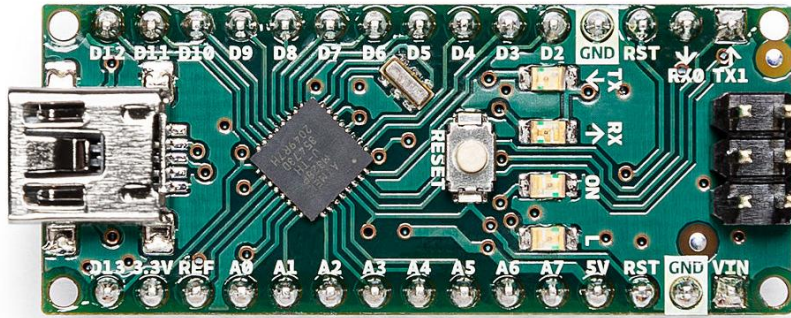


Figura 22. Arduino nano

Fuente: (Arduino, 2019)

Las especificaciones principales de esta placa se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino nano

Característica de la tarjeta Arduino uno	
Voltaje DC de operación:	5 V
Tensión DC de Entrada:	7-12 V
Pines digitales:	14
Pines PWM:	6
Pines de entradas analógicas	8
Corriente DC por cada pin I/O:	20 mA
Corriente DC en el pin de 3,3 V:	50 mA
Memoria flash:	32 kB
Memoria SRAM	2 kB
Memoria EEPROM:	1 kB
Arquitectura	AVR

Nota. Adaptado de: (Arduino, 2019)

4.3.1.2.3 *Raspberry Pi*

Los miniordenadores como Raspberry Pi utilizan sistemas operativos basados en Linux y tienen vínculos con el software de código abierto, aunque su hardware no sigue principios de código abierto. Además de funciones computacionales, incluyen características de electrónica y comunicación, permitiendo proyectos en electrónica y robótica con sensores y actuadores. Aunque los modelos más recientes tienen procesadores mejorados, su potencia es comparable a la de un smartphone moderno, no a un ordenador convencional (LLAMAS, 2017).

4.3.1.1 Transmisión de datos

4.3.1.1.1 *Módulo ESP8266*

El ESP8266 es un microcontrolador desarrollado por la empresa Espressif Systems que facilita la creación de soluciones autónomas de redes Wi-Fi, actuando como un puente entre

diferentes microcontroladores y permitiendo la ejecución de aplicaciones independientes. Este dispositivo viene en un pequeño paquete de fábrica, lo que dificulta realizar operaciones directas con él. Debido a esta razón, existen varias versiones (ver **Figura 23**), todas equipadas con el mismo procesador. Estas versiones se distinguen entre sí por el número de pines GPIO expuestos, la capacidad de memoria flash, las dimensiones y otras características de construcción (Granados, 2017).

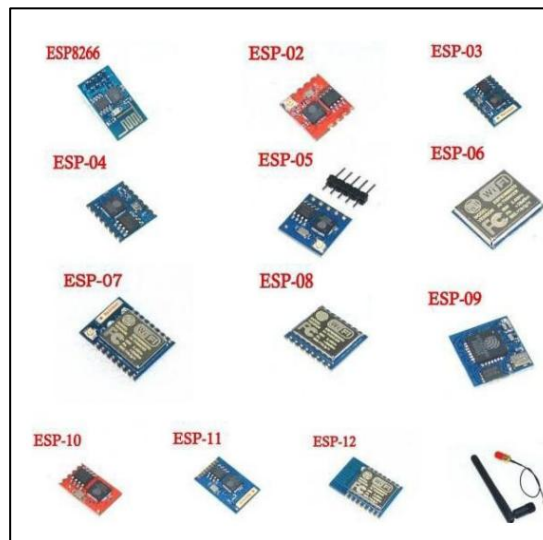


Figura 23. Variantes del ESP8266

Fuente: (Granados, 2017)

A continuación, en la **Tabla 4** se presentan las características de módulo ESP8266-01

Tabla 4. Características generales del ESP8266

Especificaciones generales del ESP8266	
Voltaje	3,3 V
Consumo de corriente	10 uA – 170 mA
Memoria flash	16 MB máx. (512 k normal)
Procesador	Tensilica L106 32 bit
Velocidad del procesador	80 – 160 MHz
GPIOs	17
Analógico a digital	1 entrada con 10 bits de resolución (1024 valores)
Soporte de 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r
Máximas conexiones simultáneas	5

Fuente: (Granados, 2017)

El procesador opera de manera predeterminada a una frecuencia de 80 MHz, pero tiene la capacidad de alcanzar hasta 160 MHz. Cuenta con aproximadamente 80 kB de RAM de datos (DRAM) y alrededor de 35 kB de RAM de instrucciones (IRAM). Durante el inicio, la IRAM se carga con la información que el usuario desea conservar en el procesador. Sin embargo, el procesador también puede ejecutar el código directamente desde la memoria flash externa a una velocidad inferior

Presenta una estructura de tipo Harvard, lo que significa que la CPU tiene la capacidad de leer una instrucción y acceder a la memoria de datos simultáneamente como se representa en la **Figura 24**, incluso sin la presencia de una caché. En consecuencia, la arquitectura de computadoras Harvard puede ser más eficiente en un circuito complejo, ya que la instrucción puede acceder a los datos sin competir por un único camino de memoria (Granados, 2017).

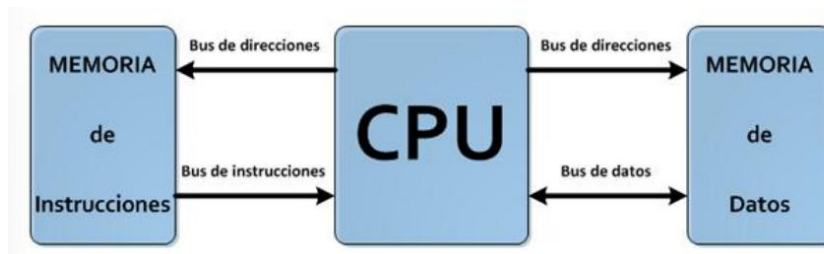


Figura 24. Arquitectura Harvard

Fuente: (Granados, 2017)

4.3.1.1.2 *ESP32*

Es un microcontrolador de la empresa Espressif Systems de bajo costo y bajo consumo, el cual incluye Wi-Fi y Bluetooth. Su microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de uno o dos núcleos opera a una frecuencia de 240 MHz. En su PCB incluye interruptores de antena, balun de RF, amplificador de frecuencia, filtros y módulos de administración de energía. Este dispositivo es ideal para proyectos con batería y aplicaciones IoT (Carmenate, 2021).

En la **Tabla 5** se presentan las características del módulo ESP32.

Tabla 5. Características técnicas del ESP32

Características del ESP32	
Microprocesador	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6
Wi-Fi	HT40
Voltaje de operación	5 V
Corriente de consumo	160 mA; Sueño profundo: <10 μ A
Bluetooth	Bluetooth 4.2 y BLE
Frecuencia	160 MHz
SRAM	448 KB
Flash	520 KB
GPIO	34
SPI	4
I2C	2
I2S	2
UART	2
ADC	12 bits de resolución
Sensor de efecto hall	Si
Temperatura de trabajo	-40°C to 125°C

Fuente: (Carmenate, 2021)

4.3.2 Fuente de alimentación autónomos

4.3.2.1 Paneles solares

Las células solares o paneles fotovoltaicos (**ver Figura 25**) desempeñan la función de convertir la energía proveniente de la radiación electromagnética del sol en energía eléctrica. Cuando esta radiación incide en el material semiconductor, se lleva a cabo la conversión a energía eléctrica en forma de corriente continua, lista para su uso inmediato, y también puede almacenarse en un banco de baterías mediante un sistema de control de cargas. Es relevante destacar que los paneles fotovoltaicos tienen la capacidad de absorber tanto la radiación directa como la difusa. En términos generales, estas células solares se utilizan comúnmente para aplicaciones como la generación de calefacción, la producción de agua caliente, o la generación de energía eléctrica, aprovechando la energía luminosa que el sol proporciona (Torres et al., 2018).



Figura 25. Células solares

Fuente: (SolInc, 2018)

4.3.2.2 Celdas solares autónomas

Las celdas solares fotovoltaicas autónomas operan de manera independiente de la red eléctrica, siendo capaces de suministrar energía a cualquier dispositivo eléctrico compatible por sí mismas. Estas células solares autónomas son frecuentemente empleadas en áreas con difícil acceso a la red eléctrica (Torres et al., 2018).

4.3.2.3 Tipos de paneles fotovoltaicos

Hay varios tipos diversos de paneles solares, pero los más frecuentes se describen a continuación:

- Paneles solares monocristalinos
- Paneles solares policristalinos
- Paneles solares de lámina fina.

En la **Figura 26** se presenta de manera gráfica ejemplos de estos tipos de paneles, así como también del panel de celda cuasi-monocristalina.

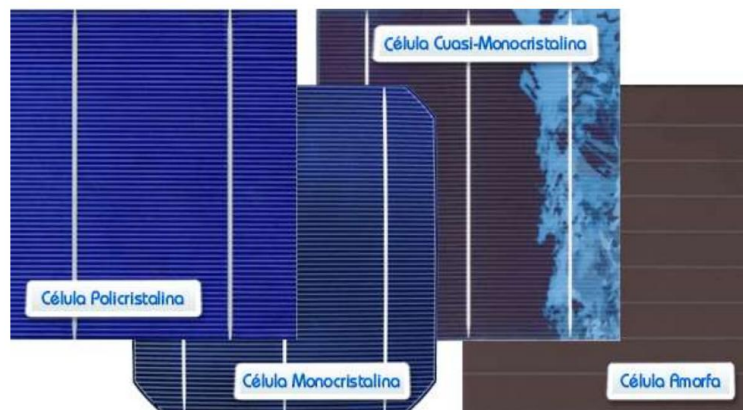


Figura 26. Diferentes tipos de células fotovoltaicas

Fuente: (Torres et al., 2018)

Los paneles monocristalinos sobresalen en el mercado debido a su reconocida eficiencia, siendo considerados los más eficientes entre todos los tipos de paneles solares. Esta eficiencia se debe a que los paneles monocristalinos de silicio son los más antiguos en su desarrollo y, además, han experimentado un notable progreso tecnológico a lo largo del tiempo.

Estos paneles suelen emplearse comúnmente en entornos comerciales o residenciales, así como en sistemas de paneles solares de menor escala.

Los paneles policristalinos se distinguen por tener un costo más accesible en comparación con otros tipos en el mercado, aunque presentan una eficiencia más baja. Están compuestos por múltiples cristales de silicio unidos entre sí, lo que resulta en una eficacia menor en comparación con los paneles monocristalinos. Estos paneles son fácilmente identificables por el color azul de sus celdas.

Los paneles de capa fina se diferencian al no estar contruidos con silicio, lo que resulta en una eficiencia relativamente baja. La utilidad de este tipo de paneles se centra en situaciones donde la demanda de energía eléctrica es baja, pero se valora en gran medida la flexibilidad y portabilidad (Torres et al., 2018).

4.3.2.4 Elementos del sistema de generación fotovoltaico

4.3.2.4.1 Baterías

La batería desempeña un papel fundamental en el sistema, siendo responsable de almacenar la electricidad generada por el módulo y suministrarla a los dispositivos según sea necesario (ver **Figura 27**). Está específicamente diseñada para su implementación en sistemas fotovoltaicos. La acumulación de energía sirve para almacenar y poseer una reserva del excedente producido durante el día para luego usarlo por la noche (Orbegozo y Arivilca, 2010).



Figura 27. Acumuladores de energía (baterías)

Fuente: (Energy, 2021)

Energy (2021) describe que las principales características de la batería son las siguientes:

- **Autodescarga:** se refiere al proceso en el que una batería tiende a descargarse incluso cuando no está en uso.
- **La profundidad de descarga,** cuando está completamente cargada, representa la cantidad de energía obtenida durante un ciclo de descarga.
- **La eficiencia de carga** se define como la relación entre la energía utilizada para recargar el acumulador y la energía almacenada.
- **La capacidad** se refiere a la intensidad de corriente obtenida de una descarga completa del acumulador eléctrico cuando está completamente

4.3.2.4.2 *Regulador de carga (controlador de carga)*

Orbegozo y Arivilca (2010) mencionan que la finalidad de este dispositivo es acoplar correctamente tanto el módulo solar, la batería y la carga como se muestra en la **Figura 28**. Por lo general cumple las siguientes funciones:

- Orienta la electricidad producida por los módulos fotovoltaicos hacia el destino final cuando el periodo de demanda de electricidad coincide con las horas de exposición solar.
- Permite recargar la batería.
- Sirve para proteger al módulo si se da un eventual flujo de corriente desde la batería.
- Protege la batería de sobrecargas y de descargas profundas.

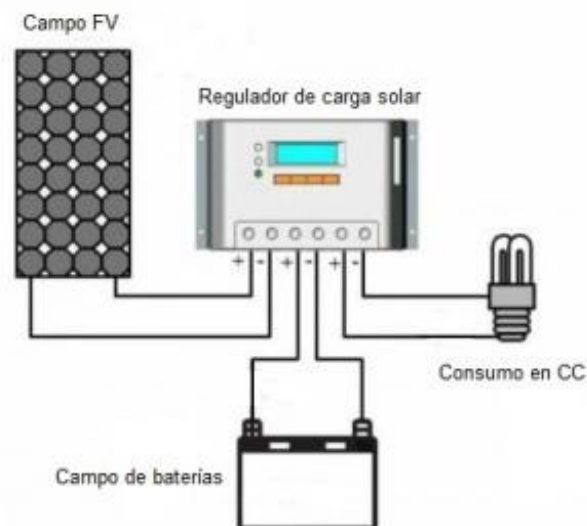


Figura 28. Regulador de carga

Fuente: (Orbegozo y Arivilca, 2010)

4.4 Capítulo 4: Internet de las cosas (IoT)

Muñoz (2019) afirma que el Internet de las Cosas (IoT) se describe como una red de objetos físicos que están interconectados a través de internet. Estos objetos tienen la capacidad

de interactuar mediante sistemas integrados, redes de comunicación, métodos de computación en segundo plano y aplicaciones alojadas en la nube. Esto permite que los objetos se comuniquen entre sí, accedan a información en línea, capturen, almacenen y recuperen datos, y mantengan interacciones con usuarios humanos, así como con otros sistemas y aplicaciones. Esto da lugar a entornos cada vez más conectados e inteligentes.

Así mismo menciona que en la actualidad, internet ya no se limita a ser un canal de comunicación exclusivamente entre personas, ya que es capaz de conectar una amplia variedad de dispositivos. Gracias a la Internet de las Cosas (IoT), es factible supervisar y registrar diversas actividades, recopilando información que, a través del análisis de datos utilizando la inteligencia artificial, permite tomar decisiones más acertadas basadas en datos precisos. En múltiples sectores, como la industria, el comercio, la manufactura y muchas otras áreas de interacción, el Internet de las Cosas está transformando la manera en que se llevan a cabo las tareas y se interactúa con el entorno.

4.4.1 Componentes del IoT

4.4.1.1 Sensores

Los sensores son dispositivos que tienen la capacidad de identificar una magnitud física y convertirla, habitualmente, en otra magnitud de naturaleza eléctrica, la cual puede ser cuantificada y manipulada. La función principal de estos dispositivos radica en la detección de cambios en el objeto bajo observación y en la transmisión de información acerca de su estado actual o de cualquier modificación que se presente. En el mercado, se encuentran diversos tipos de sensores como se indica en la **Figura 29**, cada uno diseñado para medir un tipo específico de variable, ya sea de contacto, óptica, térmica, de humedad, magnética, infrarrojo, entre otros (Muñoz, 2019)

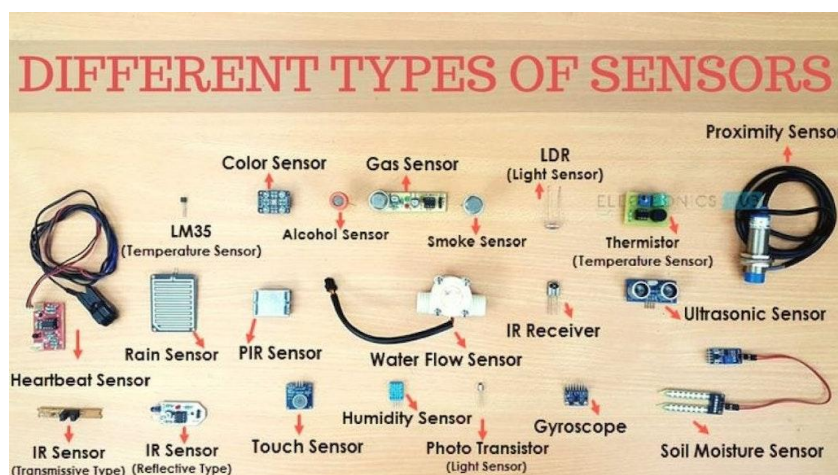


Figura 29. Tipos de sensores

Fuente: (Maloy, 2020)

4.4.1.2 Características de los sensores

La característica de los sensores son parámetros que se deben considerar al momento de determinar el tipo de sensor a utilizar en aplicaciones relacionadas con el internet de las cosas. En la **Tabla 6** se presentan las características a considerar (Muñoz, 2019).

Tabla 6. Características de los sensores

1	Sensibilidad	11	Selectividad
2	Rango	12	Condiciones ambientales
3	Precisión	13	Sobrecarga
4	Resolución	14	Banda muerta
5	Desvío	15	Vida útil
6	Linealidad	16	Formato de salida
7	Linealidad dinámica	17	Costo
8	Histéresis	18	Tamaño
9	Tiempo de respuesta	19	Peso
10	Estabilidad	20	Fuente de alimentación

Fuente: (Muñoz, 2019)

A continuación, se describen algunas de las características más importantes:

- **Sensibilidad:** indica la cantidad mínima del parámetro físico que, al ser detectada, generará un cambio de salida apropiado y detectable, acorde con la respuesta esperada.
- **Rango:** abarca los valores máximos y mínimos del parámetro que puede ser medido.
- **Precisión:** se relaciona con el grado de reproductibilidad de una medida.
- **Resolución:** representa el menor cambio incremental en la magnitud de entrada que puede ser detectado y que se refleja en la magnitud de salida.

4.4.1.3 Actuadores

Un actuador es un mecanismo que tiene la capacidad de convertir energía hidráulica, neumática o eléctrica con el propósito de iniciar un proceso para producir un efecto en un componente externo. Este dispositivo recibe instrucciones de un controlador, un regulador o de una plataforma, y en respuesta a estas órdenes activa un elemento final de control, como una válvula, un ventilador, un sistema de riego, entre otros (Muñoz, 2019).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de los tipos de actuadores.

- Electrónicos
- Hidráulicos
- Neumático
- Eléctricos

4.4.2 *La computación en la nube*

La nube informática es un enfoque que facilita la disponibilidad de un conjunto compartido de recursos informáticos personalizables, lo que permite a los usuarios aprovechar todas las tecnologías disponibles sin requerir un profundo conocimiento o experiencia en cada una de ellas. La computación en la nube proporciona la solución perfecta para gestionar volúmenes masivos de datos y su procesamiento en tiempo real para una cantidad sin precedentes de dispositivos IoT y personas (Salazar y Silvestre, 2017).

4.4.3 *Plataformas de internet de las cosas*

Existen algunas plataformas de código abierto para internet de las cosas, las cuales se presentan a continuación:

- **Kaa IoT Platform:**

Es una plataforma integral de Internet de las cosas (IoT) aplicable a proyectos empresariales de cualquier envergadura. Ofrece una variedad de características que habilitan a los desarrolladores para crear aplicaciones avanzadas destinadas a productos inteligentes. Además, posibilita la gestión flexible de dispositivos conectados a través de la nube, la organización del procesamiento de datos de extremo a extremo y el análisis de la telemetría de los dispositivos (Espinosa et al., 2021).

- **OpenIoT:**

Es una colaboración conjunta de destacados colaboradores de código abierto con el objetivo de facilitar una nueva categoría de aplicaciones inteligentes de IoT a gran escala, conforme a un modelo de provisión de servicios de computación en la nube. Se considera a OpenIoT como una evolución natural de las implementaciones de computación en la nube, brindando acceso a recursos y capacidades adicionales y cada vez más significativos basados en IoT (Espinosa et al., 2021).

