

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE FLUJOS DE RECURSOS HÍDRICOS**

#### **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL Y ACÚSTICO, CON CONTROL ELECTRÓNICO DE ENFOQUE PARA ADQUISICIÓN DE DATOS**

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

**VANEZA HIBETH FLORES MEDINA**

**vaneza.flores@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: PhD. EDUARDO FAUSTO ÁVALOS CASCANTE**

**eduardo.avalos@epn.edu.ec**

**DMQ, octubre 2022**

## **CERTIFICACIONES**

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



---

**Vaneza Hibeth Flores Medina**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Vaneza Hibeth Flores Medina, bajo mi supervisión.

---

**PhD. Eduardo Ávalos**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

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

Vaneza Hibeth Flores Medina

PhD.Eduardo Fausto Ávalos Cascante

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Joaquín y Mayra, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y siempre han estado apoyándome durante este proceso.

A mis hermanos Pamela y Joaquín, quienes han estado para motivarme y hacerme sonreír, en los momentos más difíciles.

A toda mi familia, quienes me apoyaron con palabras de aliento y siempre estuvieron pendientes de mi proceso, en especial a mi abuelita Julia, por todo el amor incondicional durante esta etapa.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fuerza y sabiduría para poder culminar este trabajo.

A mis padres Joaquín y Mayra, quienes me dieron el ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A mis hermanos Pamela y Joaquín, quienes me han brindado su compañía y apoyo.

A mi familia, en especial a mis tíos Diana, Juan, y a mi abuelita Julia, quienes han estado pendientes de mí, apoyándome y motivándome durante todo este proceso.

A mis amigos, en especial a Jannis, quien con su amistad y amor incondicional fue la mejor compañera de viaje a lo largo de toda la trayectoria universitaria.

A la Escuela Politécnica Nacional (EPN), en especial a los docentes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, por brindarme conocimientos sólidos para formarme tanto como ingeniera y como persona.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 MARCO TEÓRICO .....	3
1.4.1 MEDIDOR DE FLUJO ULTRASÓNICO .....	3
1.4.1.1 Medidor de flujo .....	3
1.4.1.2 Ultrasonido .....	4
1.4.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN UART .....	4
1.4.3 MÉTODO DE TRANSFERENCIA DE DATOS .....	8
1.4.3.1 Wi-Fi .....	8
1.4.3.2 Documento JSON .....	12
1.4.4 MICROCONTROLADOR CON CONEXIÓN WIFI .....	13
1.4.4.1 Términos generales .....	13
1.4.4.2 ESP8266 .....	13
1.4.5 SENSOR .....	15
1.4.5.1 Transductor ultrasónico TCT40-16R/T .....	15
1.4.5.2 Oscilador Royer.....	16
1.4.5.3 Emisor y Receptor AJK .....	17
1.4.6 SISTEMAS SIMILARES .....	17
1.4.6.1 Sensor Radar OPS7243 .....	17
1.4.6.2 Medidor de flujo ultrasónico de tiempo de tránsito TFX Ultra .....	18
1.4.6.3 Medidor de flujo ultrasónico ES-FLOW .....	19
<b>2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA .....	20
2.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	22
2.3 DESARROLLO DE HARDWARE .....	23

2.3.1	ALIMENTACIÓN.....	23
2.3.1.1	Interfaz RS232.....	25
2.3.2	MICROCONTROLADOR.....	25
2.3.3	CIRCUITOS ELECTRÓNICOS COMPLEMENTARIOS .....	27
2.3.3.1	Circuito del sistema acústico .....	27
2.3.3.2	Circuito de adquisición de datos.....	29
2.3.4	DISEÑO DE LA CAJA EN UN SOFTWARE 3D .....	32
2.3.4.1	Diseño para prototipo 0.....	32
2.3.4.2	Diseño para prototipo 1.....	34
2.4	DESARROLLO DE SOFTWARE .....	35
2.4.1	MICROCONTROLADOR.....	36
2.4.1.1	Inicialización .....	37
2.4.1.2	Conexión con la etapa de medición .....	39
2.4.1.3	Conexión con la etapa de procesamiento.....	42
2.4.1.4	Conexión con la etapa de alimentación .....	46
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
3.1	RESULTADOS .....	47
3.1.1	PROTOTIPO DE MEDIDOR DE FLUJO CON ADQUISICIÓN DE DATOS .....	47
3.1.1.1	Implementación prototipo 0.....	47
3.1.1.2	Implementación prototipo 1.....	48
3.1.1.3	Pruebas de funcionamiento.....	50
3.2	CONCLUSIONES .....	52
3.3	RECOMENDACIONES .....	53
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
5	ANEXOS .....	57
5.1	ANEXO A: DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES EN LA PCB .....	57
5.2	ANEXO B: MEDIDAS Y VISTAS DEL DISEÑO DE LA CAJA .....	59
5.3	ANEXO C: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	66
5.4	ANEXO D: MANUAL DE USUARIO .....	69
5.5	ANEXO E: VIDEO DE FUNCIONAMIENTO .....	77

## RESUMEN

En la actualidad, es importante el monitoreo del flujo que circula en las tuberías que conectan el sistema hídrico de la ciudad, con el fin de evitar consecuencias como los daños en las tuberías debido al exceso de agua que circula, es por esto que este trabajo se enfoca en la implementación de un sistema estructural y acústico, esta última característica hace referencia al uso de un detector que base su funcionamiento en la señal ultrasónica. Este dispositivo de adquisición de datos toma los valores entregados por el detector y el porcentaje de energía entregado por la etapa de alimentación, de manera que los encapsula para enviarlos por medio de WiFi, a la etapa de procesamiento. El dispositivo de adquisición de datos trabaja con una arquitectura cliente-servidor, de manera que envía los datos encapsulados a un servidor Web, etapa en donde se realiza el procesamiento de los datos, para mostrarse en una página web o aplicación.