- **ThingSpeak:**

ThingSpeak es un servicio de análisis de Internet de las cosas (IoT) que posibilita la recopilación, visualización y análisis de flujos de datos en tiempo real en la nube. La plataforma permite la transmisión de datos desde sus dispositivos hacia ThingSpeak™, facilitando la creación de representaciones visuales inmediatas de datos en vivo y la configuración de alertas mediante servicios web como Twitter® y Twilio®. Aprovechando el análisis MATLAB® integrado en ThingSpeak, es posible redactar y ejecutar código MATLAB para llevar a cabo tareas de preprocesamiento, visualización y análisis de datos. ThingSpeak elimina la necesidad de configurar servidores o

desarrollar software web al permitir prototipar y construir sistemas de IoT de manera más sencilla, además ThingSpeak está disponible como un servicio gratuito para proyectos pequeños no comerciales (MathWorks, s. f.).

4.4.3.1 Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación tienen como función principal facilitar el intercambio de información entre los dispositivos y los PLC, en ambas direcciones. A continuación, se presentan los principales protocolos de comunicación:

➤ Protocolo HTTP

El Protocolo de transferencia de hipertexto es un protocolo cliente-servidor simple que coordina el intercambio de información entre clientes web y servidores HTTP. HTTP se basa en operaciones simples de solicitud/respuesta. El cliente establece una conexión con el servidor y envía un mensaje que contiene los datos solicitados. El servidor responde con un mensaje similar que contiene el estado de la operación y su posible resultado (Tim Berners-Lee, 2010).

➤ Protocolo MQTT

Cuando se emite un mensaje, este es captado por todos los dispositivos vinculados a un tema específico dentro del protocolo. Por este motivo, el MQTT (transporte de telemetría de mensajes) constituye un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor que se fundamenta en el concepto de publicación y suscripción a entidades denominadas "tópicos" (Cuero et al., 2021).

➤ Protocolo OPC/ OPC UA

Este protocolo se caracteriza por adoptar una arquitectura de cliente-servidor, posibilitando una comunicación ininterrumpida desde los sensores y actuadores hasta un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) o incluso la infraestructura en la nube. La disposición cliente-servidor facilita la transferencia constante de datos entre los dispositivos periféricos y el sistema central, ya sea en un entorno empresarial o en la nube, permitiendo un flujo eficiente y continuo de información (Cuero et al., 2021).

➤ Protocolo TCP/IP

Se trata de un protocolo de transporte cuya función principal consiste en gestionar conversaciones individuales, permitiendo que los dispositivos envíen y reciban información de manera efectiva. Además, se refiere a dos protocolos de red que operan en niveles o capas diferentes (Ver **Figura 30**) y que son esenciales para lo que actualmente se denomina red de intercambio de paquetes (Castillo, 2020).

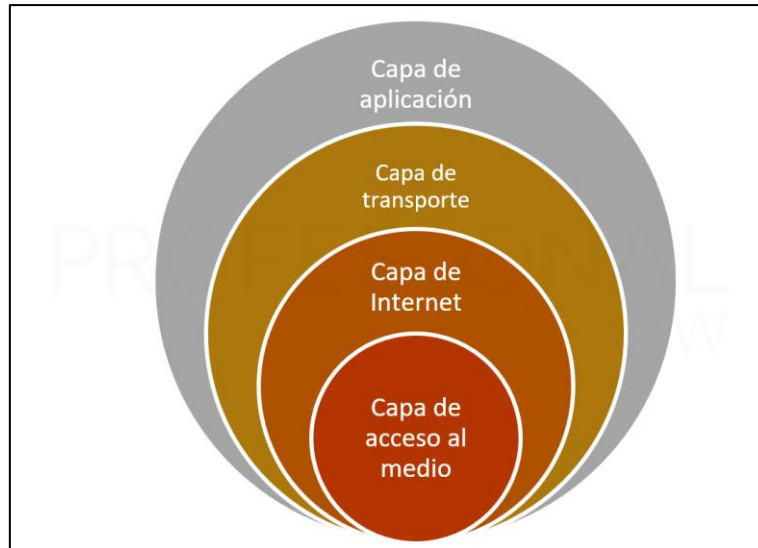


Figura 30. Capas de la comunicación mediante el protocolo TCP/IP

Fuente: (Castillo, 2020)

4.4.4 Hardware

En la actualidad, el mercado ofrece una amplia variedad de dispositivos y placas de desarrollo, entre los cuales destacan la Raspberry Pi y Arduino como algunas de las más populares en diversos entornos. La Raspberry Pi se asemeja a un ordenador completo, dotada de recursos suficientemente potentes para llevar a cabo tareas básicas como la programación y compilación de programas internamente. Por otro lado, Arduino constituye una plataforma de hardware y software de código abierto (Espinosa et al., 2021).

En la **Tabla 7** se presentan la comparación de las diferentes características de estos dos dispositivos.

Tabla 7. Plataforma de hardware

Plataforma	Raspberry Pi 3 Model B+	Arduino uno
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A5364-bit SoC @ 1.4GHz	Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby
Voltaje	5 voltios	5 voltios
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM	2 KB (ATmega328)
Soporte de Comunicación	IEEE 802.11b/g/n, IEEE802.15.4,433RF, Ethernet,Serial	IEEE 802.11b/g/n, IEEE802.15.4,433RF, BLE 4.0, Ethernet,Serial
Entorno de desarrollo	NOOBS	Arduino IDE
Lenguaje de Programación	Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby	C, Processing

Fuente: (Espinosa et al., 2021)

En la **Tabla 8** se presenta un cuadro comparativo de las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica con diferentes parámetros de cada una de ellas.

Tabla 8. Tecnologías de comunicación IoT

	Wi-Fi	Zigbee	Bluetooth	LoRa
Estándar	IEEE802.11a/c/b/d/g/n	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	LoRaWAN TS1-1.0.4
Frecuencia	6 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	868 MHz
Velocidad	600 a 9608 Mbit / s	250 kbit / s	2 y 3 Mbit / s	250bps a 5,5 kbps
Rango	20 a 100 m	10 a 20 m	Menos de 10 m	10 km +
Consumo	Alto	Bajo	Medio	Muy bajo
Seguridad	WEP, WPA, WPA2	128 bits	128 bits	AES
Costo	Alto	Bajo	Bajo	Alto

Fuente: (Espinosa et al., 2021)

5. Metodología

5.1 Área de trabajo

El desarrollo del proyecto de investigación se efectúa en el centro de investigación I2TEC ubicado en la facultad de Energía Industria y Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja. La aplicación del prototipo se valida en el río Malacatos de la ciudad de Loja, como se observa en la **Figura 31**, con las siguientes coordenadas geográficas 4°1'4.185" S ; 79°11'58.644" O

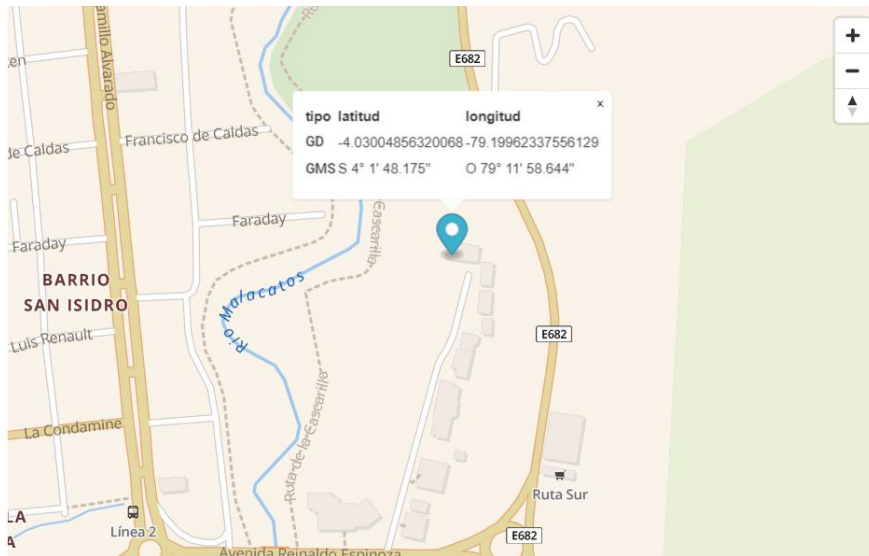


Figura 31. Ubicación geográfica del proyecto

5.2 Equipos y materiales

5.2.1 Softwares

- Word
- Inventor 2024
- Excel

5.2.2 Páginas web

- ThingSpeak

5.2.3 Equipos

- Laptop
- Panel fotovoltaico
- Controlador de carga

5.2.4 Equipos electrónicos

En la **Tabla 9** se especifican los equipos electrónicos a emplear en la construcción del prototipo.

Tabla 9. Equipos electrónicos para la construcción del prototipo

Cantidad	Descripción
1	Arduino uno
1	Sensor Ultrasónico HC-SR04
1	Módulo ESP32
1	Convertidor DC-DC Lm2596
1	Batería de 12 V

5.2.5 *Materiales*

En la **Tabla 10** se detallan los materiales para la construcción de la parte estructural del prototipo.

Tabla 10. Materiales para la estructura del equipo

Cantidad	Descripción
1	Tubo estructural de rectangular 50x25x2 mm
1	Placa metálica de 10x10x3 mm
1	Caja de tornillos autoperforantes

5.3 **Procedimiento**

Para el desarrollo de este proyecto, se efectúa una revisión técnica de los métodos existentes para la medición del caudal en los cauces naturales. En este contexto, se procede a la identificación del método más adecuado para la medición, optando por la implementación de un sensor ultrasónico. También se aborda detalladamente el dimensionamiento del sistema de alimentación autónomo, garantizando su eficiencia y autonomía. Además, se selecciona un mecanismo eficaz para la transmisión de los datos en tiempo real hacia una plataforma IoT.

Uno de los propósitos fundamentales de esta investigación es la obtención de un prototipo que sea funcional y de bajo costo. Cada fase del proyecto se llevará a cabo con la premisa de lograr un equilibrio entre la eficacia técnica, la autonomía operativa y la viabilidad económica, contribuyendo así al desarrollo de una solución integral y de bajo coste.

5.3.1 *Análisis de metodologías de medición de caudales hídricos*

Para el desarrollo del primer objetivo se efectuaron actividades de investigación y revisión bibliográfica de las generalidades en la medición de caudal, así como también las diferentes formas en la que se puede medir en cauces naturales o ríos y de las variables a

considerar para cada uno de estos métodos. En la **Figura 32** se expone la secuencia metodológica para dar cumplimiento al objetivo planteado.

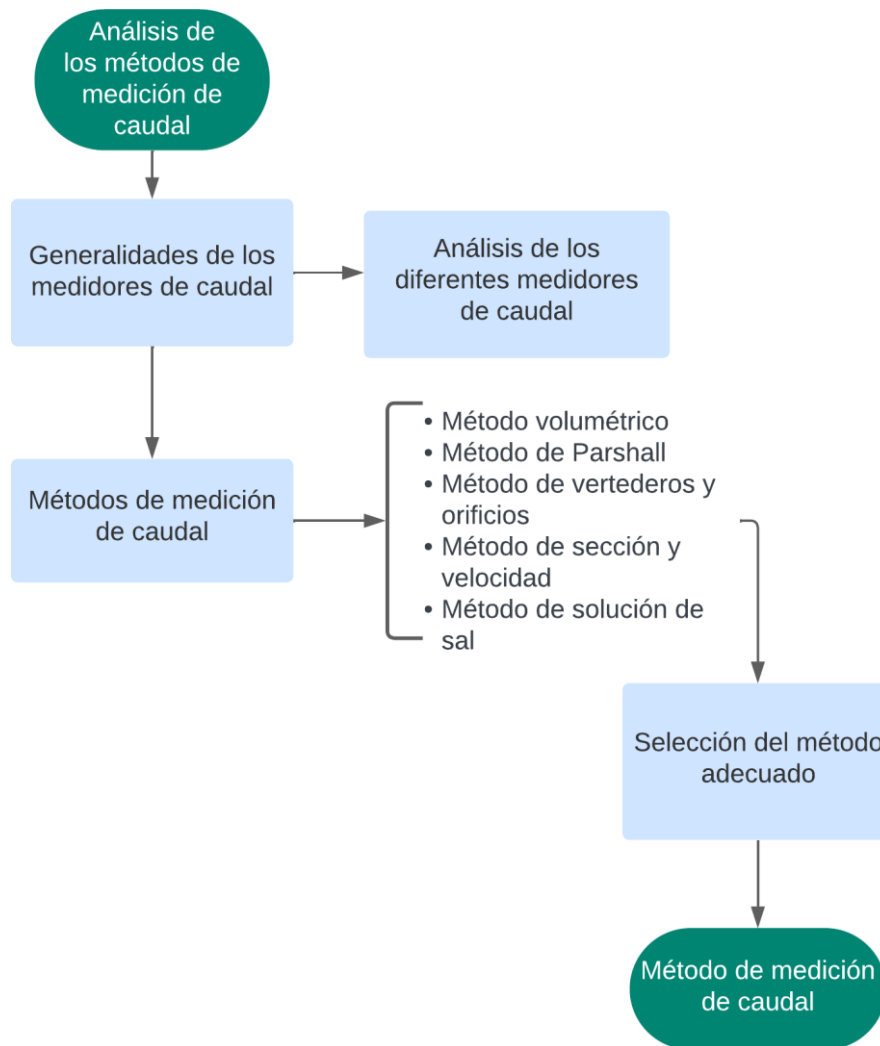


Figura 32. Metodología utilizada para el análisis de los métodos de medición

5.3.2 *Diseño y construcción del prototipo*

Para alcanzar el segundo objetivo se sigue las recomendaciones detalladas en la literatura técnica relacionada con la hidrometría. En este proceso, se realiza la identificación de los materiales apropiados para la construcción del prototipo, se determina la fuente de alimentación autónoma a implementar y se establece el método para monitorear los datos de manera remota y en tiempo real.

La **Figura 33** expone las actividades preliminares que preceden al diseño y la construcción del prototipo.

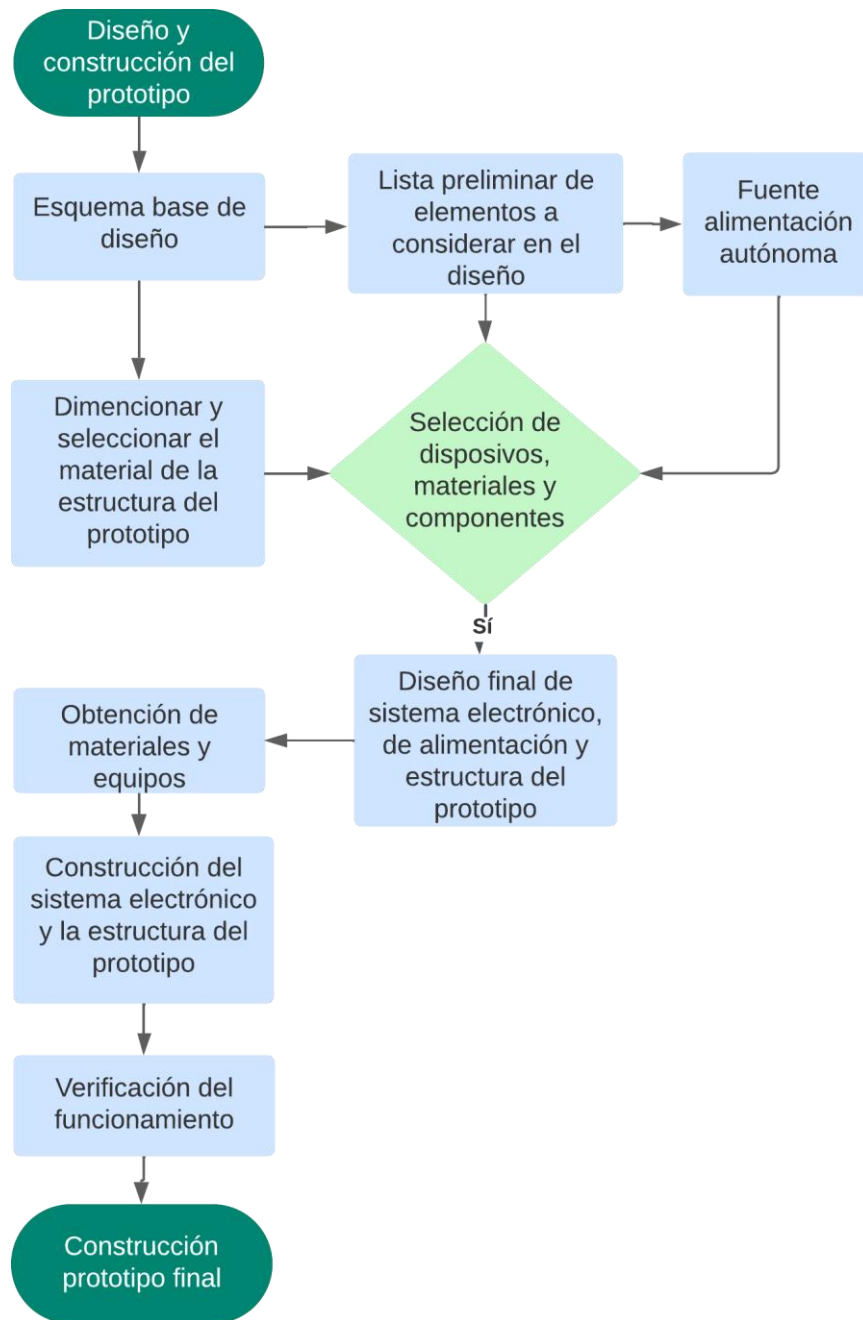


Figura 33. Metodología utilizada para el diseño y construcción del prototipo

5.3.3 Validación del prototipo

Con el propósito de alcanzar el tercer objetivo de la investigación se implementó la metodología descrita en la **Figura 34**, en donde se proporciona un desglose detallado de las actividades llevadas a cabo para demostrar la viabilidad y aplicabilidad del prototipo construido.

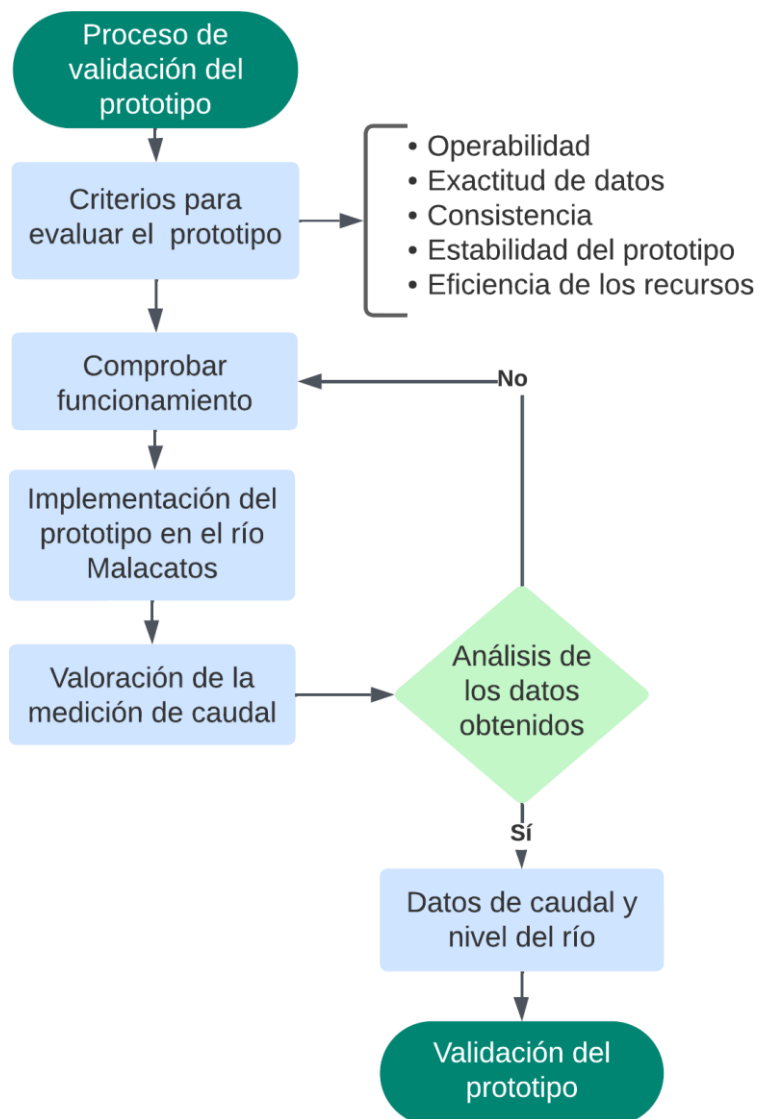


Figura 34. Metodología utilizada para la validación del prototipo en el río Malacatos

5.4 Procesamiento y análisis de datos

5.4.1 Determinación del método de medición de caudal a implementar

Para designar el método más adecuado para la medición de caudal mediante un sensor ultrasónico se necesita cubrir necesidades como la exactitud, supervisión, mantenimiento, coste y cantidad de caudal que se puede medir con cada método; como se muestra en la **Tabla 12**, el valor de los criterios se rige según la **Tabla 11**:

Tabla 11. Valoración

Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
1	2	3	4

Tabla 12. Matriz para la selección del método de medición de caudal

Método Criterio	Volumétrico	Parshall	Vertederos y orificios	Sección y velocidad	Solución de sal
Exactitud	3	2	3	2	3
Supervisión	4	4	4	4	4
Mantenimiento	1	2	2	2	1
Coste	1	4	4	2	2
Caudal	1	2	3	4	2

Después de evaluar las diversas opciones de medición de caudal y analizar sus ventajas y desventajas, se selecciona el método de vertederos y orificios, centrándose especialmente en la variante del vertedero rectangular de pared gruesa. La decisión se basa a la factibilidad de encontrar estructuras casi similares en el río Malacatos y poderlas acoplar para el monitoreo de caudal por este método, facilitando la medición mediante la implementación de un sensor ultrasónico.

5.4.2 *Diseño, dimensionamiento de los componentes para construir prototipo*

5.4.2.1 **Principio de funcionamiento**

El funcionamiento del prototipo se basa en la medición del nivel del vertedero mediante un sensor ultrasónico, luego este dato se procesa mediante un algoritmo de cálculo implementado en el microcontrolador y la información se envía a una interfaz IoT para la visualización de los datos en tiempo real. En la **Figura 35** se presenta el diagrama de bloques del prototipo propuesto.

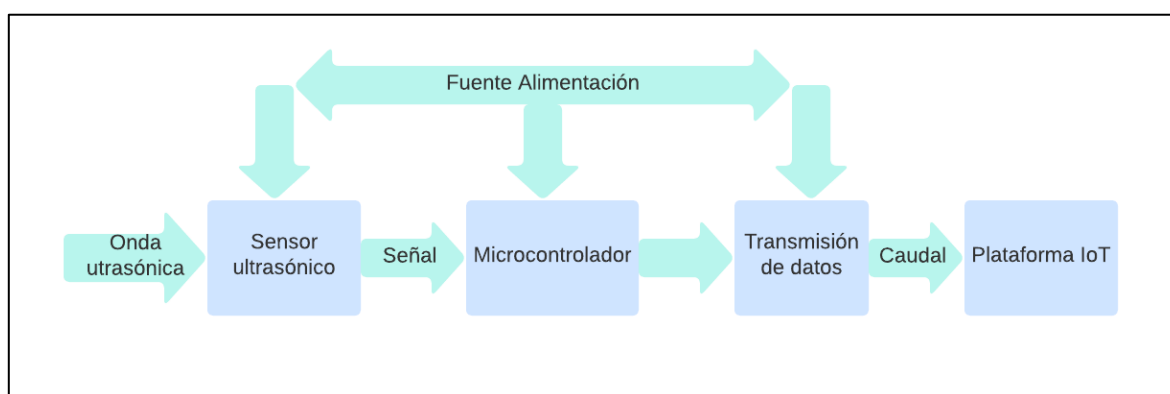


Figura 35. Diagrama de bloques del prototipo

5.4.2.2 **Sensor ultrasónico**

El sensor ultrasónico a emplear en este prototipo es el HC-SR04, el cual es de muy bajo costo y tiene un rango de medición de 2 a 450 cm.

Para determinar la distancia mediante un sensor ultrasónico se parte a partir de la **ecuación 14** (Hellbot, 2020).

$$v = \frac{d}{t} \quad (14)$$

Donde:

v = Velocidad del sonido [m/s]

d = Distancia [m]

t = Tiempo en [s]

Considerando que la velocidad del sonido es de 343 m/s y el módulo recibe el pulso con una duración de 10 μ s con una frecuencia de 40 kHz, se obtiene el siguiente resultado

$$v = 343 \frac{m}{s} = 0,0343 \frac{cm}{\mu s}$$

De la **ecuación 14** despejando la distancia tenemos:

$$d = v \times t = 0,0343 \times t$$

Considerando que la onda de sonido recorre ida y vuelta se tiene que dividir para 2, obteniendo como resultado la **ecuación 15** para determinar la distancia del sensor en cm:

$$d = 0,01715 \times t \quad (15)$$

5.4.2.3 Microcontrolador

Para llevar a cabo el control y procesamiento de datos, se dispone de diversas placas con la capacidad de realizar estas funciones. Por lo que en la **Tabla 13** se presenta la valoración de tres principales placas que se podrían emplear, la valoración para seleccionar la placa que se adapte a los requerimientos se expone en la **Tabla 11**.

Tabla 13. Tabla de valoración para la selección del microcontrolador

Microcontrolador	Arduino nano	Raspberry Pi	ESP32
Característica			
Costo	1	4	2
Accesibilidad	4	2	4
Tamaño	1	2	1
Consumo de energía	1	4	2
Conectividad	1	4	4
Potencia de procesamiento	2	4	3

En este contexto, destacado por su tamaño compacto y diseño eficiente, así como por ser una opción económicamente viable, se selecciona un ESP32. Esta elección se fundamenta en su costo en comparación con alternativas como el Arduino y la Raspberry Pi. Además, el

ESP32 se encuentra fácilmente disponible en el mercado local y cuenta con una interfaz intuitiva que simplifica la programación a través del Arduino IDE. La eficiencia con la que esta tarjeta se integra con el diseño específico en consideración fundamenta la elección, y su capacidad de conectividad Wi-Fi incorporada la hace especialmente adecuada para el prototipo propuesto.

5.4.2.4 Transmisión de datos

Considerando que el prototipo estará ubicado dentro del alcance de una red Wi-Fi conocida, y el microcontrolador seleccionado ya está equipado con esta capacidad de conexión, además de que el ESP32 se utilizará también para el envío de datos.

La plataforma IoT seleccionada para el monitoreo y almacenamiento de datos es ThingSpeak debido a que esta es muy intuitiva y fácil de operar, además permite el almacenamiento de una gran cantidad de datos en la nube de forma gratuita.

5.4.2.5 Diseño del sistema de medición con el sensor ultrasónico

El diseño del medidor de caudal consta de varios procesos que incluyen una fuente de alimentación autónoma, la adquisición de datos mediante un sensor ultrasónico, el ESP32 examina y procesa los datos, por último, los datos de caudal y nivel se envían hacia una plataforma IoT para la visualización de los mismos (**Ver Figura 36**).

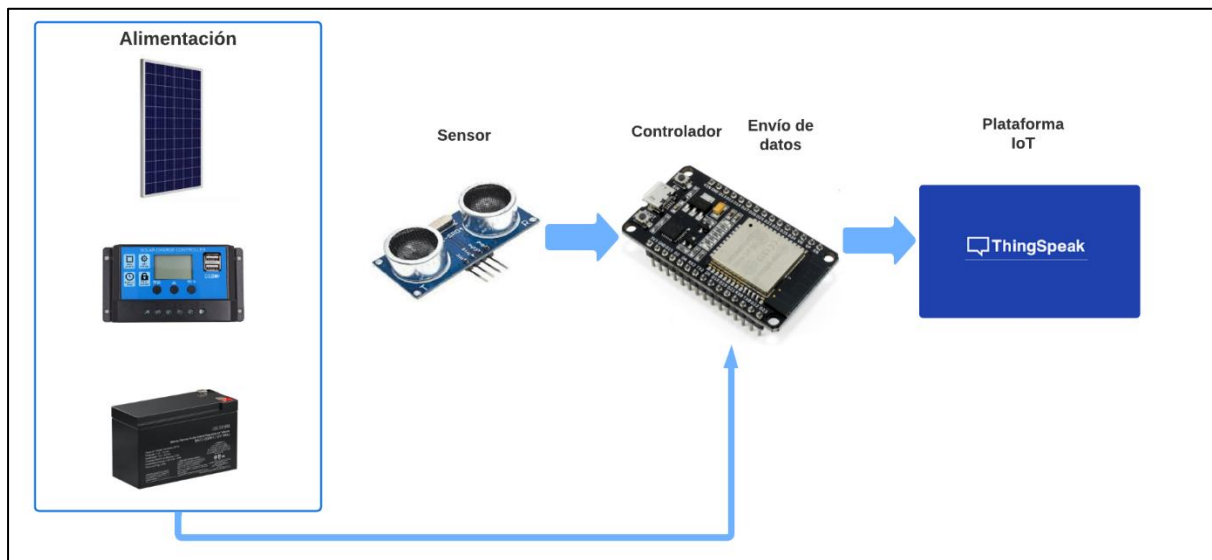


Figura 36. Elementos a utilizar en el prototipo

5.4.2.6 Dimensionamiento de sistema de alimentación

5.4.2.6.1 *Estimación de consumo*

Con el propósito de garantizar el sistema de suministro eléctrico, resulta fundamental realizar la estimación de la potencia nominal asociada a cada componente del sistema. En la **Tabla 9** se proporciona un desglose detallado de los dispositivos electrónicos empleados. La

determinación de la demanda total de energía consumida por todos los dispositivos se realiza mediante la aplicación de la **ecuación 16**.

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_B} + \frac{E_{AC}}{\eta_B \times \eta_I} \quad (16)$$

Donde:

E_T = Energía total requerida por el sistema en [Wh]

E_{DC} = Energía requerida en DC en [Wh]

E_{AC} = Energía requerida en AC en [Wh]

η_B = Rendimiento de la batería

η_I = Rendimiento del inversor

Para determinar la energía requerida se hace uso de las **ecuaciones 17 y 18** respectivamente:

$$P = V_o \times I \quad (17)$$

$$E = P \times t \quad (18)$$

Donde:

P = Potencia nominal en [W]

V_o = Voltaje de operación en [V]

I = Corriente de consumo en [A]

E = Energía consumida en [Wh]

t = Tiempo de operación en [h]

La **Tabla 14** presenta tanto el consumo de energía individual de cada dispositivo como la energía total consumida en un día.

Tabla 14. Consumo de energía de los dispositivos DC

Dispositivo	Voltaje de operación V	Corriente de consumo A	Potencia nominal W	Tiempo de operación h	Energía Diaria Wh
ESP32	5	0,16	0,8	24	19,2
Lm2596	18,2	0,02	0,364	24	8,73
HC-SR04	5	0,015	0,075	24	1,8
Total					29,73

El prototipo demandaría un consumo diario de energía en corriente continua (DC) de 29,73 W/h/día. Para determinar la energía efectiva necesaria, se considera el rendimiento de la batería, cuyo valor es de 0,9. En cuanto al consumo en corriente alterna (AC), este es nulo dado que no hay cargas conectadas en AC. Utilizando la **Ecuación 16**, se calcula la energía real requerida por el sistema, obteniendo el siguiente resultado:

$$E_T = \frac{29,7}{0,9} + 0 = 33,03 \text{ Wh/día}$$

A partir del consumo diario del sistema, se calcula los parámetros del sistema fotovoltaico, siendo necesario determinar el horario solar pico (HPS). Se consideran los valores de irradiación, cuyos valores se exponen en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Insolación global de la ciudad de Loja

Mes	Insolación difusa (W/m ² /día)	Insolación directa (W/m ² /día)	Insolación global (W/m ² /día)
Enero	2900	2100	4350
Febrero	2900	2400	4500
Marzo	2900	2100	4500
Abril	2600	2400	4200
Mayo	2200	3000	4350
Junio	2000	3300	4300
Julio	2100	3600	4650
Agosto	2300	3600	4500
Septiembre	2400	3600	5100
Octubre	2600	3300	5100
Noviembre	2500	3900	5250
Diciembre	2600	3600	5250
Promedio anual	2500	3075	4671

Nota. Adaptado de: Atlas solar del Ecuador, Conelec. (CONELEC, 2008)

El cálculo del Horario Solar Pico (HSP) se obtiene dividiendo la irradiación global promedio anual de 4671 W/m²/día entre la irradiación solar constante de 1000 W/m², resultando en un valor de 4,671 horas diarias.

5.4.2.6.2 *Inclinación óptima*

La determinación de la inclinación del módulo fotovoltaico se determina considerando las coordenadas geográficas del lugar de implementación. En el caso específico de la ciudad de Loja, estas coordenadas se describen a continuación:

- Latitud: 04° 30' 38" S; Longitud: 79° 05' 58" O

En la **Tabla 16** se expone el ángulo de inclinación a tomar para el panel fotovoltaico.

Tabla 16. Ángulo de inclinación

Consumo estacional	Ángulo de inclinación óptima
Consumo constante	Igual a la latitud
Consumo en invierno	Igual a la latitud más 15 grados
Consumo en verano	Igual a la latitud menos 15 grados

Nota. Adaptado de: (CONELEC, 2008)

Para asegurar un suministro de energía constante durante los meses menos favorables, se sugiere cumplir con la condición de añadir 10° a la latitud del lugar. Siendo necesario elevar la inclinación de 15° para facilitar la operación y mantenimiento del panel fotovoltaico. Este criterio garantiza el correcto funcionamiento de la instalación, considerando la relación entre el consumo y la radiación máxima (CONELEC, 2008).

5.4.2.6.3 *Dimensionamiento del panel fotovoltaico*

Para el generador fotovoltaico, después de conocer la demanda energética de la carga establecida, se incorpora un margen total del 20% para contemplar posibles pérdidas del sistema en situaciones de nubosidad o deficiencia de radiación solar en la ubicación donde se instalará el prototipo. La demanda total se establece considerando la **ecuación 19**, obteniendo los siguientes resultados:

$$D_t = S \times E_T \quad (19)$$

Donde:

D_t = Demanda total del sistema Wh

S = Pérdidas del sistema

E_T = Consumo diario Wh

$$D_t = 1,2 \times 33,03 = 39,64 \text{ Wh}$$

Una vez que se dispone de la información sobre la demanda y la insolación media anual, es posible determinar la energía diaria consumida para cubrir la demanda proyectada aplicando la **ecuación 20**.

$$P_C = \frac{D_t}{H_{sp}} \quad (20)$$

Donde:

P_C = Potencia consumida pico en [W]

D_t = Demanda total del sistema [Wh]

H_{sp} = Hora solar pico [h]

$$P_C = \frac{39,64 \text{ Wh}}{4,671 \text{ h}} = 8,48 \text{ W}$$

Por lo expuesto, se selecciona un módulo aproximado comercial de 10 W (ver **Figura 37**).



Figura 37. Panel fotovoltaico monocristalino

En la **Tabla 17** se presentan las características principales que presenta este módulo fotovoltaico.

Tabla 17. Característica del módulo FV de 10 W

Características	
Máxima potencia (Pm):	10 W
Voltaje de máxima potencia (Vm):	18,2 V
Corriente de máxima potencia (Im)	0,53 A
Voltaje de circuito abierto (Voc):	22,3 V
Corriente de corto circuito (Isc):	0,63 A
Voltaje máximo del sistema:	1000 V
Tolerancia:	3 %

Fuente: Autor

5.4.2.6.4 Batería

Se determina la capacidad requerida de las baterías para garantizar una autonomía de 24 horas diarias en circunstancias muy desfavorables mediante la **expresión 21**.

$$A_h = \frac{D_t \times N}{DoD \times V_s} \quad (21)$$

Donde:

A_h = Intensidad necesaria en [A]

D_t = Demanda total del sistema

N = Autonomía de la batería en días

DoD = Profundidad máxima de descarga de la batería 0,5

V_s = Voltaje con el que el sistema trabaja 12 [V]

Considerando que la batería disponga de una autonomía máxima de un día y que la profundidad de descarga no supere el 50% tenemos:

$$A_h = \frac{39,64 \times 1}{0,5 \times 12} = 6,6 \text{ A}$$

Esta especificación indica la necesidad de una capacidad mayor en la batería; en consecuencia, se hace necesario disponer de una batería de mayor amperaje, seleccionando una batería de litio de 12 V y 9600 mA (ver **Figura 38**).



Figura 38. Batería de litio recargable de 9600 mA

Esta batería cuenta con una capacidad mayor a la requerida por el prototipo, y proporciona una autonomía superior a 1 día, valores que se obtienen al aplicar la **Ecuación 17**.

$$N = \frac{A_h \times DoD \times V_s}{D_t}$$

$$N = \frac{9,6 \times 0,5 \times 12}{39,64} = 1,45 \text{ días}$$

La **ecuación 17** permite definir una autonomía de la batería de 1,45 días con una descarga del 50%.

5.4.2.6.5 *Controlador de carga*

Para seleccionar el controlador de carga es necesario conocer el valor de la corriente máxima de cortocircuito del generador fotovoltaico; el módulo elegido posee una corriente de 0,63 A, por tanto, el controlador debe de poseer una tolerancia mayor para evitar sobrecargas en la batería, para determinar este valor se emplea **ecuación 22**.

$$R = I_{sc} \times n \tag{22}$$

Donde:

R = Regulador de carga

I_{sc} = Intensidad de cortocircuito del módulo FV [A]

n = número de baterías

$$R = 0,63 \times 1 = 0,63 A$$

Es necesario que el controlador de carga tenga una capacidad de carga superior para evitar intensidades elevadas hacia el panel, se opta por seleccionar un controlador comercial de 10 A (ver **Figura 39**).



Figura 39. Controlador solar de 12/24 V de 10 A

En la **Tabla 18** se presentan las características principales que presenta el acumulador seleccionado.

Tabla 18. Características del regulador de carga

Características	
Tensión nominal	12 /24 V
Corriente de trabajo	10 A
Voltaje máximo PV	50 V
Potencia máxima de entrada de PV	(12 V/130 W) y (24 V/260 W)

Fuente: Autor

5.4.2.7 Diseño de la estructura del prototipo

5.4.2.7.1 Selección del material de contracción del prototipo

Para el diseño y construcción de la estructura del prototipo se selecciona acero estructural rectangular de 25x50x2 mm, con las especificaciones que se muestran en la **Figura 40**. Las características adicionales de este material se muestran en el **Anexo 1**.

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 3,00mm

Figura 40. Especificaciones generales del tubo estructural rectangular

Fuente: (DIPAC, 2022)

5.4.2.7.2 *Diseño de la estructura metálica*

En la **Figura 41** se muestra un esquema de la estructura propuesta, la cual consta de las siguientes dimensiones, 60 cm de largo y 25 cm de alto, este diseño preliminar se adaptó de la investigación denominada “Una plataforma escalable de monitoreo del nivel de los ríos basada en IoT”.

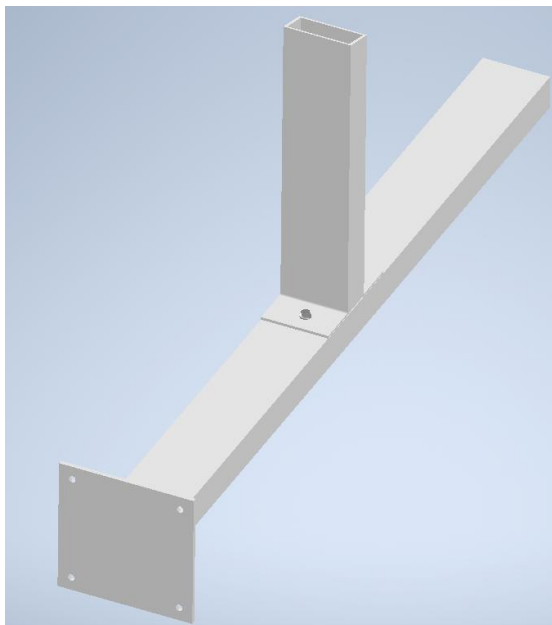


Figura 41. Diseño preliminar de la parte estructural del prototipo

Fuente. Adaptado de (Acosta et al., 2022)

5.4.2.8 Selección de la caja de control

En el mercado, se encuentran diversos tipos de cajas de control, por lo que en la **Tabla 19** se detallan las características clave de los tableros metálicos y de plástico. Esto facilitará la toma de decisiones para determinar cuál es más adecuada. La evaluación se lleva a cabo conforme a los criterios presentados en la **Tabla 11**.

Tabla 19. Tabla para la selección del tipo de tablero de control

Tipos	Caja metálica	Caja plástica
Características		
Costo	4	1
Durabilidad	4	4
Peso	3	1
Grado de protección IP	4	4

Dado que el prototipo estará situado en el exterior y se busca una caja de bajo costo y peso reducido, se ha optado por la caja Plexo Legran con un grado de protección IP55 (resistente al polvo y agua), cuyas dimensiones son 18x14 cm (ver **Figura 42**). Esta elección se basa en la disponibilidad de este producto en el mercado local.



Figura 42. Caja Plexo Legran de 180x140x86 mm, IP55

5.4.2.8.1 *Diseño del sistema electrónico*

En la **Figura 43** se muestra el esquema del diseño electrónico y la conexión de los diferentes elementos que se emplean en la construcción del prototipo.