**PALABRAS CLAVE:** WiFi, detector, ultrasonido, servidor Web



## **ABSTRACT**

Currently, it is important to monitor the flow that circulates in the pipes that connect the city's water system, in order to avoid consequences such as damage to the pipes due to excess water that circulates, which is why this work focuses on the implementation of a structural and acoustic system, this last characteristic refers to the use of a detector that bases its operation on the ultrasonic signal. This data acquisition device takes the values delivered by the detector and the percentage of energy delivered by the power stage, so that it encapsulates and sends them via WiFi to the processing stage. The data acquisition device works with a client-server architecture, so that it sends the encapsulated data to a Web server, a stage where the data is processed, to be displayed on a web page or application.

**KEYWORDS:** WiFi, detector, Web Server

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático es un factor que trae consigo un sin número de consecuencias en la intensidad con la que se comportan los fenómenos naturales. En el Ecuador, según el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI), existen altas probabilidades de precipitaciones en ciertas zonas del país, que dependen tanto de la ubicación geográfica como del cambio climático que el ser humano ha provocado a lo largo de los años [1]. De las lluvias excesivas, se derivan problemas, como el desbordamiento de los ríos y por ende el flujo excesivo de agua dentro de las tuberías, el mismo que puede ser el causante de fugas en las uniones de las tuberías. Para contrarrestar el problema de fugas que son consecuencia del flujo excesivo de agua lo ideal es contar con un sistema de monitoreo que permita conocer la cantidad de agua presente en este tipo de vías fluviales.

Dentro de todos los sistemas de monitoreo de flujo se encuentra el sensor ultrasónico el mismo que basa su funcionamiento en el uso de ondas ultrasónicas que presentan frecuencias por encima de los 20 kHz, es decir, están fuera del rango audible del ser humano y se transmiten a través del aire, en donde una vez que la onda se encuentra con un objeto se refleja, midiendo el tiempo que tarda desde la emisión hasta la recepción de la onda. Al tratarse de un sistema que se caracteriza por no requerir del contacto directo con el flujo para realizar una medición, además, de aportar como un sistema de prevención para fugas, resulta conveniente para ciertos organismos en el país la implementación del mismo debido a los beneficios que puede aportar.

Una vez planteado el contexto de operación para este sistema de monitoreo, se propone el siguiente trabajo, que consiste en el desarrollo y la implementación de un sistema estructural y acústico con su respectivo sistema de adquisición de datos electrónico, de tal manera que se mantenga bajo un constante monitoreo la medición de los flujos que se presentan en una tubería.

Para el desarrollo de este trabajo se plantea empezar por una investigación, la misma que se enfoca en analizar el detector ideal para la medición del caudal, además de investigar acerca de los elementos que complementarán al equipo. Luego, se seleccionarán los elementos, para desarrollar el hardware, así como el diseño de la estructura externa y el sistema de adquisición de datos, mediante el uso de herramientas de software, para después realizar la implementación del equipo y las pruebas de funcionamiento, a partir de

las cuales se realizarán las respectivas calibraciones y ajustes finales de manera que se pueda comprobar el correcto funcionamiento para medir flujos en una tubería.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar e implementar un sistema de tipo estructural y acústico con control electrónico de enfoque para realizar la adquisición de datos de mediciones de flujo en una tubería sin tener contacto directo con el líquido a medir.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Revisar y analizar la información bibliográfica de los sistemas ultrasónicos y su aplicación en los sistemas de monitoreo de flujo para implementar estos conceptos en el desarrollo del dispositivo.
2. Seleccionar los elementos necesarios para la implementación del hardware y desarrollo del software y realizar el diseño de la estructura externa del equipo.
3. Establecer el método de comunicación que usará el sistema para el proceso de adquisición de datos desde la etapa de medición y alimentación y para el envío de información hacia el sistema de procesamiento.
4. Desarrollar e implementar el hardware y software del equipo de medición de flujo con adquisición de datos y envío para el sistema de procesamiento.
5. Validar el correcto funcionamiento del equipo de medición de flujo mediante el desarrollo de pruebas en sistemas de tuberías.

## **1.3 ALCANCE**

Se realizará una revisión bibliográfica acerca de los medidores de flujo desarrollados con base al sistema ultrasónico, realizando un enfoque en sus características de medición y adquisición de datos, así como la estructura que manejan este tipo de sensores.

Se describirá el microcontrolador que permitirá establecer las comunicaciones necesarias con el dispositivo de procesamiento de datos y realizar el sistema de adquisición de datos.

Se seleccionará cada uno de los elementos que integrarán el hardware del equipo, tomando como base equipos comerciales o comunes que se han analizado previamente, para integrar el sistema en una sola estructura, la misma que se diseñará de acuerdo a las necesidades para su posterior impresión en 3D.