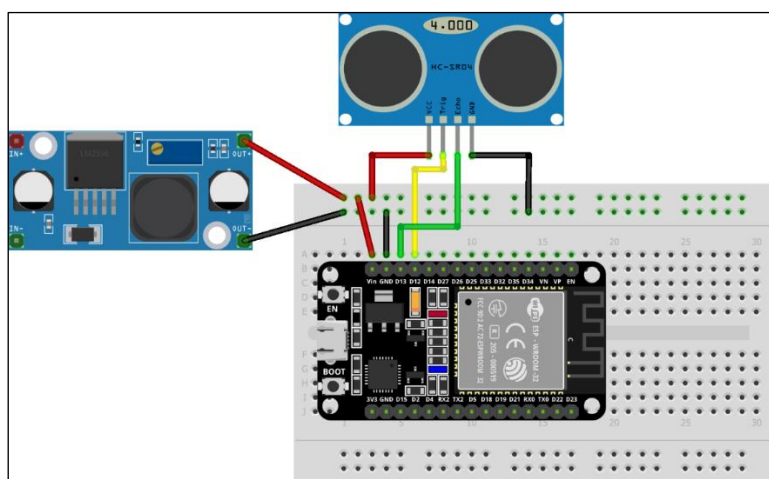


Figura 43. Diseño del sistema electrónico

Para realizar la conexión tanto del sensor, el microcontrolador y la fuente de alimentación es necesario la construcción de una placa de circuito impreso (PCB), para lo cual se realiza el diseño expuesto en la **Figura 44**.

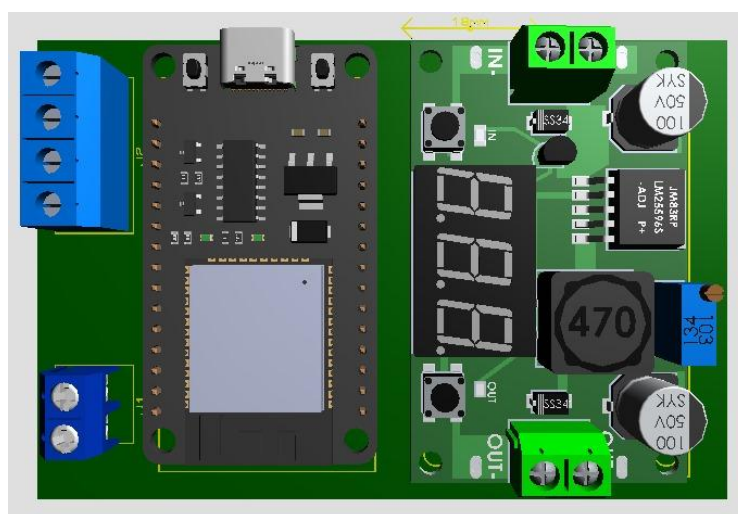


Figura 44. Esquema de la placa de circuito impreso

5.4.2.9 Construcción del prototipo

Dimensionados los equipos y materiales que conforman el prototipo propuesto, y en base al diseño preliminar se ensambla el prototipo, considerando los planos de la estructura expuestos en el **Anexo 2**, en la **Figura 45** se expone el resultado del ensamblaje de la estructura.



Figura 45. Estructura del prototipo

5.4.2.9.1 *Caja de control*

La ubicación de la caja de control se la realizó debajo de la placa solar mediante pernos auto perforantes, garantizando una protección adicional al estar ubicada bajo el módulo solar (ver **Figura 46**).



Figura 46. Ubicación del tablero de control

5.4.2.9.2 *Placa PCB*

Para construir la placa se utiliza baquelita de fibra de vidrio, posteriormente mediante una cortadora láser se marcan las diferentes pistas de conexión como se muestra en la **Figura 47**.

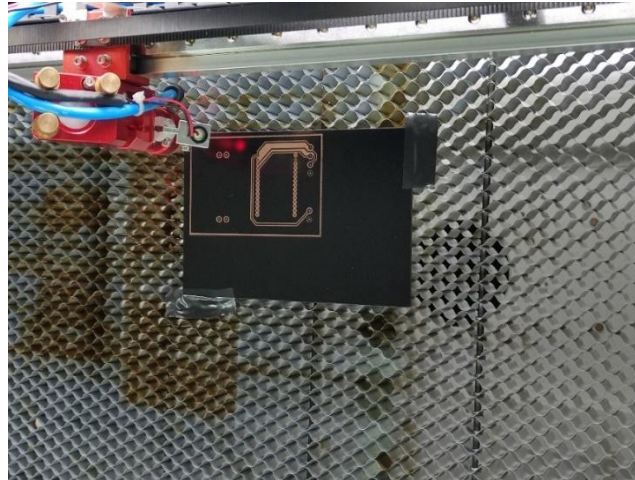


Figura 47. Marcación de las pistas con láser

Con la obtención de las pistas se tiene que introducirla dentro de ácido férrico para que se marquen las pistas en el cobre, para luego cortar y realizar los agujeros en el lugar que se ubican y sueldan los diferentes elementos (ver **Figura 48**).



Figura 48. Placa electrónica con sus componentes

5.4.2.9.3 *Ubicación del sensor*

El sensor ultrasónico se encuentra en la parte frontal del prototipo, como se aprecia en la **Figura 49**. En esta posición, solo el emisor y el receptor quedan expuestos al exterior,

mientras que el resto del sensor se encuentra resguardado dentro de la tubería para proteger la parte electrónica de las condiciones climáticas. Ese extremo de la estructura se la sella con una pletina de aluminio la cual se pega con un pegamento resistente al agua para mejor protección del sensor.



Figura 49. Ubicación del sensor ultrasónico

5.4.3 Ubicación de componentes en la caja de control

La caja de control en la parte interna posee la etapa de control que se describe a continuación: un convertor DC-DC LM2596, un módulo ESP32. En la etapa de potencia posee un regulador de carga PWM w88-A (12/24 V-10 A) y una batería de 12 V y 9600 mA, la **Figura 50** muestra la conexión y la ubicación de todos los elementos dentro del tablero de control.

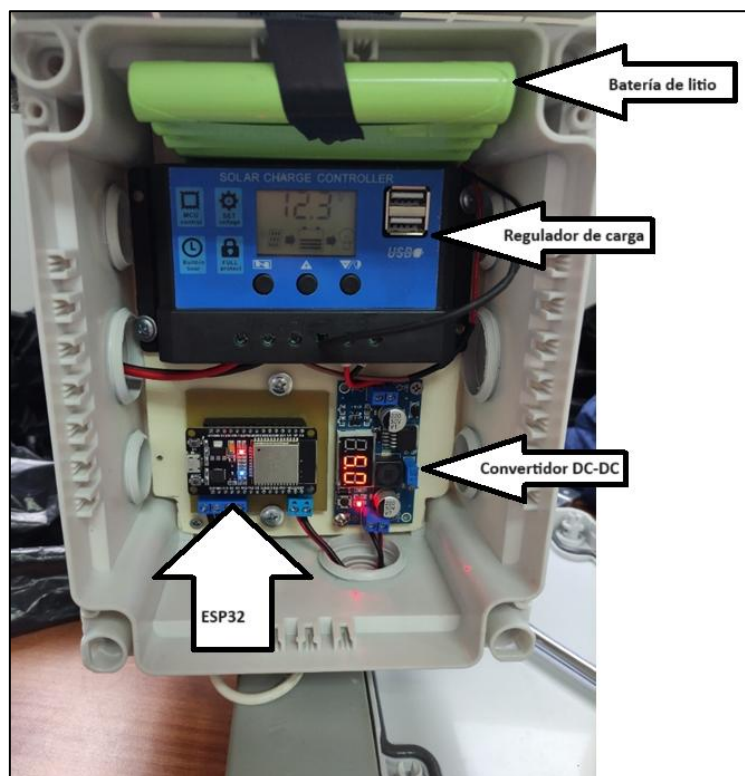


Figura 50. Elementos en el tablero de control

5.4.3.1.1 Programación del microcontrolador

Para realizar la medición de caudal mediante el prototipo se realiza un algoritmo en Arduino Ide, siguiendo el diagrama de flujo que se indica en la **Figura 51**. El código del programa se presenta en el **Anexo 3**.

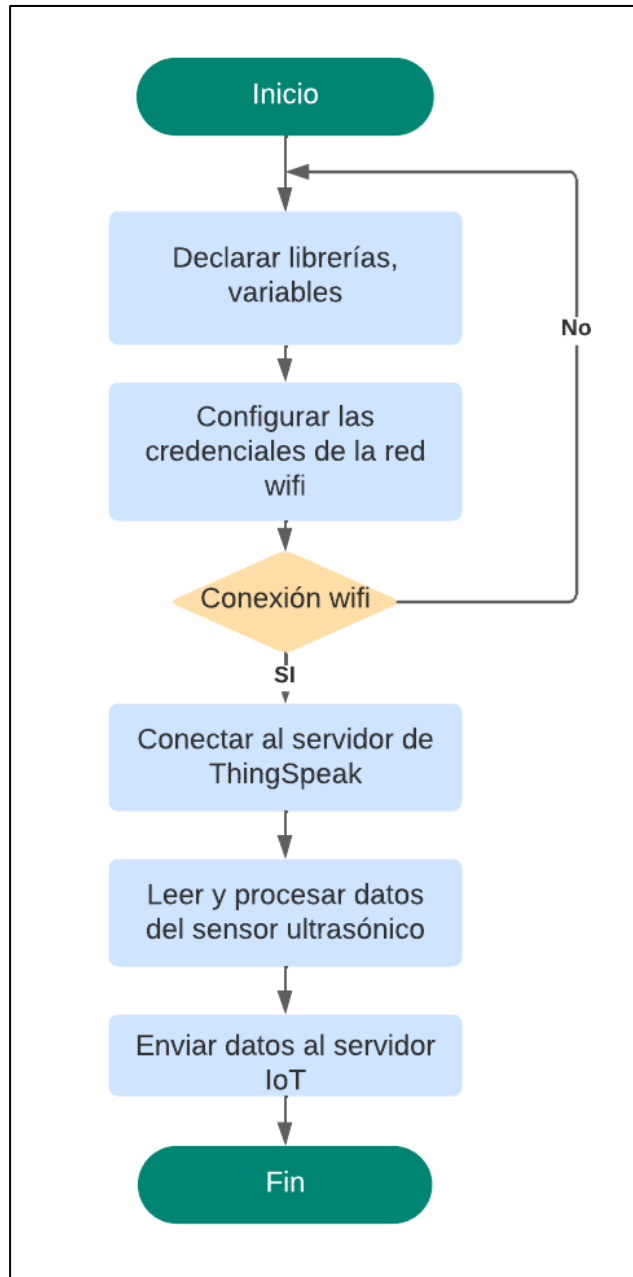


Figura 51. Diagrama de flujo de la programación

El protocolo de comunicación empleado para el envío de datos es el HTTP el cual crea un cliente Wi-Fi y se conecta al servidor de ThingSpeak utilizando una clave API y un puerto específico, luego se construye una URL con los datos proporcionados como parámetros (H, Q, Q1, H2), que se enviarán a ThingSpeak, por lo que realiza una solicitud HTTP tipo GET para enviar los datos como se muestra en la **Figura 52**.

```

void enviarDatosThingSpeak(float H, float Q, float Q1, float H2) {
  WiFiClient client;
  if (client.connect(HOST, PORT)) {
    String url = "/update?api_key=" + String(API) + "&field1=" + String(H) + "&field2=" + String(Q) + "&field3="
    client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
      "Host: " + HOST + "\r\n" +
      "Connection: close\r\n\r\n");
    delay(1500);
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeaDk.");
    countTrueCommand++;
  }
}

```

Figura 52. Programación del envío de datos

5.4.3.1.2 *Desarrollo del servicio en la nube*

Los datos generados por el prototipo se envían mediante el módulo ESP32 hacia la plataforma IoT de ThingSpeak, esta plataforma permite el almacenamiento y visualización de los datos en un entorno web de forma gratuita. Para crear un nuevo canal se tiene que crear una cuenta en esta plataforma y agregar las variables a mostrar en los gráficos como se indica en la **Figura 53**.

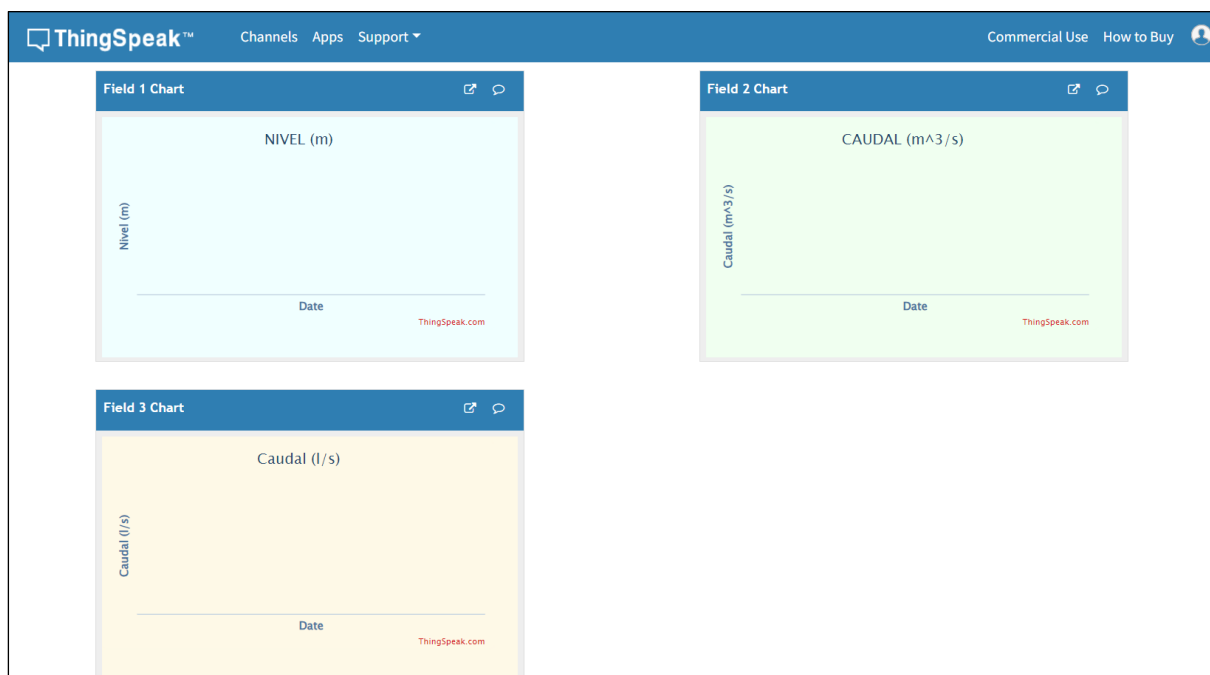


Figura 53. Prediseño del entorno para la visualización de datos en ThingSpeak

5.4.4 *Validación del prototipo construido*

5.4.4.1 **Calibración del sensor ultrasónico HC-SR04**

Antes de realizar la validación, se tiene que realizar la calibración del sensor ultrasónico Hc-sr04, considerando que Goplani (2018) realizó un ensayo con 50 muestras para calibrar el sensor, donde mediante un ajuste de curvas entre la real y la medida, se obtuvo la **expresión 23** para determinar la distancia corregida. Esta ecuación es recomendable si las distancias a medir son mayores a 25 cm, si es menor no recomienda utilizar la ecuación de corrección.

$$Distancia\ Corregida = (Distancia\ Medida \times 0,9998) + 1,073 \quad (23)$$

Goplani (2018), proporciona la **ecuación 24** para determinar la velocidad del sonido dependiendo de la temperatura ambiente donde se va a realizar la medición.

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = 331,3 + (0,606 \times T_{AIRE}) \quad (24)$$

Para la ciudad de Loja, según el INHAMI (2017) se considera una temperatura ambiente promedio de 16 °C. A continuación, en la **Figura 54** se presenta la secuencia de programación de las ecuaciones anteriores para calibrar el sensor.

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
long duracion = pulseIn(echoPin, HIGH);
float S= 331.3+0.606*16;
float d = (duracion/20000.0)*S;
float d1=d*0.9998+1.073;
```

Figura 54. Programación de la ecuación de calibración.

5.4.4.2 Validación del prototipo en el canal

5.4.4.2.1 Determinación del caudal por el método del flotador

Para realizar la medición de caudal mediante el método de sección y velocidad, se calcula de forma analítica la velocidad del agua y se multiplica por la sección transversal del flujo de agua para obtener el caudal como se indica en la **Figura 55**.

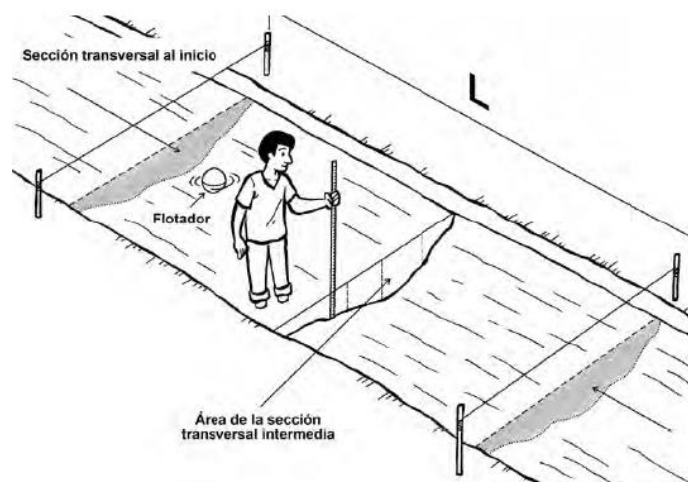


Figura 55. Método del flotador

Fuente: (Dávila et al., 2010)

A continuación, se presenta el procedimiento para comprobar el funcionamiento del prototipo:

Para realizar el cálculo del caudal con el método de la sección y velocidad es necesario considerar las dimensiones del canal como la anchura y altura del nivel del agua para encontrar el área de flujo de agua como se indica en la **Figura 56**.



Figura 56. Toma de las dimensiones del canal

Las dimensiones del canal son de 105 cm de ancho y 82 cm de alto, la altura de nivel de agua es aproximadamente de 22 cm.

Posteriormente, se señala la longitud de 7 m en el canal para medir la velocidad del flotador, colocando dos puntos de referencia para identificar el inicio y final como se indica en la **Figura 57**.



Figura 57. Ubicación de señales a 7 m de distancia

Luego se mide con el cronómetro el tiempo en que el flotador recorre los 7 m (ver **Figura 58**).



Figura 58. Medición del tiempo de recorrido de la pelota

A continuación, en la **Tabla 20** se exponen los tiempos registrados mediante un cronómetro.

Tabla 20. Tiempos tomados por el recorrido del flotador en 7 m

Medición	Tiempo (s)
1	15,05
2	16,01
3	14,07
4	12,46
5	13
6	15,06
7	13,42
8	14,32
9	14,08
10	13
Tiempo promedio (t_p)	14,047

Para determinar la velocidad se considera la **ecuación 25**.

$$v = \frac{L}{t_p} \quad (25)$$

Donde:

v = Velocidad superficial del agua en [m/s]

L = Longitud en [m]

t_p = Tiempo promedio [s]

$$v = \frac{7 \text{ m}}{14,047 \text{ s}} = 0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para determinar el área de la sección transversal, como es un canal rectangular se aplica la **expresión 26**:

$$A = b \times h \quad (26)$$

Donde:

A = área de la sección transversal en [m²]

b = ancho del canal en [m]

h = altura de la lámina de agua en [m]

$$A = 1,05 \text{ m} \times 0,22 \text{ m} = 0,231 \text{ m}^2$$

Según la **ecuación 12**, se necesita un factor de corrección de velocidad k el cual se selecciona considerando la siguiente relación:

$$\frac{S}{P} \quad (27)$$

Donde:

S = Sección transversal [m²]

P = Perímetro mojado [m]

Para determinar el perímetro mojado se dispone de la **expresión 28**:

$$P = b + 2 \times h$$

Donde:

b = Anchura del canal en [m] (28)

h = Altura del nivel de agua en [m]

$$P = 1,05 \text{ m} + 2 \times 0,22 \text{ m} = 1,49 \text{ m}$$

$$\frac{S}{P} = \frac{0,231}{1,49} = 0,155$$

Con el resultado de relación, en la tabla del **Anexo 6** se determina el factor aproximado $k = 0,865$ y aplicado en la **ecuación 12** se determina el caudal por el método del flotador.

$$Q = k \times A \times v$$

$$Q = 0,865 \times 0,231 \text{ m}^2 \times 0,498 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,0996 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 99,6 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

5.4.4.2.2 *Determinación del caudal mediante el prototipo*

Antes de implementar el prototipo en el canal para la medición de caudal se tiene que ajustar algunos parámetros dentro del código del microcontrolador (ver **Figura 59**); como la anchura del vertedero y la altura total del mismo desde el fondo hasta el lugar donde estaría ubicado el sensor.