Se establecerá el método que manejará el equipo para la correcta adquisición de datos y la comunicación que utilizará para el envío de los datos hacia el sistema de procesamiento, de manera que el equipo en campo pueda establecer comunicación con un dispositivo de supervisión para mantener bajo monitoreo constante el flujo en una tubería.

Se seleccionará el software que permita la adquisición de datos, y el envío de estos datos a la etapa de procesamiento.

Se realizará el desarrollo de la implementación del sistema de medición de flujo, en donde se incluye el desarrollo del circuito que permite la toma de datos, así como los dispositivos electrónicos necesarios que permitirán implementar la comunicación con los dispositivos de procesamiento, además, se desarrollará la estructura en donde se integrará todo el sistema de monitoreo.

Se ejecutará la implementación del equipo en sistemas de tubería para probar el funcionamiento de manera que se puedan realizar correcciones como calibración y ajuste, para lograr un correcto funcionamiento del equipo de medición de flujo.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

### **1.4.1 MEDIDOR DE FLUJO ULTRASÓNICO**

Existe un sinnúmero de medidores de flujo que usan en la actualidad y pueden clasificarse con base a su principio de funcionamiento, es por esto que para seleccionar un medidor de flujo es necesario analizar la naturaleza del fluido, es decir, si es líquido, gaseoso, con o sin partículas, sucio o limpio, la variable que se desea medir ya sea velocidad o caudal, así como el medio por el que se desee realizar la medición.

#### **1.4.1.1 Medidor de flujo**

Un medidor de flujo es un dispositivo que permite la medición del caudal ya sea másico o volumétrico de un líquido o un gas en un determinado proceso, esto con el objetivo de mantener un control del caudal que circula, de manera que brinda la posibilidad de mostrar estos valores para tomar decisiones preventivas dependiendo del proceso.

El medidor de flujo presenta dos tipos de medición de fluidos que se consideran básicos, el flujo másico y el flujo volumétrico. Cuando el sistema mide flujo másico, las unidades que se muestran son de masa como kg/h o g/min, mientras que cuando se trata de flujos volumétricos las unidades que se manejan son ml/min o m<sup>3</sup>/h. También presentan diferentes principios de funcionamiento, los mismos que presentan sus respectivas ventajas y desventajas, entre los métodos más comunes están: principio de medición

térmica, coriolis, ultrasonido, presión diferencial, desplazamiento positivo, magnético inductivo, etc [2].

Para la selección de un medidor de flujo es importante identificar el tipo de aplicación ya que se pueden descartar opciones fácilmente, ya que dependiendo la aplicación se utiliza el tipo de medidor de flujo.

#### **1.4.1.2 Ultrasonido**

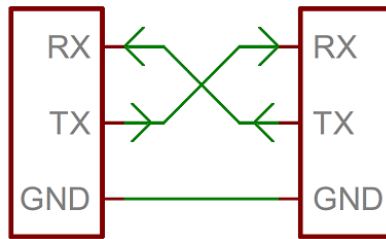
El ultrasonido consiste básicamente en ondas de sonido de frecuencias superiores a los 20 kHz, es decir, está fuera del rango audible para el ser humano. En medicina es utilizado como un método no invasivo para visualizar en tiempo real en el interior del organismo, también es conocido por ser un sistema que facilita la medición de velocidad y direccionamiento de un flujo sanguíneo dentro de un vaso [3].

Es por esto que este principio también es usado en los medidores de flujo, ya que es un dispositivo de tipo electrónico que permite realizar mediciones de la distancia, tiempo, caudal, entre otras variables. Este tipo de medidores que basan su funcionamiento en el ultrasonido presentan dos componentes fundamentales, correspondientes al emisor y al receptor, en donde uno emite la onda de sonido, mientras que el otro recibe la onda, respectivamente. Con este principio los sensores de ultrasonido no solo se pueden utilizar como medidores de flujo, sino también como sensores de proximidad.

Existen algunos métodos de medición con ultrasonido, tal es el caso del efecto Doppler y tiempo de vuelo. El efecto Doppler se caracteriza por tratar de una onda acústica que aumenta y disminuye su frecuencia dependiendo si la fuente que la produce se acerca o se aleja del receptor, mientras que el tiempo de vuelo, consiste básicamente en la medición del tiempo que tarda la onda en viajar del emisor al receptor. A partir de estas mediciones, se pueden obtener magnitudes como velocidad, caudal, etc.

#### **1.4.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN UART**

UART es un protocolo de comunicación serial que se caracteriza por permitir la transmisión y recepción de datos bit a bit a través de cable. Este es un tipo de comunicación periférica de hardware. Su método de conexión integra 3 cables dos para datos y uno para tierra. [9]



**Figura 1.1.** UART conexión [9]

En este protocolo los datos se pueden transmitir de manera síncrona o asíncrona, en donde se reciben los datos en paralelo, se los convierte en datos en serie y se transmiten. Se requiere de los datos y de un reloj para trabajar en modo síncrono, mientras que en modo asíncrono solo se requiere de los datos [8].