```

esp32
Serial.print("Conexión WiFi establecida");
Serial.println();
}

float obtenerDistanciaUltrasonico() {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    long duracion = pulseIn(echoPin, HIGH);
    float d = duracion * 0.01715*1.03;
    h = 0.82; // altura del vertedero
    L = 1.05; // anchura del vertedero
    H = ((h*100) - (d))/100;
    H2=H*100;
    H1 = pow(H, 1.5);
    Q = 1.84 * L * H1;
}

```

Figura 59. Ajuste del código del microcontrolador

Además, se tiene que comprobar los datos de la red internet al que el dispositivo se va a conectar (ver **Figura 60**) y que la conexión sea la correcta para que se puedan enviar los datos hasta la plataforma IoT para su respectivo monitoreo.

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
esp32
#include <WiFi.h>

const int trigPin = 12; // Pin TRIG del sensor ultrasónico
const int echoPin = 13; // Pin ECHO del sensor ultrasónico

const char* ssid = "Salinas";
const char* password = "123456789";
const char* API = "UVBEY9O2ZC9GF9WU";
const char* HOST = "api.thingspeak.com";
const int PORT = 80;
int countTrueCommand = 0; // Declaración de la variable countTrueCommand
long t; //tiempo que demora en llegar el eco
float d;
float Q; //caudal
float L;
float h; //altura
float H; // altura nivel de agua
float H1;

```

Figura 60. Ajuste de usuario y contraseña de la red Wi-Fi

Para medir el caudal mediante el prototipo se tiene que ubicar el sensor ultrasónico de manera perpendicular al flujo de agua para que este obtenga la distancia, posteriormente el nivel del agua y el caudal teórico con la **ecuación 6**. En este caso se lo ubicó de manera provisional sin asegurar la estructura como se indica en la **Figura 61**.



Figura 61. Ubicación del prototipo en el canal

Luego se incorpora el código de Arduino con las dimensiones del canal configuradas al módulo ESP32. Por último, se comprueba que los valores de distancia y nivel de agua que censa el prototipo guarden relación con los valores que proporciona el puerto serial de la computadora, como se indica en la **Figura 62**.



Figura 62. Comprobaciones del nivel de agua

Los datos que registra el prototipo en un inicio es caudal teórico, por lo que se tienen que encontrar el coeficiente de descarga necesario para determinar el caudal real. Con el dato de caudal que se obtiene por el método del flotador, considerándolo como el que más se

aproxima al real, se obtiene el coeficiente de descarga al dividir el caudal real para el teórico medido con el prototipo, como se muestra en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Mediciones realizadas con el prototipo en el canal

Medición	Caudal real Flotador (m³/s)	Caudal teórico Prototipo (m³/s)	Coefficiente de descarga C_D
1	0,0996	0,157	0,634
2	0,0996	0,186	0,535
3	0,0996	0,177	0,562
4	0,0996	0,184	0,540
5	0,0996	0,157	0,633
6	0,0996	0,182	0,546
7	0,0996	0,179	0,558
8	0,0996	0,188	0,530
9	0,0996	0,182	0,546
10	0,0996	0,179	0,558
11	0,0996	0,168	0,593
12	0,0996	0,173	0,574
13	0,0996	0,159	0,625
14	0,0996	0,151	0,660
15	0,0996	0,181	0,551
16	0,0996	0,167	0,597
17	0,0996	0,185	0,539
18	0,0996	0,181	0,550
19	0,0996	0,188	0,529
20	0,0996	0,176	0,566
21	0,0996	0,19	0,523
22	0,0996	0,192	0,517
23	0,0996	0,185	0,538
24	0,0996	0,183	0,543
25	0,0996	0,169	0,588
26	0,0996	0,184	0,542
27	0,0996	0,180	0,553
28	0,0996	0,187	0,531
Promedio	0,0996	0,1775	0,563

Del análisis efectuado en la tabla anterior se encuentra un coeficiente de descarga promedio de 0,563; este valor se lo aplica en la **ecuación 7** y desarrollándola nos queda la **expresión 29** para determinar el caudal real del canal.

$$Q = 1,7 \times 0,563 \times B \times H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,9571 \times B \times H^{\frac{3}{2}} \quad (29)$$

5.4.4.3 Validación del prototipo en el río Malacatos

5.4.4.3.1 Método del flotador

Para validar el prototipo propuesto en el río Malacatos se aplica el mismo procedimiento que en el canal, primero se identifican las dimensiones principales del lugar donde se va a ubicar el prototipo, para este caso el escenario de análisis es el puente que se encuentra en las calles Av. Universitaria y Celica, como se indica en la **Figura 63**.

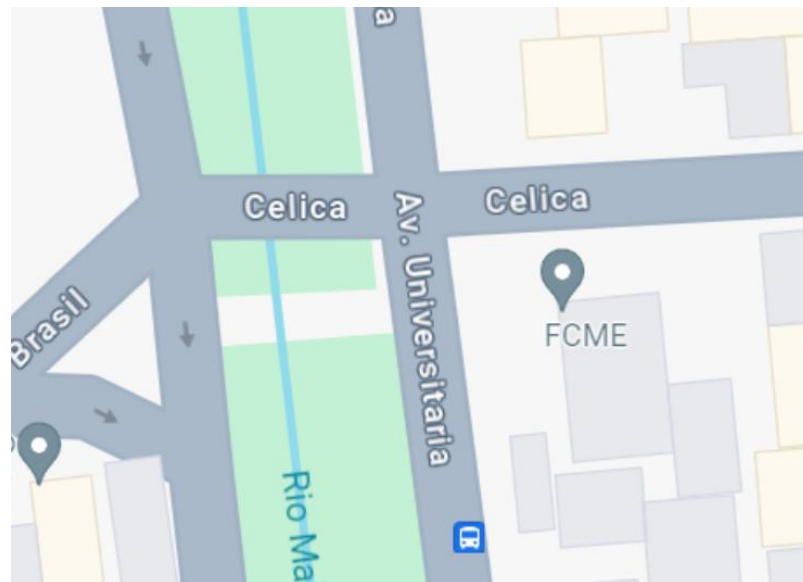


Figura 63. Ubicación de la validación del prototipo en el Río Malacatos

En la **Figura 64** se expone la cota de la longitud transversal del río, la misma que se obtuvo mediante la medición mediante una cinta métrica. Así mismo se expone el lugar desde donde se midió las diferentes alturas de nivel de agua.



Figura 64. Medición de longitud transversal del río

Para realizar las mediciones del nivel de la lámina de agua se empleó un cordón atado con un pedazo de ladrillo para sumergirlo (ver **Figura 65**) para luego medir la distancia de la cuerda mojada por el agua, este proceso se lo realiza en cada punto.



Figura 65. Medición de profundidad de nivel de agua

Los valores antes obtenidos se reflejan en la **Tabla 22**.

Tabla 22. Dimensiones del río Malacatos

Características	
Longitud transversal del río	10 m
Altura del nivel de agua	H1= 0,35 m; H2 = 0,35 m
	H3= 0,47 m; H4 = 0,45 m
	H5 = 0,45 m

Nota. Estas mediciones se hicieron de manera manual

Para realizar el cálculo por el método del flotador se toma una distancia de 20 m, la misma que se muestra señalada en la **Figura 66**, en esta distancia se obtiene el tiempo que demora en recorrer el flotador desde el punto 1 al 2 mediante un cronómetro.



Figura 66. Longitud del puente de extremo a extremo

En la como **Figura 67** se muestra el lanzamiento del flotador en el río, que en este caso consiste en una pelota de plástico.



Figura 67. Lanzamiento de flotador al agua

Los valores obtenidos al terminar de tomar los tiempos que demora en recorrer la esfera durante 20 m se presentan en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Tiempo promedio tomado por el método del flotador en el río

Medición	Tiempo (s)
1	11,68
2	12,37
3	11,5
4	12,75
5	12,57
Tiempo promedio (Tp)	12,174

Con el tiempo promedio se obtiene una velocidad de flujo de 1,6428 m/s al aplicar la **ecuación 23**, por otra parte, para realizar el cálculo del área transversal de flujo se divide en cinco tramos de partes iguales de 2 m cada uno y se calcula el área de cada tramo como lo indica la **Figura 68**.

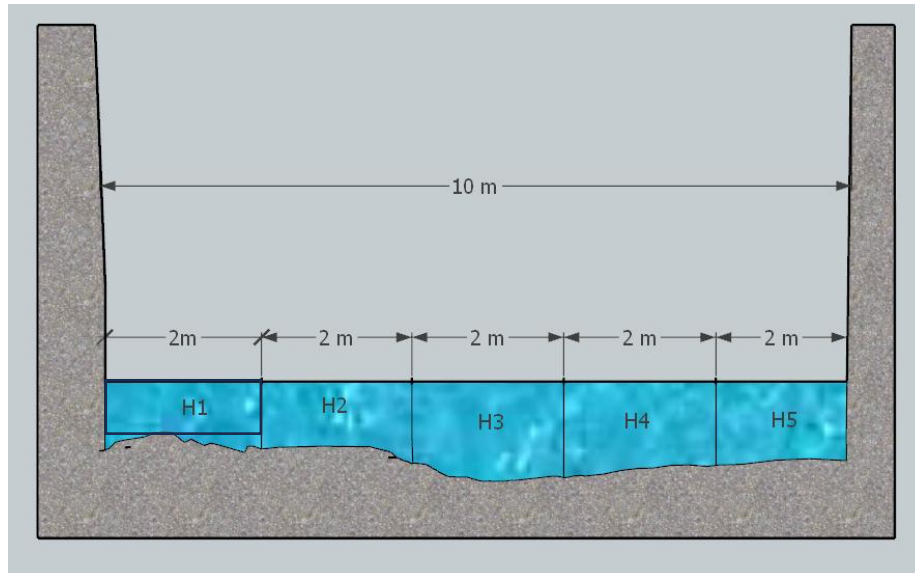


Figura 68. División en 5 tramos del río

Considerando la altura de cada tramo, se traza un rectángulo imaginario y con esto se determina las diferentes áreas y los perímetros para al final encontrar como resultado el total como se expone en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Promedio de las diferentes alturas del nivel de agua

Medición H	Altura (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)
1	0,35	0,7	2,35
2	0,35	0,7	2
3	0,47	0,94	2
4	0,45	0,9	2
5	0,45	0,9	2,45
Total		4,14	10,8

De la tabla anterior se puede determinar la relación área/perímetro (S/P) obteniendo un valor de 0,38 y considerando los valores expuestos en el **anexo 6** se determina un coeficiente de corrección aproximado $k = 0,875$. Con este valor se determina el caudal aplicando la **ecuación 12**.

$$Q = k \times A \times v = 0,875 \times 4,14 \times 1,6428 = 5,95 \frac{m^3}{s}$$

5.4.4.3.2 *Valores registrados por el Prototipo en el río Malacatos*

Para medir el caudal del río Malacatos con el prototipo, es necesario determinar el coeficiente de descarga. Para ello, se utiliza el caudal de 5,95 m³/s obtenido mediante el método del flotador, y el caudal teórico, que se calcula a través de la programación de la **ecuación 6** en el prototipo. Los datos correspondientes se toman según el procedimiento mostrado en las **Figuras 69 y 70**, respectivamente.

```
h = 3.1; // altura total del vertedero desde el sensor hasta el fondo
L = 10; // anchura del vertedero
H = ((h*100) - (d1))/100;
H2=H*100;
H1 = pow(H, 1.5);
Q = 1.7 *0.563* L * H1;
Q1=Q*1000;
```

Figura 69. Programación de la ecuación 6 en el prototipo



Figura 70. Medición de caudal teórico

Con los valores obtenidos de caudal teórico se encuentra el coeficiente de descarga para cada dato y al final se determina un promedio como se especifica en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Cálculo del coeficiente de descarga promedio para el río Malacatos

Medición	Caudal real Flotador (m³/s)	Caudal teórico Prototipo (m³/s)	Coeficiente de descarga Cd
1	5,95	4,37	1,36
2	5,95	3,73	1,59
3	5,95	5,37	1,11
4	5,95	5,55	1,07
5	5,95	5,55	1,07
6	5,95	5,03	1,18
7	5,95	4,86	1,22
8	5,95	5,03	1,18
9	5,95	5,03	1,18
10	5,95	5,03	1,18
11	5,95	5,37	1,11
12	5,95	4,53	1,31
13	5,95	5,20	1,14
14	5,95	5,03	1,18
15	5,95	5,37	1,11
16	5,95	5,20	1,14
17	5,95	5,20	1,14
Promedio			1,195

Del análisis efectuado en la tabla anterior, se obtiene un coeficiente de descarga promedio de 1,195. Este valor se aplica en la **ecuación 7** para obtener la **expresión 30**, la cual es necesaria para determinar el caudal real en el río Malacatos con el prototipo.

$$Q = 1,7 \times 1,195 \times B \times H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 2,0315 \times B \times H^{\frac{3}{2}} \tag{30}$$

6. Resultados

6.1 Análisis de los métodos de medición de caudal

Al analizar los diferentes métodos de medición de caudal, mediante los criterios expuestos en la matriz de ponderación presentada en la **Tabla 12**, se selecciona el método de vertederos y orificios, centrándose principalmente en el vertedero rectangular de pared gruesa. Esta técnica fue seleccionada debido a que se puede adaptar las ecuaciones de caudal teórico y caudal real para la validación en otros escenarios como un río, así mismo se emplea el método del flotador para encontrar el coeficiente de descarga necesario para determinar el caudal real. Por otra parte, para este método no se necesita un mantenimiento elevado y garantiza la viabilidad de medir el caudal solo con el uso de un sensor ultrasónico.

6.2 Prototipo medidor de caudal

En la **Figura 71** se expone el diseño 3D del prototipo medidor de caudal propuesto, el cual posee dimensiones generales de 60 cm de largo y 35 cm de alto, además en la **Figura 72** se señala cada uno de los elementos que componen el prototipo.

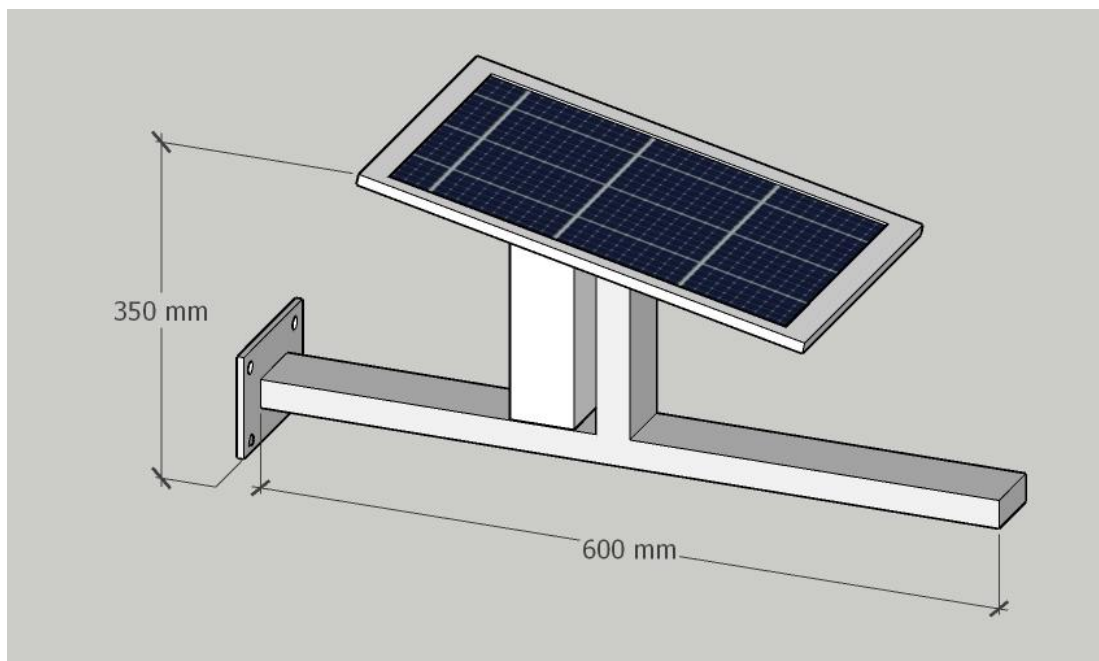


Figura 71. Diseño en 3D del prototipo medidor de caudal

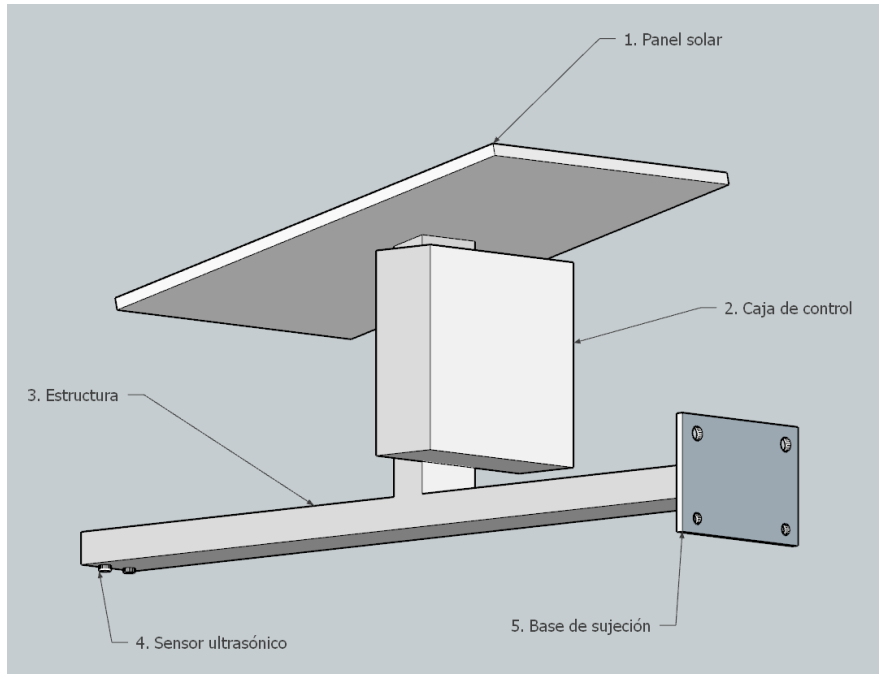


Figura 72. Elementos que componen el prototipo

Por otra parte, en la **Figura 73** se muestra el prototipo construido para la medición de caudal, en la parte superior se encuentra el módulo solar de 10 W (1), debajo de este se ubica el cajetín de control (2), así mismo la estructura de soporte (3), en la parte frontal está el sensor ultrasónico HC-SR04 (4) y en la parte posterior se encuentra la base de sujeción (5).

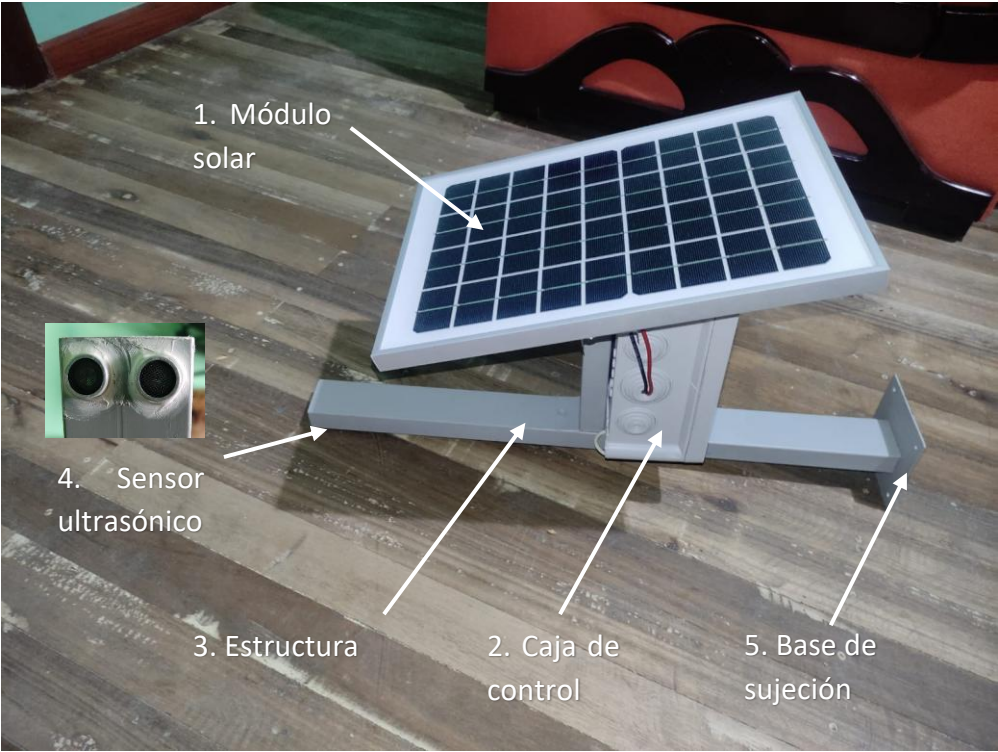


Figura 73. Prototipo medidor de caudal y sus componentes

6.2.1 Visualización de datos en la plataforma IoT

Para visualizar los valores que registra el prototipo se utiliza las herramientas de la página web de ThingSpeak (ver **Figura 74**), la cual permite la visualización de datos de caudal y nivel, además se puede configurar para visualizar solo datos diarios. También se pueden establecer para visualizar el promedio de datos, media, mediana, datos mínimos, datos máximos. Cabe destacar que el protocolo de comunicación empleado para el envío de datos es el de transferencia de hipertexto HTTP, ya que la gran mayoría de servicios en línea lo emplea y mediante este se puede dar una comunicación efectiva con el servidor web.

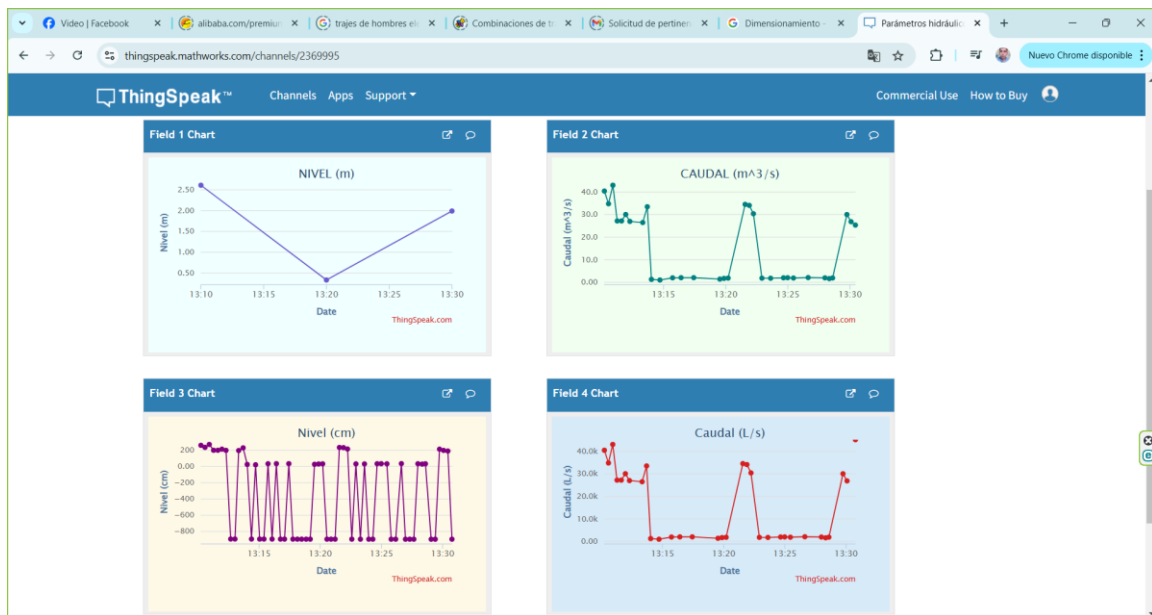


Figura 74. Visualización de los datos en ThingSpeak

Esta plataforma IoT también permite la visualización de los datos mediante MATLAB, con una ventana denominada ThingSpeak Data Explorer, en donde se tiene que ingresar el ID del canal y código API, como se muestra a continuación en la **Figura 75**. Así mismo existen aplicaciones móviles como ThingView y ThingShow para realizar la supervisión del nivel y caudal del afluente en tiempo real (ver **Figura 76**).

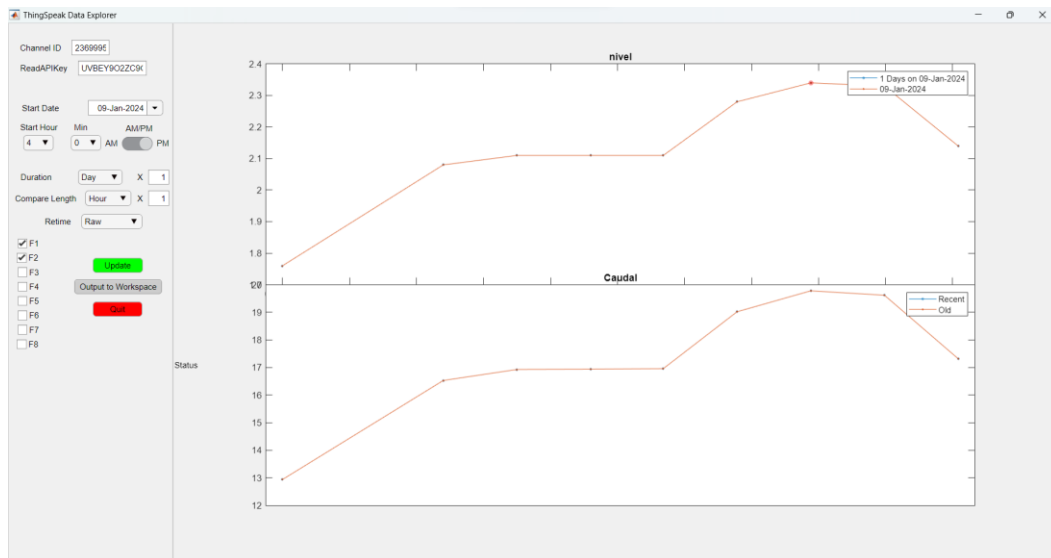


Figura 75. Visualización de los datos en MATLAB



Figura 76. Visualización de datos con ThingView

6.3 Valoración de las mediciones efectuadas

Al validar el prototipo en el canal se obtuvo un coeficiente de descarga de 0,563 y mediante la aplicación de ese valor se determinó la **ecuación 29**:

$$Q = 0,9571 \times B \times H^{\frac{3}{2}}$$

Esta ecuación se aplica en el prototipo para determinar el caudal real del canal en las condiciones que este presenta, obteniendo como resultado los valores expuestos en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Caudal real determinado por el prototipo en el canal

Medición	Nivel (m)	Caudal real (m³/s)
1	0,20	0,0885
2	0,22	0,1048
3	0,21	0,0997
4	0,22	0,1038
5	0,20	0,0885
6	0,22	0,1026
7	0,22	0,1005
8	0,22	0,1058
9	0,22	0,1026
10	0,22	0,1005
11	0,21	0,0946
12	0,21	0,0976
13	0,20	0,0898
14	0,19	0,0849
15	0,22	0,1018
16	0,21	0,0938
17	0,22	0,1039
18	0,22	0,1020
19	0,22	0,1060
20	0,21	0,0991
21	0,22	0,1072
22	0,23	0,1083
23	0,22	0,1043
24	0,22	0,1033
25	0,21	0,0953
26	0,22	0,1034
27	0,22	0,1014
28	0,22	0,1055
Promedio		0,0999

A continuación, en la **Tabla 27** se presenta una comparación del caudal real del canal por el método del flotador y el caudal encontrado con el prototipo considerando el coeficiente de descarga determinado.

Tabla 27. Comparación de resultados del canal

Caudal en m ³ /s		
Flotador	Prototipo	Error
0,0996	0,09999	0,39%

Por otra parte, para el Río Malacatos mediante la misma metodología de validación se obtuvo un coeficiente de descarga promedio de 1,195 obteniendo la **ecuación 30** para valorar caudal del río en el escenario seleccionado.

$$Q = 2,0315 \times B \times H^{\frac{3}{2}}$$

Al realizar las pruebas de medición de caudal en el río (ver **Figura 77**) con la ecuación de caudal anterior y haciendo uso de la plataforma ThingSpeak se obtiene un archivo en Excel en extensión CSV con el reporte de datos de caudal y nivel.



Figura 77. Toma de datos de caudal real

En la **Tabla 28** se exponen una proporción de los datos obtenidos con la fecha, hora, nivel y caudal real del cauce registrados.

Tabla 28. Datos obtenidos del prototipo medidor de caudal

Fecha y hora	Nivel (m)	Caudal (m³/s)
2024-02-28 13:14:02	0,40	5,22
2024-02-28 13:14:43	0,36	4,46
2024-02-28 13:15:44	0,46	6,42
2024-02-28 13:16:25	0,47	6,63
2024-02-28 13:17:26	0,47	6,63
2024-02-28 13:19:32	0,44	6,01
2024-02-28 13:19:52	0,43	5,81
2024-02-28 13:20:12	0,44	6,01
2024-02-28 13:22:55	0,44	6,01
2024-02-28 13:23:37	0,44	6,01
2024-02-28 13:24:39	0,46	6,42
2024-02-28 13:24:59	0,41	5,41
2024-02-28 13:25:27	0,45	6,21
2024-02-28 13:26:38	0,44	6,01
2024-02-28 13:27:59	0,46	6,42
2024-02-28 13:28:20	0,45	6,21
Promedio		6,01

En la **Tabla 29** se presenta una comparación de los caudales reales obtenidos, tanto por el método del flotador y mediante el prototipo propuesto, así mismo se presenta el error porcentual entre las dos mediciones.

Tabla 29. Comparación de resultados de caudal del río Malacatos

Caudal en m³/s		
Flotador	Prototipo	Error
5,95	6,01	1,01 %

7. Discusión

La monitorización del nivel y caudal de los afluentes naturales es crucial, ya que no solo contribuye a la prevención de desastres naturales como las inundaciones, sino que también es esencial para una gestión adecuada de los recursos hídricos. La investigación de este proyecto tiene como objetivo identificar y analizar los diversos métodos de medición de caudal, tales como el volumétrico, el de vertederos y orificios, el de Parshall, el de sección y velocidad, y el de solución de sal. Cada una de estas técnicas tiene sus limitaciones por lo que se debe elegir de acuerdo a como se pueda adaptar para medir caudal tomando en cuenta el lugar de medición, las condiciones morfológicas y el sensor a utilizar.

Existen diversos métodos para la medición de caudal; sin embargo, tras analizar las características de las técnicas evaluadas en esta investigación, se determinó que el más adecuado es el de vertederos y orificios, específicamente el vertedero rectangular de pared gruesa. Este método fue seleccionado debido a la viabilidad de adaptación para el lugar de implementación del prototipo (río Malacatos), lo que elimina la necesidad de construir una infraestructura. Por otra parte, Guerra y Toapaxi (2016) optaron por el método de sección y velocidad, debido a que no requiere estructuras de concreto, sino únicamente conocer la sección transversal y la velocidad del agua. De manera similar, Peña-Haro et al. (2021) utilizaron este método para medir el caudal, empleando un radar para medir la velocidad del agua, y concluyeron que estos dispositivos no requieren estructuras costosas ni construcciones adicionales.

En cuanto al diseño del prototipo, se optó por una arquitectura que incluye una fuente de alimentación autónoma, lo que permite evitar la dependencia de un suministro eléctrico externo. Sin embargo, la viabilidad de acceder a una fuente de energía adicional podría ser beneficiosa, ya que contribuiría a reducir los costos de construcción del prototipo y, potencialmente, aumentar su eficiencia operativa. Además, el dispositivo incorpora un sensor ultrasónico y un hardware que permite la comunicación con la nube. La fuente de alimentación está constituida por un módulo fotovoltaico de 10 W, un regulador de carga de 10 A y una batería de 12 V y 9,6 A. El hardware, por su parte, emplea un módulo ESP32 junto con un sensor ultrasónico HC-SR04, el cual es capaz de medir distancias entre 2 y 450 cm.

Si bien el sensor HC-SR04 es una opción de bajo costo, presenta ciertas limitaciones, como la exposición de sus componentes electrónicos, lo que podría afectar su durabilidad en condiciones ambientales adversas. Esta vulnerabilidad sugiere la necesidad de desarrollar una protección adecuada o, en su defecto, reemplazarlo por otro sensor con un mayor nivel de resistencia a la intemperie. Este hallazgo resalta una de las principales restricciones del diseño

actual, ya que el costo reducido del sensor viene acompañado de una menor robustez frente a las condiciones externas.

Por otro lado, el diseño estructural del prototipo incluye dos brazos de tubo rectangular, con dimensiones de 60 cm para el brazo principal y 22 cm para el brazo secundario. Al comparar este diseño con el utilizado por Acosta et al. (2022) en su investigación, se observa que, aunque la estructura es conceptualmente similar, existen diferencias en los materiales empleados y en las dimensiones generales del dispositivo. Estas diferencias podrían influir en la estabilidad y la resistencia de la estructura, lo que plantea la necesidad de evaluar más a fondo las ventajas y desventajas de cada enfoque. Sin embargo, la estructura propuesta cumple con los requerimientos funcionales, y las modificaciones en los materiales podrían ser consideradas en etapas posteriores para optimizar la durabilidad y el rendimiento del prototipo.

La transmisión de datos en el prototipo se realiza a través de Wi-Fi, utilizando el protocolo de comunicación cliente-servidor HTTP para la transferencia de información. Este enfoque permite una comunicación eficiente y accesible, aprovechando la infraestructura de red disponible. Sin embargo, según lo señalado por Peña, et al (2021), existen otras tecnologías de vanguardia que podrían emplearse para la transmisión de datos, como la señal analógica, la interfaz digital de serie SDI, Modbus, o el servidor FTP, las cuales ofrecen alternativas viables dependiendo de las necesidades específicas del sistema. Estas opciones podrían ser consideradas en futuras mejoras para aumentar la flexibilidad del prototipo.

Por otro lado, investigaciones como la de Campoverde y Gualoto (2018) abordan el uso de tecnologías móviles, como el estándar GPRS, para la transmisión de datos en tiempo real. Este enfoque emplea el protocolo de comunicación TCP/IP, lo que permitiría una conectividad más amplia y robusta en áreas donde la cobertura de Wi-Fi es limitada o no está disponible. Aunque el uso de GPRS podría proporcionar ventajas en términos de conectividad en entornos rurales o alejados, es necesario considerar aspectos como la cobertura, la latencia y los costos asociados con el uso de redes móviles.

La validación del prototipo se llevó a cabo en el río Malacatos utilizando el método analítico del flotador, con el objetivo de obtener el coeficiente de descarga necesario para que el prototipo de una estimación de caudal real con el método del vertedero de pared gruesa. En el estudio realizado, se determinó que el coeficiente de descarga (C_d) requerido para medir el caudal en el canal es 0,563 mientras que para el río Malacatos, el valor de C_d es de 1,195. Para este caso se empleó la técnica del flotador debido a que esta permite estimar el caudal en condiciones de difícil acceso, pero para otros estudios se puede implementar otros métodos adicionales para que la estimación sea más precisa.

Por otro lado, en la investigación de Campoverde y Gualoto (2018), se menciona que, para la validación de su estación de medición de caudal, emplearon el método volumétrico. Esta técnica les permitió verificar que el prototipo ofreciera valores de caudal cercanos a los valores reales. Aunque el enfoque de estos autores es similar, es importante resaltar que el uso de diferentes métodos de validación como el volumétrico y el flotador, ofrece una mayor fiabilidad en la evaluación del rendimiento del prototipo, ya que proporciona una referencia más amplia y robusta de la exactitud de las mediciones obtenidas.

8. Conclusiones

- El método de medición de caudal utilizado en esta investigación fue el de vertederos y orificios, con un enfoque particular en las ecuaciones de la variante de vertedero rectangular de pared gruesa. Esta variante fue seleccionada tras un análisis comparativo de sus ventajas y desventajas, fundamentado en la revisión de literatura técnica existente. Así mismo, la elección también se basó debido a la viabilidad de adaptación, considerando las condiciones específicas del entorno de medición (río Malacatos) y los objetivos del prototipo desarrollado.
- Se han formulado los requerimientos técnicos necesarios para el diseño y construcción de un prototipo de medición de caudal utilizando un sensor ultrasónico HC-SR04. El prototipo desarrollado incorpora características clave como hermetismo, facilidad de mantenimiento y autonomía eléctrica. Su estructura metálica rectangular consta de dos brazos: el principal, de 60 cm, alberga el sensor, mientras que el secundario, de 22 cm, sostiene el módulo fotovoltaico. Además, el sistema de alimentación está compuesto por una fuente de 10 W, un regulador de carga de 10 A, y una batería de 12 V y 9,6 A. El microcontrolador ESP32 WROOM se encarga del procesamiento y transmisión de los datos a la plataforma ThingSpeak.
- La validación del prototipo realizada en el río Malacatos demostró su capacidad para medir el caudal utilizando el método del vertedero de pared gruesa. Los resultados obtenidos a partir del método del flotador indicaron un caudal real de 5,95 m³/s, fueron comparados con los valores calculados mediante el prototipo, que registraron un caudal real promedio de 6,01 m³/s. Este resultado arrojó un error de 1,01 %, lo que valida la eficacia y fiabilidad del dispositivo desarrollado. Este desempeño confirma que el prototipo es adecuado para monitorear parámetros hidráulicos en entornos naturales.

9. Recomendaciones

- Para la medición del caudal de los ríos, es recomendable emplear sensores de bajo coste que cumplan los requerimientos necesarios del prototipo para que, en caso de una eventualidad como una inundación u otra situación, el impacto financiero de cualquier pérdida sea bajo, lo cual permita la viabilidad de implementar otro medidor de caudal.
- Para futuras investigaciones es fundamental enfocarse en el perfeccionamiento del diseño, la optimización de la adquisición de datos y la implementación de sistemas eficientes de transmisión de datos en tiempo real desde lugares remotos como la tecnología LoRa WLAM.
- Para mejorar el proceso de toma de datos en el río se sugiere emplear otro sensor ultrasónico con mayor capacidad de medición y que tenga un alto grado de protección contra la intemperie.
- Se recomienda utilizar el método de vertedero de pared gruesa para medición de caudal, como se empleó en esta investigación, debido a su fácil adaptación para la obtención de datos del río Malacatos. No obstante, para otros escenarios, es importante seleccionar el método que mejor se ajuste a la morfología del lugar de medición.
- Para lugares donde la validación resulta difícil de realizar, es aconsejable tomar los datos cada 10 segundos, lo que permitirá obtener más información en un período de tiempo más corto.
- Se sugiere utilizar la plataforma ThingSpeak para el almacenamiento y visualización de datos, ya que permite almacenar una gran cantidad de información en su modalidad gratuita. Además, esta plataforma se integra con MATLAB para una visualización más avanzada de los datos y es compatible con aplicaciones móviles como ThingView.