Una característica importante es que, en el modo síncrono, la transferencia de los datos se realiza a una velocidad constante, mientras que en el modo asíncrono la velocidad de transmisión no tiene que ser constante. Además, por lo general los datos en modo síncrono se transfieren en forma de bloques y en modo asíncrono se transfieren en bytes [8].

Entonces, se define a UART como un protocolo de comunicación, el mismo que es el conjunto de reglas para realizar la transmisión de datos, y el medio por el cual se realiza esta transmisión es definido como interfaces de comunicación.

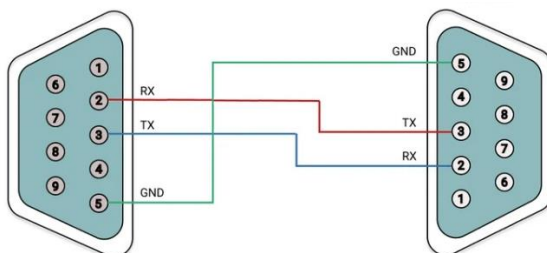
Se describen dos tipos de interfaces más comunes, que se pueden utilizar con este protocolo de comunicación.

#### **1.4.2.1 Interfaz RS232**

La interfaz RS232 es una de las más conocidas y antigua. Se caracteriza porque fue desarrollada como una interfaz que permite establecer comunicación punto a punto, en donde se dispone de un DTE o Data terminal Equipment y un DCE, Data Communications Equipment, computador y módem, respectivamente, pero actualmente se puede establecer conexión entre dos computadoras o un periférico y una computadora.

Los datos con los que trabaja RS232, consisten básicamente en una serie de impulsos, los mismos que se decodifican en el receptor. De manera que se define como una interfaz flexible para la transmisión y recepción de impulsos eléctricos, que una vez decodificados, permiten establecer los datos de la transmisión [6].

Para la conexión, se puede establecer cables de tipo DB9, como se muestra en la Figura 1.2, pero actualmente se ha simplificado el uso de las señales a TX, RX y GND, ya que se puede establecer correctamente la transmisión de datos.



**Figura 1.2.** Conexión cable DB9 [7]

A continuación, se muestran las características más importantes de esta interfaz.

**Tabla 1.1.** Características de RS232

Característica	Especificación	Unidades
<b>Operación</b>		
<b>Distancia máxima de transmisión</b>	15	Metros
<b>Velocidad máxima de transmisión</b>	19.2	kbps
<b>Número de transmisores</b>	1	
<b>Número de receptores</b>	1	
<b>Resistencia terminadora</b>	120	Ohmios
<b>Topología</b>	Punto punto	

Esta interfaz se caracteriza por operar en modo half-duplex o full-duplex. Half-duplex quiere decir que se realiza una transmisión a la vez, en donde se envía o se recibe, pero no ocurren juntas, mientras que full-duplex, permite recibir y enviar datos al mismo tiempo.

#### 1.4.2.2 Interfaz RS485

RS485 es una interfaz de comunicación que se presenta como una versión mejorada de la interfaz de comunicación RS-232. Se caracteriza porque permite la transmisión de los datos por medio de dos cables trenzados de manera diferencial, es decir, uno de los cables transmite la señal original y el otro transmite la señal inversa, hacia otro dispositivo electrónico, con un tercer cable que corresponde a tierra [8]. En la siguiente Tabla, se especifican las características más importantes de esta interfaz:

**Tabla 1.2.** Características interfaz RS485

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>	<b>Unidades</b>
<b>Operación</b>	Diferencial	
<b>Distancia máxima de transmisión</b>	1200	Metros
<b>Velocidad máxima de transmisión</b>	10	Mbps
<b>Voltaje máximo de transmisor y receptor</b>	-7 a 12	Voltios
<b>Número de transmisores</b>	32	
<b>Número de receptores</b>	32	
<b>Resistencia terminadora</b>	120	Ohmios
<b>Sensibilidad de cada receptor</b>	+/- 200	Mili Voltios
<b>Topología</b>	Multipunto	

La velocidad se caracteriza porque depende directamente de la longitud que se presente entre dispositivos, es decir, se presenta menor velocidad es porque existe mayor distancia mientras que si se presenta mayor velocidad es porque existe una distancia mínima [5].

El voltaje diferencial en el par, se puede presentar en 3 valores lógicos [6]

- Sí (VA-VB) está entre 1.5 y 6 Voltios es 0 lógico
- Sí (VA-VB) está entre -1.5 y 6 Voltios es 1 lógico
- Impedancia alta: Esto ocurre cuando el transmisor no tiene corriente y simula no estar conectado, razón por la que para activar el dispositivo necesita de un pin de control.

En el tercer caso se tiene la posibilidad de operar tanto en el modo full-dúplex, en donde se usa dos pares de cables, uno para la transmisión y otro para la recepción de los datos, como en el modo half-dúplex, en donde se utiliza un solo par trenzado para la transmisión y recepción de datos de hasta 32 dispositivos.



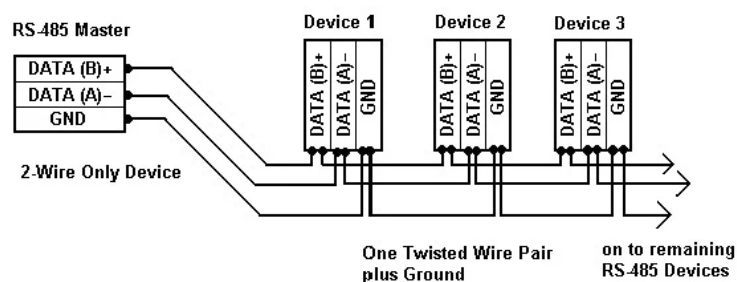


Figura 1.3. RS485 conexión Half Duplex [8]

### 1.4.3 MÉTODO DE TRANSFERENCIA DE DATOS

#### 1.4.3.1 Wi-Fi

El Wi-Fi se define como una tecnología inalámbrica que permite la conexión de distintos tipos de dispositivos a Internet, consiste básicamente en una señal de radio enviada por un enrutador a un dispositivo dentro de un área común, de manera inalámbrica, el mismo que traduce esta señal en una señal de datos, de manera similar el dispositivo envía la señal de radio al enrutador, el mismo que se conecta a la red de Internet [9].

A continuación, se describen algunas ventajas y desventajas de usar redes WiFi:

Tabla 1. 3. Ventajas y Desventajas del WiFi

Ventajas	Conexión inalámbrica	No se requiere de cables, lo que permite realizar una conexión “más limpia”, es decir no existen cables cruzados en el área de instalación.
	Comodidad	Al no utilizar cableado, permite libertad de movilidad dentro del área de alcance, ya sea con el computador, celular, o cualquier otro dispositivo.
	Coste	El hecho de omitir el cableado, reduce el coste de una red WiFi.

	Compatibilidad	Según la WiFi Alliance, se asegura la compatibilidad de esta tecnología WiFi, con cualquier dispositivo [9].
Desventajas	Velocidad	Al tratarse de una conexión inalámbrica varios factores pueden repercutir en la velocidad de la conexión [9].
	Latencia	De manera similar al punto anterior, el hecho de tratarse de una conexión inalámbrica, los factores externos pueden generar lags en la reproducción del contenido multimedia [9].
	Interferencias	El uso de electrodomésticos y dispositivos electrónicos que pueden generar ondas que interfieran en la red WiFi, así como paredes o muros limitan el correcto funcionamiento de este tipo de red inalámbrica.
	Microcortes	Varias de estas limitaciones mencionadas en los puntos anteriores pueden ocasionar cortes de conexión, generando malestar en los usuarios.

#### 1.4.3.1.1.1 HTTP Rest API

API es la interfaz del programa de aplicación, la misma que se define como un grupo de reglas que posibilita la comunicación entre diferentes programas, es decir, describe el método apropiado para que se desarrolle un programa en el servidor permitiéndole

comunicarse con varios clientes. Al tener dos o más aplicaciones, estas se pueden interconectar a través de API para permitir el intercambio de datos y la ejecución de sus funciones [10].

Para entender lo que es API REST, en un principio se ha definido el término API, mientras que REST se define como la metodología para desarrollar los servicios de Internet. Entonces la API REST, se determina como una interfaz de programación de aplicaciones de transferencia de estado [10]. Por medio de solicitudes HTTP las API REST se comunican para ejecutar las funciones básicas. Todos los tipos de HTTP pueden ser utilizados en pedidos API.

A continuación, se describen las características y principios REST.

**Tabla 1. 4.** Características y principios REST para el diseño de API

API REST		
Características	Escalabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite escalar productos, es decir, capacidad de adaptabilidad a pesar de que el cliente y el servidor se encuentren separados</li> <li>- Facilidad de integración de REST [10].</li> </ul>
	Flexibilidad y Portabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad para comunicación, a pesar de que el servidor y cliente se alojen en servidores distintos.</li> </ul>
	Independencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al estar separados el cliente y el servidor, se facilita el desarrollo de cada una de las áreas de manera autónoma.</li> </ul>
Principios REST para el diseño de API	Servidor cliente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cliente y el servidor se deben aislar para su desarrollo autónomo, de manera que se optimicen</li> </ul>

		<p>cada una de las partes, y desarrollen lo que les corresponde.</p>
	Apátrida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las API no presentan un estado específico, es por esto que cada solicitud es independiente y debe constar con la información que se necesite [10].</li> </ul>
	Caché	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dentro de las solicitudes se debe especificar la solicitud caché, para que se puedan reciclar los datos [10].</li> </ul>
	Interfaz Uniforme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al contar con una interfaz uniforme se requieren diferentes controles para asegurar el correcto funcionamiento de los elementos en la arquitectura.</li> </ul>
	Sistema de capas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La arquitectura de API REST, se constituye de capas que permiten desarrollar una aplicación más estable, y segura ya que los elementos de cada capa no interactúan con los elementos de capas superiores</li> </ul>
	Código bajo demanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimiza características para la implementación del cliente.</li> </ul>

## **Peticiones y Respuestas**

En este medio de comunicación se realizan peticiones HTTP desde el cliente hacia el servidor, el mismo que envía sus respuestas HTTP hacia el cliente por medio de códigos numéricos.

Dentro de las peticiones HTTP más comunes están:

POST: Permite la generación de datos

GET: Permite leer los datos en el host

DELETE: Permite eliminar información

PUT: Permite registrar las actualizaciones

[11]

Dentro de los códigos de respuesta comunes están:

200: Ok

401: No tiene acceso autorizado

404: El recurso no se encuentra

500: El servidor interno presenta un error.