10. Bibliografía

- ¿Qué es Raspberry Pi? - Raspberry Pi. (2019, febrero 14). <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- Acosta, J., Mendez, D., Moreno, D., Montanez, G., Trujillo, L., Escobar, M., & Gonzalez, I. (2022). An IoT-based scalable river level monitoring platform. *International Journal of Sensor Networks*, 38(4). <https://doi.org/10.1504/IJSNET.2022.122574>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales. *Instituto Privado de Investigacion Sobre Cambio Climático*.
- Arboleda, J., Felipe, C., & Yerrén, J. (2018). Manual de Hidrometría. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Arduino. (2019, enero 14). *Arduino UNO | Arduino.cl—Compra tu Arduino en Línea*. <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Calvo, G., & Mora, J. (2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón Parte II: Modelo utilizado en la medición de caudales investigados. *Revista Tecnología En Marcha*, 20(3), pág. 3. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/96
- Campoverde Cueva, C. G., & Gualoto Cachago, J. A. (2018). Desarrollo de un sistema de medición de caudal energéticamente independiente con transmisión de datos en la comunidad de Paquiestancia. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito*.
- Carmenate, J. G. (2021). *ESP32 Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip*. Programarfácil.
- Castillo, J. (2020). *PROTOCOLO TCP/IP-¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA?* Universidad San Marcos.
- Chamorro de Rodríguez, G., & Velásquez, J. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú (SENAMHI)*, 1, 5–14.
- CONELC. (2008). Atlas solar del Ecuador. *Conelec*.
- Cuero Granobles, L. F., Gutiérrez Marroquín, W., & Londoño, I. M. (2021). LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN, UNA BASE PARA LA DIGITALIZACIÓN

<https://doi.org/10.23850/25007211.3423>

- Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. (Enric Velo & Mario Cossío, Eds.; Primera edición). Soluciones Prácticas.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2011). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 14).
- DIPAC. (2022). DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. *E.Econ*, 198–201. <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>
- Energy, S. (2021, diciembre 10). *Baterías de panel solar, ¿Cómo funcionan?* Social Energy. <https://www.socialenergy.es/blog-energia-solar/baterias-para-paneles-solares-como-funcionan/>
- Espinosa, A., Ponte, D., Gibeaux, S., & Gonzáles, C. (2021). Estudio de Sistemas IoT aplicados a la Agricultura Inteligente. *Plus Economía*, 9(1).
- Evaluación de Sensor Ultrasónico para Medición de Flujo en Canal Abierto | Registrado*. (s. f.). <https://doi.org/10.56042/jsir.v82i10.2613>
- Fernández, Y. (2022, septiembre 23). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Xataka. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Girona, P. M. (n.d.). *ESPECIFICACIONES-CANALES PARSHALL*. Retrieved October 21, 2023, from www.lanasarrate.es
- Goplani, S. (2018). *Análisis, caracterización y calibración de sensores de bajo coste para Arduino*. Universidad de La Laguna.
- Granados, C. U. (2017). Programando directamente un ESP8266. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona-España*.
- Guerra, M. E., & Toapaxi, J. C. (2016). *Diseño e implementación de un transductor electrónico para la medición de flujo a canal abierto en los afluentes de la microcuenca del río El Pisque en el cantón Cayambe* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13086>
- Halma Water Management. (s. f.). Caudalímetro por tecnología radar para ríos o canales, Phoenix. *HWM Latinoamerica*. Recuperado 1 de noviembre de 2023, de <https://hwm-latinoamerica.com/producto/caudalimetro-ultrasonico-beluga-copy/>

- Hellbot. (2020, noviembre 26). *Proyecto 21 – Sensor Ultrasónico | Hellbot Proyectos*.
<https://proyectos.hellbot.xyz/proyecto-21-sensor-ultrasonico/>
- INHAMI. (2017). Anuario meteorológico. In *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- Insa, +Jorge. (s. f.). *¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?* Monsolar. Recuperado 29 de noviembre de 2023, de <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- LLAMAS, L. (2017). *¿Qué es Raspberry Pi?* LUIS LLAMAS. <https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/>
- Machado, M. E. G., & Almache, J. C. T. (s. f.). *INGENIERO ELECTRÓNICO*.
- Maloy, G. (2020, marzo 9). *¿Qué es un sensor y qué hace?* Soluciones de Adquisición de Datos (DAQ). <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- MathWorks. (s. f.). *ThingSpeak Documentation—MathWorks América Latina*. Recuperado 21 de enero de 2024, de <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/>
- Muñoz, O. Q. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku LLC.
- Nengoue, U. A. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS HIDRÁULICOS MEDIANTE TÉCNICAS CFD*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67819/TFM%20Ulrich%20Final.pdf>
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). Energía solar fotovoltaica: Manual técnico para instalaciones domiciliarias. *Energías Renovables Para El Desarrollo*.
- OTT C31. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2024, de <https://www.ott.com/es-la/productos/caudal-de-agua-84/ott-c31-277/>
- OTT HydroMet. (s. f.). *Caudal de agua*. Recuperado 1 de noviembre de 2023, de <https://www.ott.com/es-la/productos/caudal-de-agua-166/>
- Peña-Haro, S., Carrel, M., Lüthi, B., Hansen, I., & Lukes, R. (2021). Robust Image-Based Streamflow Measurements for Real-Time Continuous Monitoring. *Frontiers in Water*, 3.
<https://doi.org/10.3389/frwa.2021.766918>
- Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias. | De la Universidad de Lomas de Zamora*. (2020, noviembre 11).
<https://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/>
- Rodríguez, Y. (2023, julio 17). *Caudalímetros Industriales, usos y aplicaciones | ESingenieria.pro*.
<https://esingenieria.pro/caudalimetros-industriales-usos-y-aplicaciones/>
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2017). Internet de las cosas (IoT) - Cisco. In *Cisco*.

- SolInc. (2018, julio 6). ▷ *Celdas solares* **【Solinc】** . <https://solinc.com.mx/blog/celdas-solares/>
- Tim Berners-Lee. (2010). CAPÍTULO 5: PROTOCOLO HTTP. *Biblus*.
- Torres, S., Jurado, F., Granados, D., & Lozano, luna. (2018). Eficiencia en paneles solares. *Revista Del Diseño Innovativo Eficiencia En Paneles Solares*, 2(2).
- Zarza, L. (2021, mayo 12). *¿Qué es un caudalímetro y cuántos tipos hay?* [Text]. iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudalimetro-y-cuantos-tipos-hay>

11. Anexos

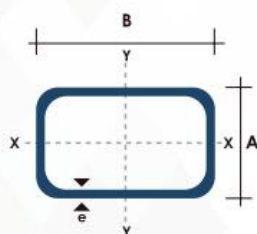
Anexo 1. Especificaciones del material utilizado

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



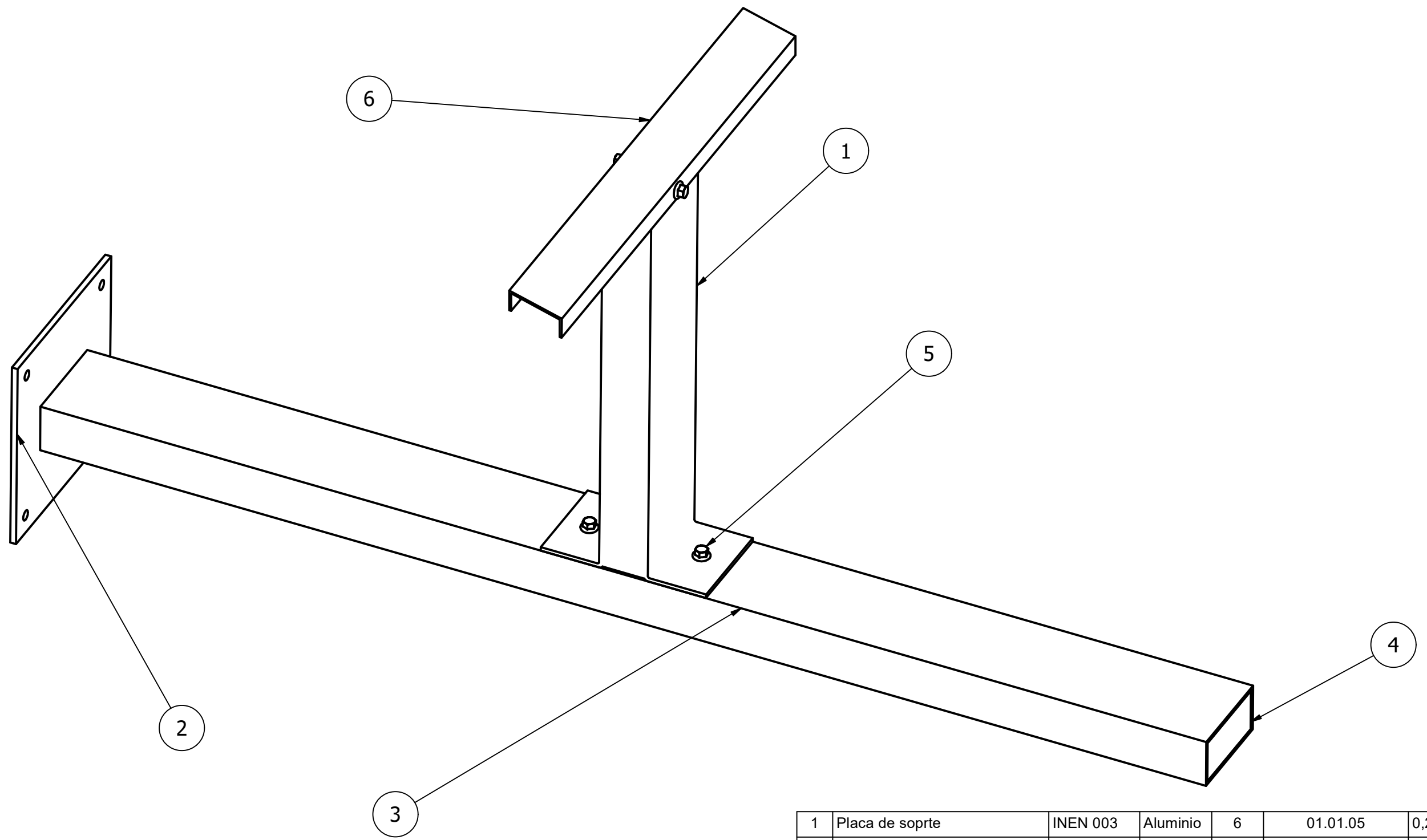
Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 3,00mm



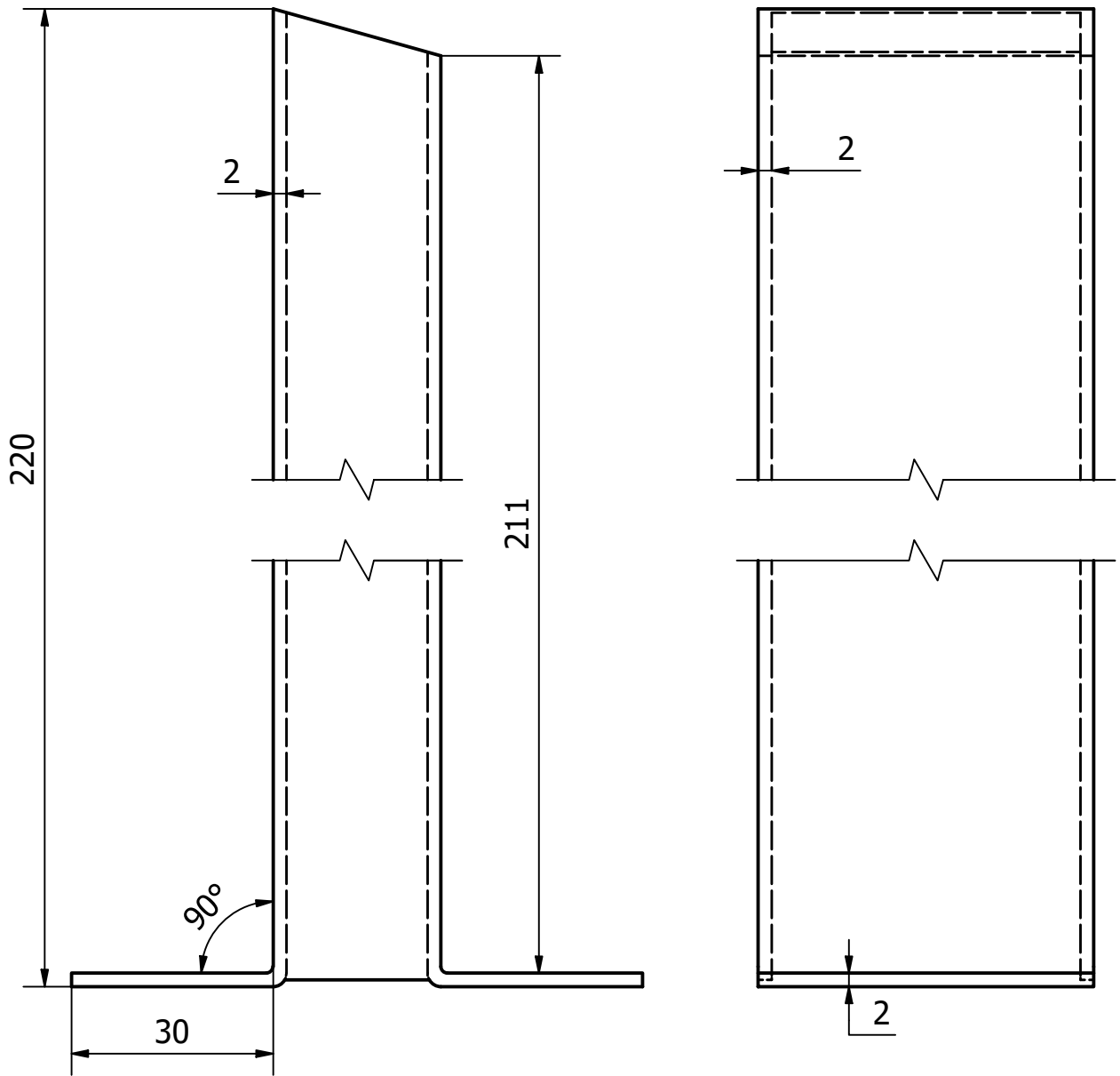
Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m		I cm ⁴	W cm ³	i cm	i cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15


Anexo 2. Planos de la estructura del prototipo

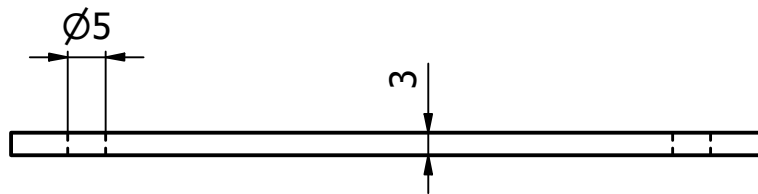
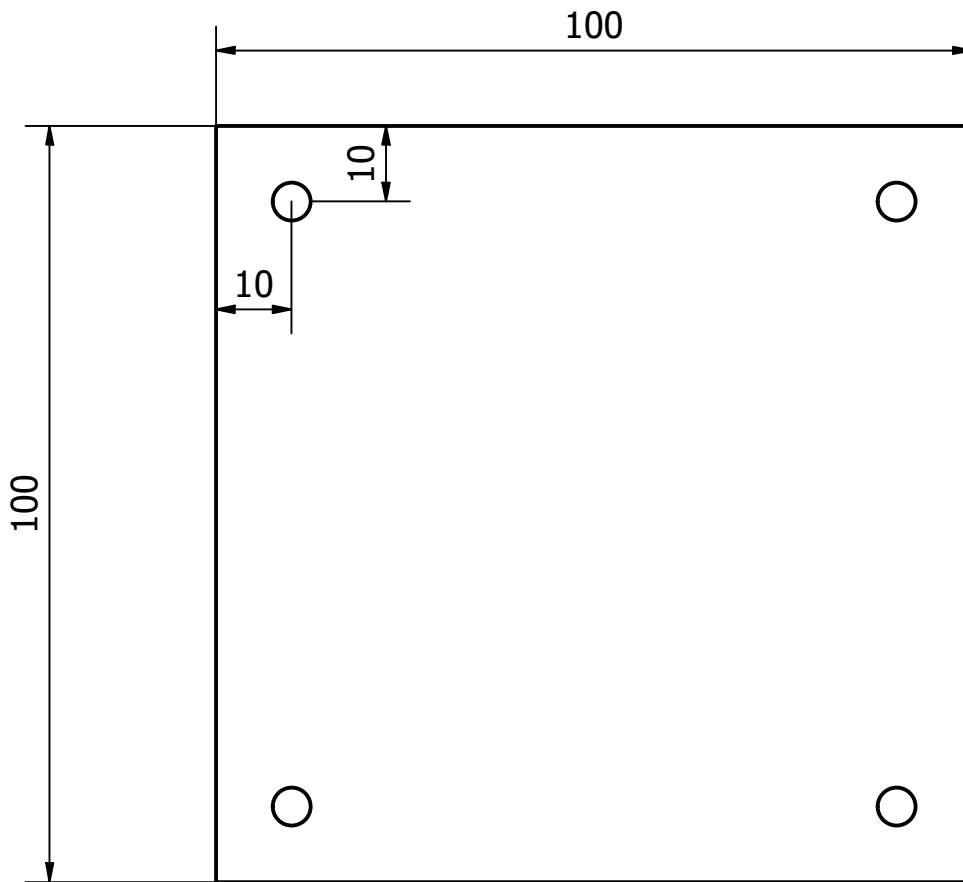


1	Placa de soporte	INEN 003	Aluminio	6	01.01.05	0,25 kg	
4	Perno autoperforante		Acero	5		0,05 kg	Perno 1/2 in
1	Pletina	INEN 003	Aluminio	4	01.01.04	0,15 kg	
1	Brazo horizontal	INEN 003	Acero	3	01.01.03	1,35 kg	
1	Base	INEN 003	Acero	2	01.01.02	0,30 kg	
1	Brazo vertical	INEN 003	Acero	1	01.01.01	0,55 kg	
N. pieza	Denominación	N. de norma	Material	N. orden	Número de modelo	Peso	Observaciones

		Tolerancias		Peso		Material:	
				2,80 kg		Acero, Aluminio	
		Fecha		Nombre		Denominación.	
Dib.		10/12/2023		Jimmy Tapia		Estructura	
Rev.		10/08/2024		José B.		Escala	
Aprob.		10/12/2024		José B.		2:1	
				Número de dibujo		Escala	
				01.01.00		2:1	
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM:				

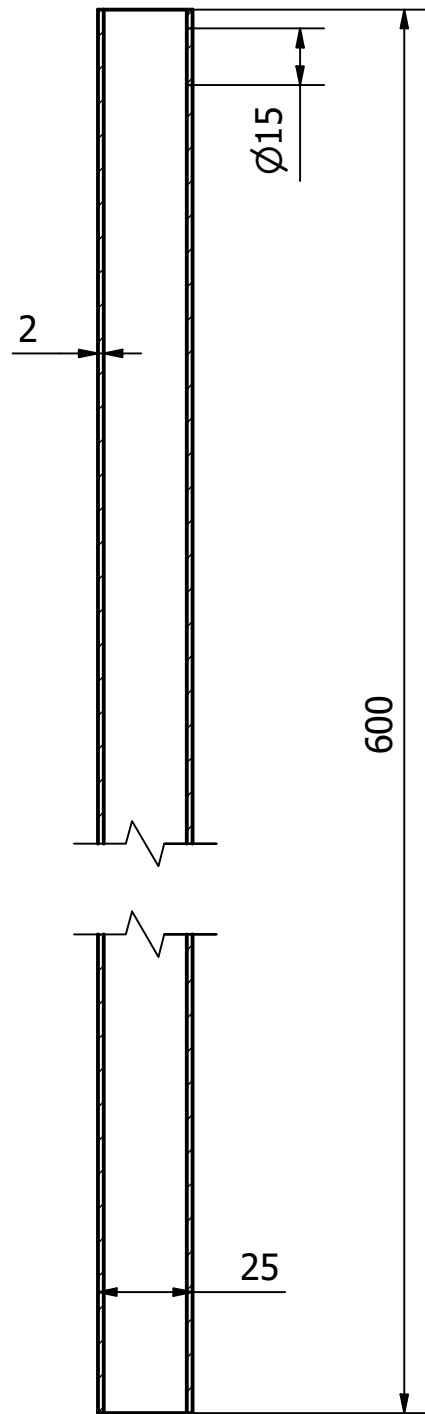
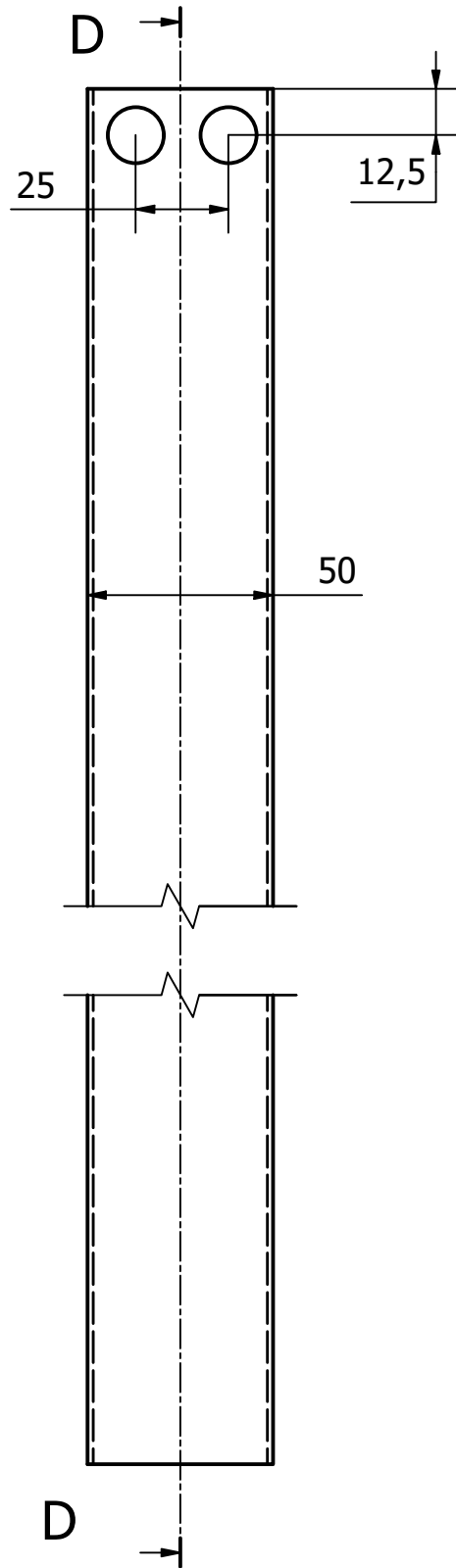