[12]

### **1.4.3.2 Documento JSON**

Este formato se usa para transferir datos de manera estructurada entre un cliente y un servidor Web. Se debe destacar que JSON, es una notación que permite transferir datos mas no es un lenguaje de programación.

Un documento JSON se compone por pares de nombre y valor. El nombre se refiere al elemento identificador, es decir la clave que es solo de tipo Sting, mientras que los valores corresponden al contenido y pueden ser de distintos tipos, ya sea string, array,number,etc [13].

El documento JSON permite estructurar los datos correctamente de tal manera que se puede usar en cualquier sistema operativo, así como en cualquier lenguaje de programación.

#### **1.4.4 MICROCONTROLADOR CON CONEXIÓN WIFI**

Los microcontroladores son dispositivos que se caracterizan por ser el cerebro de una aplicación embebida. Es decir, es el circuito integrado que permite desarrollar el control de los elementos que hacen parte de una aplicación y pueden ser tanto elementos de entrada como elementos de salida.

Primero se realiza un análisis de manera general de los conceptos que definen al microcontrolador que trabaja con una red Wi-Fi para la transmisión de datos, de manera que se pueda seleccionar el microcontrolador apropiado para la aplicación.

##### **1.4.4.1 Términos generales**

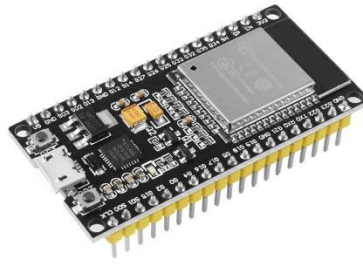
**Gateway**, se define como la puerta de acceso para establecer la comunicación con varios entornos [11]. Se puede comunicar por medio de distintos estándares y con equipos de diferentes redes. Es el intermediario de la comunicación entre los dispositivos instalados en campo y los sistemas de supervisión y control.

**Acces Point**, se define como el dispositivo que permite establecer la conexión de manera inalámbrica entre distintos equipos. Permite crear un punto de acceso inalámbrico o llevar conexión a donde no existe.

Nótese que se determina como Gateway a la puerta de acceso para ejecutar la comunicación tanto con la etapa de procesamiento de datos como con la etapa de medición. Es por esto que el dispositivo usado para establecer la transmisión de datos se lo define como un Gateway.

##### **1.4.4.2 ESP8266**

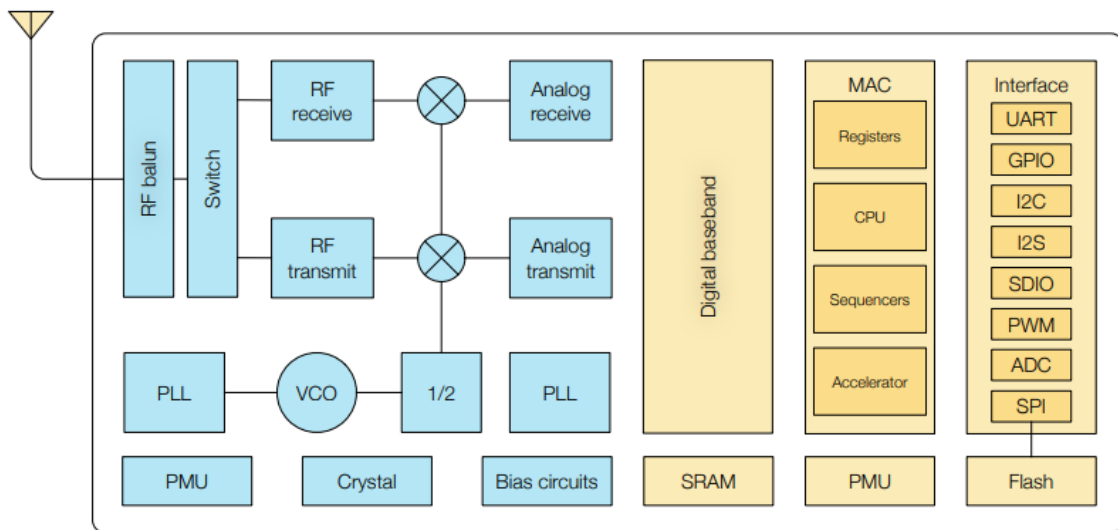
Este microcontrolador pertenece a la familia de Espressif Systems, además de caracterizarse por su bajo consumo energético gracias a que presenta funciones para el ahorro de energía, además de su bajo coste [10].



**Figura 1.4.** ESP8266 [10]

ESP8266 es una placa de desarrollo que se caracteriza por tener la capacidad de cumplir con varias funciones y por ser superior a Arduino, convirtiéndose en un excelente microcontrolador para realizar proyectos que requieran comunicación tanto WiFi, Bluetooth, UART, SPI, I2C, etc. Además de contar con una memoria flash de 520 KB [12].

A continuación, se presenta una imagen en donde se visualizan todos los bloques que integran el SoC ESP8266, además se puede observar en la Tabla 1.5, la descripción de cada una de las secciones de manera general.



**Figura 1.5.** Bloque funcional ESP8266

**Tabla 1. 5.** Características ESP8266

	Característica	Detalle
Conectividad inalámbrica	Conectividad WiFi	- Compatible con 802.11 b/g/n en la banda de 2.4 GHz

		- Velocidades de hasta 72.2 Mbps [10]
	Bloque de radio	- Bloque que permite transmitir y recibir la información del bloque de conectividad WiFi.
Núcleo	Tensilica L106 de 32 bits	- Microprocesador de bajo consumo energético.
Memorias	Internas	- Son memorias que se incluyen en el dispositivo
	Externas	- Se agregan para extender la capacidad del dispositivo

### 1.4.5 SENSOR

Dentro de los elementos más importantes que integran el dispositivo, están los sensores, que son los elementos encargados de tomar la información directa de campo, por lo que se han seleccionado sensores que basan su funcionamiento en el ultrasonido, con efecto Doppler y tiempo de vuelo de la onda ultrasónica, permitiendo finalmente obtener el caudal.

Primero se realiza un análisis de los posibles elementos que pueden integrar el dispositivo, es por esto, que a continuación se describen algunos de ellos.

#### 1.4.5.1 Transductor ultrasónico TCT40-16R/T

El transductor ultrasónico TCT40-16R/T, consiste en un sensor dividido ya que se presentan dos piezas, una que corresponde al elemento emisor y otra que corresponde al elemento detector [12]. Este transductor, permite trabajar con una frecuencia de 40 KHz y presenta una sensibilidad en el receptor de  $\geq 65\text{dB}$  [10].





**Figura 1.6.** Transductor ultrasónico [10]

Entre las características más importantes se encuentra el diámetro de 16 mm, con un espacio entre pines de 10 mm, y que no cuenta con la potencia necesaria para traspasar ningún tipo de material, es decir, que al instalarse por fuera de una tubería no se obtendría la señal adecuada.

#### **1.4.5.2 Oscilador Royer**

Es un dispositivo que se encarga de generar oscilaciones estables en formas cuadrada y rectangular de acuerdo a la frecuencia que se requiera mediante un transformador, de manera que el oscilador genera las ondas de forma sinusoidal [14].

El oscilador Royer se compone por un circuito en donde se realiza la rectificación y filtrado de la señal y se compone por dos transistores y un transformador que permiten generar la onda ultrasónica.

Este circuito se caracteriza por contar con un transductor piezoeléctrico de material cerámico, ideal para generación de ondas ultrasónicas. Los transductores de tipo piezoeléctrico son muy comunes gracias a sus ventajas como bajo mantenimiento, alto rendimiento y estabilidad, además de operación en alta frecuencia [15].

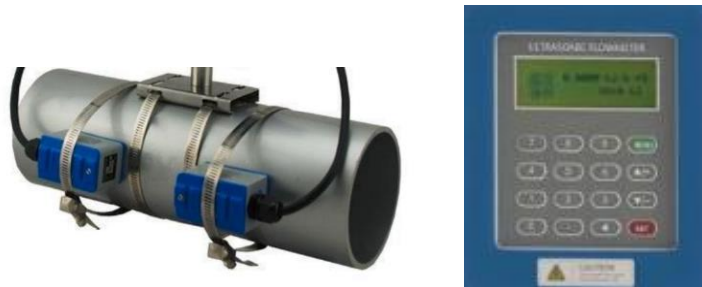
Por lo expuesto en el párrafo anterior se puede determinar que al emitir la onda con este oscilador se presentaría mayor potencia que con el transductor TCT40-16R/T, de modo que al presentarse mayor potencia la señal podrá atravesar cualquier tipo de material o estructura en donde se desee instalar el dispositivo.

El diseño de la PCB de este sistema de generación de onda ultrasónica se realiza en la etapa complementaria a este Trabajo de Integración Curricular con el tema “Diseño y acondicionamiento del sistema de control del sensor ultrasónico para la obtención de información del flujo y de la velocidad superficial” correspondiente a Dennis Pinchao.

### 1.4.5.3 Emisor y Receptor AJK

Este elemento compuesto por un transductor, emisor y detector de tipo ultrasónico con efecto Doppler y tiempo de vuelo, permite conFigurar ciertos parámetros por medio de un teclado y pantalla que junto a un sistema de acondicionamiento se compactan en un solo medidor. Los parámetros que son conFigurables dentro de este dispositivo son, la distancia que existe entre el emisor y detector y datos adicionales como el diámetro de la tubería y el espesor de la misma.

El dato que se obtiene como salida de este emisor-receptor, después de su etapa de acondicionamiento es un dato de corriente de 4 a 20 mA, la misma que se puede tratar para el proceso de adquisición de datos a partir de la cual también se podrá obtener el caudal que circula dentro de la tubería.



**Figura 1.7.** Emisor y Receptor AJK

Nótese que este dispositivo al contar con su propia tarjeta electrónica para el filtrado de la señal ultrasónica, refleja en su pantalla el valor del flujo que circula en la tubería, es por esto que se lo puede utilizar en la calibración de la adquisición de datos.

### 1.4.6 SISTEMAS SIMILARES

En esta sección del documento se describen algunos equipos y trabajos similares al planteado, de los cuales se analizarán características, elementos que los componen y el principio en el que basan su funcionamiento.

#### 1.4.6.1 Sensor Radar OPS7243

El sensor de radar OPS7243, se caracteriza por ser una de las mejores soluciones para detectar movimiento, velocidad, dirección, etc. Se caracteriza por presentar una carcasa de tipo IP67, es decir, soportable para cualquier tipo de clima, lo que permite instalar al dispositivo en el exterior. La información tomada por el dispositivo se puede transmitir por medio de USB, RS32 O WiFi. Además, puede controlar la frecuencia de muestreo, niveles

de potencia, modificar reportes entre otras funciones adicionales. Este dispositivo trabaja con el principio de ultrasonido Doppler, técnica que permite obtener el valor de las distintas variables que puede medir este dispositivo [2].

El efecto Doppler en el que basa su funcionamiento este sensor se caracteriza por trabajar con ondas acústicas que presentan movimiento relativo entre el elemento emisor y receptor [14]. En el diario vivir, se presentan numerosos ejemplos de este efecto, uno de ellos es cuando la sirena de la ambulancia se activa, el sonido se acerca y por ende es más agudo, es decir, las ondas incrementan su frecuencia, mientras que cuando se aleja la frecuencia disminuye. Es decir, cuando se acerca las ondas parecen unirse, y cuando se aleja las ondas parecen separarse.



**Figura 1.8.** Sensor OPS7243 [2]

#### **1.4.6.2 Medidor de flujo ultrasónico de tiempo de tránsito TFX Ultra**

Este es un medidor ultrasónico de flujo que trabaja con el tiempo de tránsito de la onda. Este dispositivo permite medir el flujo volumétrico y de energía de líquidos, los mismos que pueden ser limpios o presentar sólidos suspendidos, pero en cantidades pequeñas. El principio de operación de este dispositivo consiste en transmitir las ondas ultrasónicas desde la pared exterior de la tubería hasta llegar a la parte interna en donde está el líquido. A partir del tiempo de vuelo que tarda la onda, se puede determinar la velocidad con la que fluye el líquido además de calcular el flujo volumétrico. Para realizar la medición de energía, usa RTD dobles que permiten medir la diferencia de temperatura entre zonas o entre equipos. Puede medir flujo bidireccional y cuenta con una pantalla digital para mostrar las medidas que se toman [15].

Este es un dispositivo que de manera similar al dispositivo anterior trabaja con el principio del ultrasonido, es decir, el principio de funcionamiento consiste en el movimiento de una onda acústica entre el emisor y receptor, pero se diferencia por el método que utiliza para la determinación de las medidas, ya que este integra el concepto del tiempo de vuelo, en

donde es importante la precisión con la que se mide el tiempo en que tarda la onda emitida en chocar con un elemento y regresar al receptor. Además, cuenta con su propio sistema para adquisición y procesamiento de datos, de manera que se muestra el valor del caudal en la pantalla que integra el dispositivo.



**Figura 1.9.** Medidor TFX Ultra [15]

#### **1.4.6.3 Medidor de flujo ultrasónico ES-FLOW**

Este medidor está enfocado para medir flujos pequeños, en un rango de 4 hasta 1500 ml, dentro de este rango se asegura alta precisión y baja caída de presión. El principio del ultrasonido se aplica dentro del tubo, el mismo que debe presentar especificaciones pequeñas. Presenta una estructura con una pantalla digital, en donde se muestra la interfaz. Además, de contar con un control PID interno, el mismo que puede utilizarse para el accionamiento de válvulas o bombas [16].



**Figura 1.10.** Medidor de flujo ES-FLOW [4]

Nótese que por la estructura de este dispositivo es necesario realizar una instalación estructurada, en donde incluso es necesario el corte de la tubería por donde pasa el fluido, sin embargo, una vez instalado se puede notar que tiene beneficios como la pantalla digital, además que de manera similar al sistema anterior cuenta con su propio sistema de adquisición y procesamiento de datos.

Luego de haber realizado un análisis de los elementos que podrían integrar el sistema, así como de elementos comerciales similares, se procede a desarrollar la implementación del equipo, en donde se describen los elementos seleccionados que conformarán el hardware, así como el desarrollo del software, proceso que se describe en el siguiente capítulo.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Con base al análisis que se ha desarrollado acerca del principio de funcionamiento con el que trabajará el dispositivo, además de investigar dispositivos comerciales similares, se describen los requerimientos de las etapas que conforman el hardware y software en la Tabla 2.1 y en la Tabla 2.2 respectivamente.

**Tabla 2. 1.** Requerimientos de hardware

Requerimiento	Detalle	Objetivo en el desarrollo
Desarrollo e implementación de las placas diseñadas en el Trabajo de Integración Curricular con el tema “Diseño y acondicionamiento del sistema de control del sensor ultrasónico para la obtención de información del flujo y de la velocidad superficial” de Dennis Pinchao para generación y recepción de la onda ultrasónica.	Placa de circuito impreso implementada.	- Generar y recibir ondas ultrasónicas.
Diseño, desarrollo e implementación del sistema de adquisición de datos.	Placa de circuito impreso implementada.	- Adquirir datos desde la etapa de medición. - Integrar a la PCB un puerto de comunicación RS232 para adquisición de datos desde la etapa de alimentación.
Estructura resistente a variaciones ambientales.	El prototipo tiene una estructura que	- Diseñar en 3D la estructura externa.

	protege a los elementos electrónicos del entorno en el que se instala.	- Proteger el sistema electrónico instalado internamente.
--	--	---