				Tolerancias	Peso 0,55 kg	Material: Acero estructural	
					Fecha	Nombre	Denominación. Brazo vertical
				Dib.	10/12/2023	Jimmy Tapia	
				Rev.	10/08/2024	José B.	
				Aprob.	10/12/2024	José B.	
							Número de dibujo 01.01.01
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM				

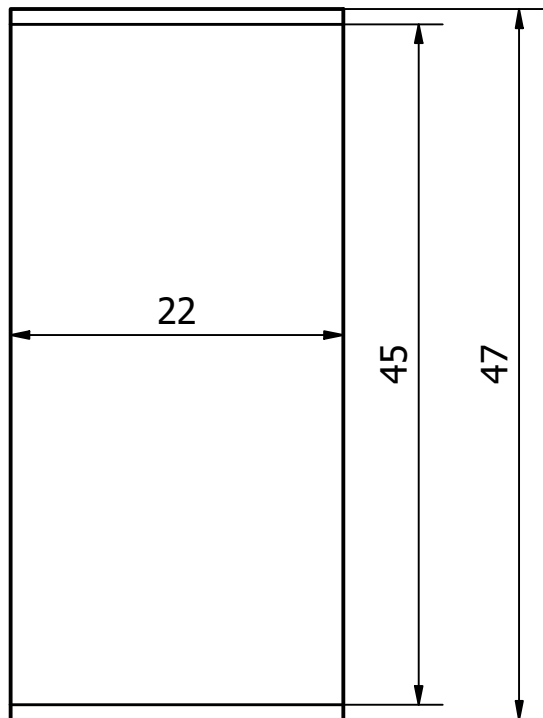
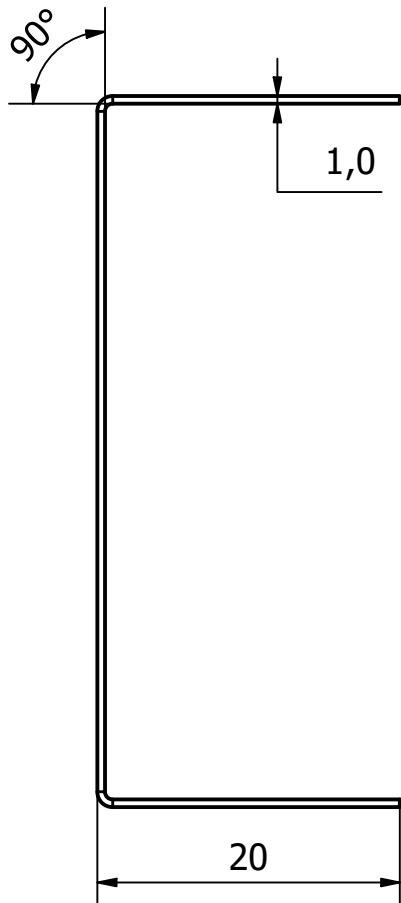


				Tolerancias	Peso 0,3 kg	Material: Acero	
					Fecha	Nombre	Denominación. Base
				Dib.	10/12/2023	Jimmy Tapia	
				Rev.	10/08/2024	José B.	
				Aprob.	10/12/2024	José B.	Escala 1:1
							Número de dibujo 01.01.02
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM				

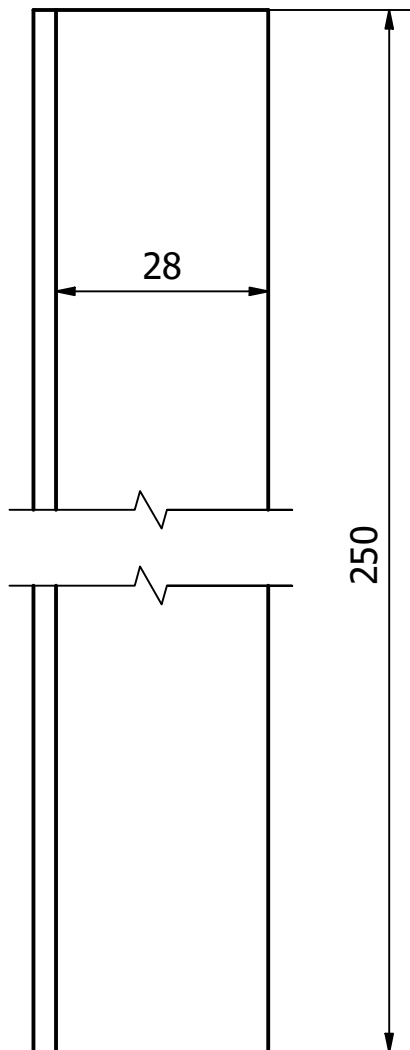
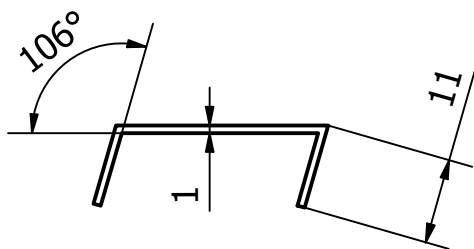
Corte D-D


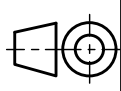


				Tolerancias	Peso 1,35 kg	Material: Acero estructural	
						Denominación. Brazo horizontal	Escala 1:2
				Fecha	Nombre		
				Dib.	10/12/2023		
				Rev.	10/08/2024	José B.	
				Aprob.	10/12/2024	José B.	
						Número de dibujo	
						01.01.03	
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM				



				Tolerancias	Peso 0,15 kg	Material: Aluminio	
					Fecha	Nombre	Denominación. Pletina
				Dib.	10/12/2023	Jimmy Tapia	
				Rev.	10/08/2024	José B.	
				Aprob.	10/12/2024	José B.	Escala 2:1
							Número de dibujo 01.01.04
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM				



				Tolerancias	Peso 0,25 kg	Material: Aluminio	
					Fecha	Nombre	Denominación. Placa de soporte
				Dib.	10/12/2023	Jimmy Tapia	
				Rev.	10/08/2024	José B.	
				Aprob.	10/12/2024	José B.	Escala 1:1
							
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM		Número de dibujo 01.01.05		

Anexo 3. Código del microcontrolador del prototipo

```
#include <Wi-Fi.h>

const int trigPin = 12; // Pin TRIG del sensor ultrasónico
const int echoPin = 13; // Pin ECHO del sensor ultrasónico

const char* ssid = "Salinas";
const char* password = "123456789";
const char* API = "UVBEY9O2ZC9GF9WU";
const char* HOST = "api.thingspeak.com";
const int PORT = 80;
int countTrueCommand = 0; // Declaración de la variable countTrueCommand
long t; //tiempo que demora en llegar el eco
float Q; //caudal
float L;
float h; //altura
float H; // altura nivel de agua
float H1;
float Q1;
float H2;
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  // Conectar a la red Wi-Fi
  conectarWi-Fi();
}

void loop() {
  // Obtener datos del sensor ultrasónico (distancia)
  float distancia = obtenerDistanciaUltrasonico();
```

```

// Enviar datos a ThingSpeak
enviarDatosThingSpeak(H, Q, Q1, H2);

delay(10000); // Esperar 10 s antes de enviar nuevos datos
}

void conectarWi-Fi() {
  Serial.print("Conectando a Wi-Fi...");
  Serial.println();
  Wi-Fi.begin(ssid, password);
  while (Wi-Fi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(10000);
    Serial.print("Conectando...");
    Serial.println();
  }
  Serial.print("Conexión Wi-Fi establecida");
  Serial.println();
}

float obtenerDistanciaUltrasonico() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  long duracion = pulseIn(echoPin, HIGH);
  float S= 331.3+0.606*16;
  float d = (duracion/20000.0)*S;
  float d1=d*0.9998+1.073;
  h = 3.1; // altura del vertedero
  L = 10; // anchura del vertedero
  H = ((h*100) - (d1))/100;
  H2=H*100;
  H1 = pow(H, 1.5);
}

```

```

Q = 1.7 *0.808* L * H1;
Q1=Q*1000;
Serial.print("Distancia: ");
Serial.print(d1);
Serial.print("cm");
Serial.println();
Serial.print("Nivel: ");
Serial.print(H);
Serial.print(" m");
Serial.println();
Serial.print("Nivel: ");
Serial.print(H2);
Serial.print(" cm");
Serial.println();
Serial.print("Caudal: ");
Serial.print(Q);
Serial.print(" m^3/s");
Serial.println();
Serial.print("Caudal: ");
Serial.print(Q1);
Serial.print(" l/s");
Serial.println();
return H;
}

```

```

void enviarDatosThingSpeak(float H, float Q, float Q1, float H2) {
  Wi-FiClient client;
  if (client.connect(HOST, PORT)) {
    String url = "/update?api_key=" + String(API) + "&field1=" + String(H) + "&field2=" +
String(Q)+"&field3=" + String(H2)+"&field4=" + String(Q1);
    client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
      "Host: " + HOST + "\r\n" +
      "Connection: close\r\n\r\n");
    delay(1500);
  }
}

```



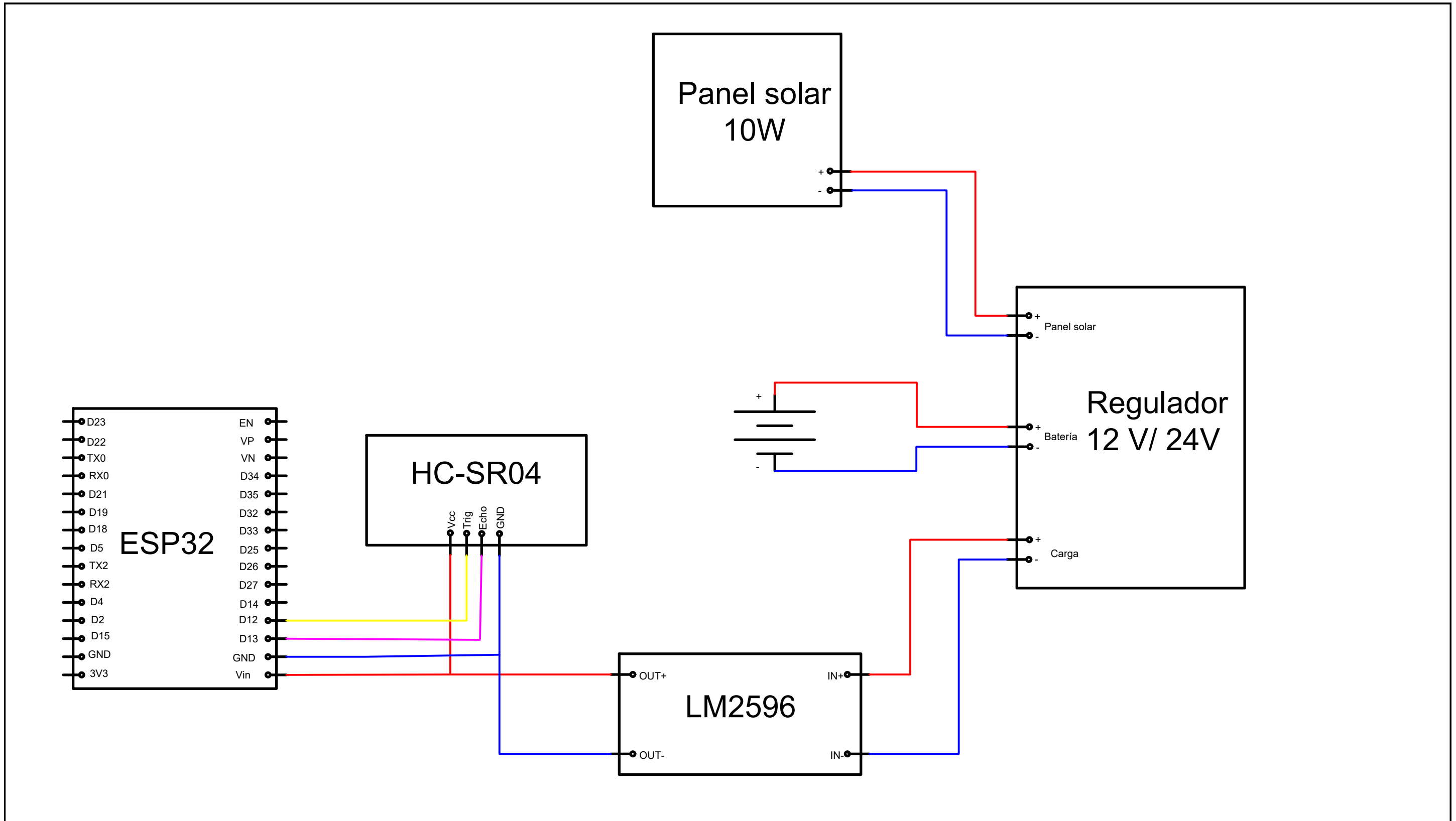
```
Serial.println("Datos enviados a ThingSpeaDk.");  
countTrueCommand++;  
}  
}
```

Link de la plataforma IoT: <https://thingspeak.mathworks.com/channels/2369995>

Anexo 4. Costo total del del prototipo

ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
1	Tubo estructural rectangular de 50x25 mm	1	\$ 13,21	\$ 13,21
2	Módulo fotovoltaico de 10 W	1	\$ 29,00	\$ 29,00
3	Regulador de carga PMW de 10 A	1	\$ 16,00	\$ 16,00
4	Batería de litio de 9.6A	1	\$ 20,00	\$ 20,00
5	Placa cuadrada de 100x100x2 mm	1	\$ 2,50	\$ 2,50
6	Tornillos de 6mm	10	\$ 0,15	\$ 1,50
7	Tornillos autoperforantes de ½ in	4	\$ 0,20	\$ 0,80
8	Sensor ultrasónico HC-SR04	1	\$ 2,50	\$ 2,50
9	Convertidor DC-DC Lm2596	1	\$ 6,80	\$ 6,80
10	Lata de pintura color gris	1	\$ 3,72	\$ 3,72
11	Caja de control Plexo Legran de 17x14 cm	1	\$ 10,30	\$ 10,30
12	ESP32 WROOM 30	1	\$ 13,00	\$ 13,00
13	Placa electrónica (elaboración y ensamblaje)	1	\$ 15,00	\$ 15,00
14	Mano de obra	40 h	\$ 2,00	\$ 80,00
Total				\$ 214,33

Anexo 5. Esquema de conexión de los componentes del prototipo



SIMBOLOGÍA	
	Batería 12 V 9,6 A
	Línea de conexión positiva DC
	Línea de conexión negativa DC
	Envía el pulso ultrasónico
	Receptor del pulso ultrasónico
LM2596	Regulador DC-DC de voltaje variable
HC-SR04	Sensor ultrasónico
ESP32	Microcontrolador

				Tolerancia	Peso	Material.		
				fecha	Nombre	Denominación.	Escala	
				Dib. 17/02/24	Jimmy T.	Esquema de conexión de los componentes del prototipo	1:3	
				Rev. 20/07/24	José B.			
				Apro. 20/07/24	José B.			
						Nº del dibujo		
EDI:	MOD:	FECHA:	NOM:				01.00.00	

Anexo 6. Tabla de factores de corrección de velocidad, para el método del flotador.

Tabla 11. Valores de k según la relación s/p y material del riachuelo				
S/p	Madera lisa o cemento	Madera áspera o ladrillo	Pared de pedruscos	Tierra
0.1	0.860	0.840	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.870	0.865	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.880	0.870	0.830	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.890	0.872	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771
1.0	0.895	0.875	0.844	0.778
1.2	0.895	0.876	0.847	0.786
1.4	0.895	0.877	0.850	0.794

Nota. Fuente (Dávila et al., 2010)

Anexo 7. Imágenes de la construcción del prototipo y validación del prototipo



Figura 78. Construcción de estructura



Figura 79. Pintado de estructura



Figura 80. Colocación de módulo solar



Figura 81. Colocación del sensor ultrasónico



Figura 82. Colocación de caja de control



Figura 83. Construcción de placa electrónica



Figura 84. Ubicación de dispositivos en el tablero de control



Figura 85. Validación de prototipo



Figura 86. Comprobación de dimensiones del canal



Figura 87. Medición de las dimensiones del Río Malacatos



Figura 88. Toma de resultados del río



Figura 89. Ubicación del prototipo en el río



Figura 90. Lugar de ubicación del prototipo en el río

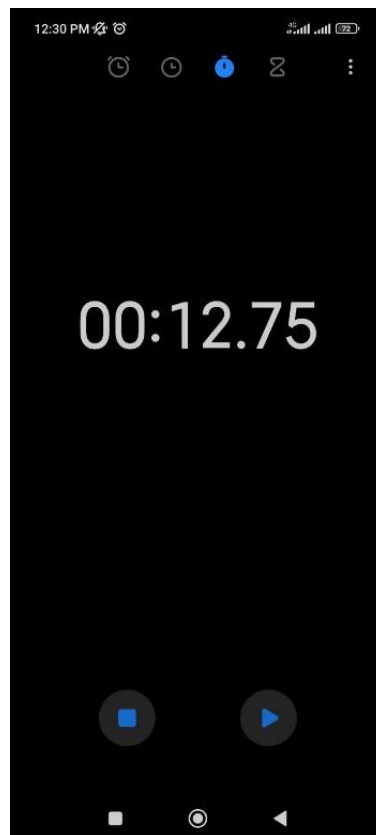


Figura 91. Toma de tiempo que recorre el flotador

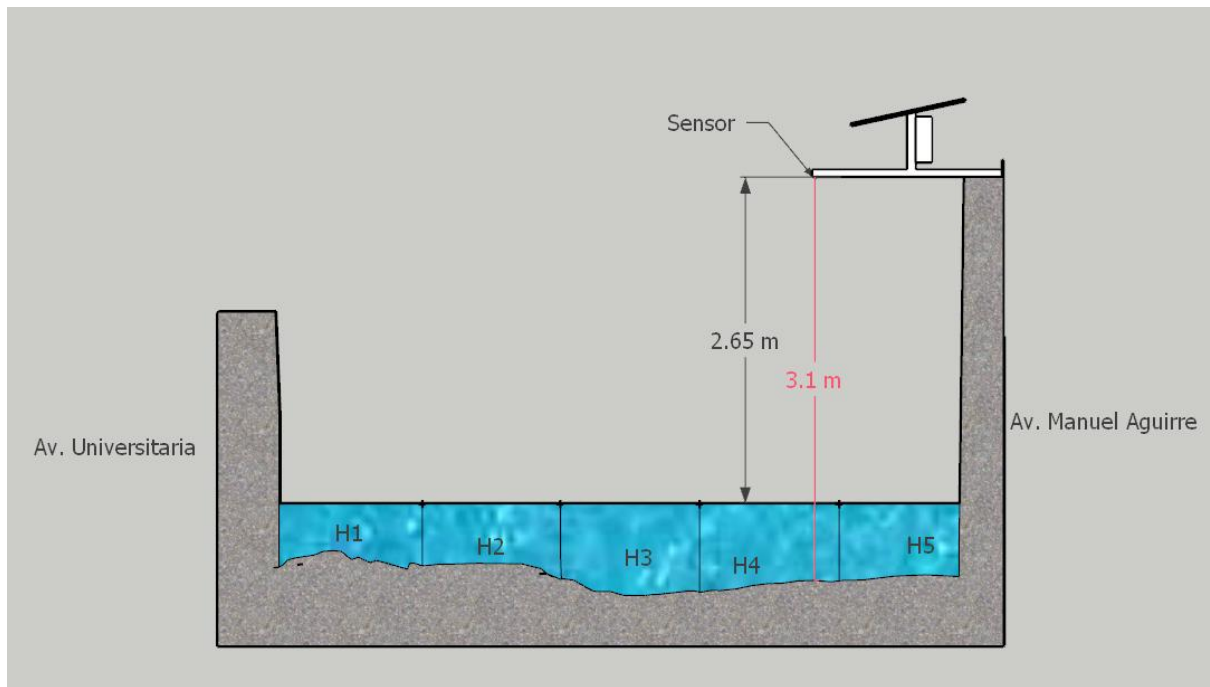


Figura 92. Esquema de ubicación de prototipo en el río

Anexo 8. Certificación de la traducción del resumen

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 8 de octubre del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR**

(registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: **Jimmy Alexander Tapia Salinas** con cédula de ciudadanía **No. 1104829278**, cuyo tema de investigación se titula: **“Tema de tesis: Diseño y construcción de un prototipo para la medición de parámetros hidráulicos de cauces naturales para el IZTEC”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ

Firmado digitalmente
por ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2024.10.08
11:54:44 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor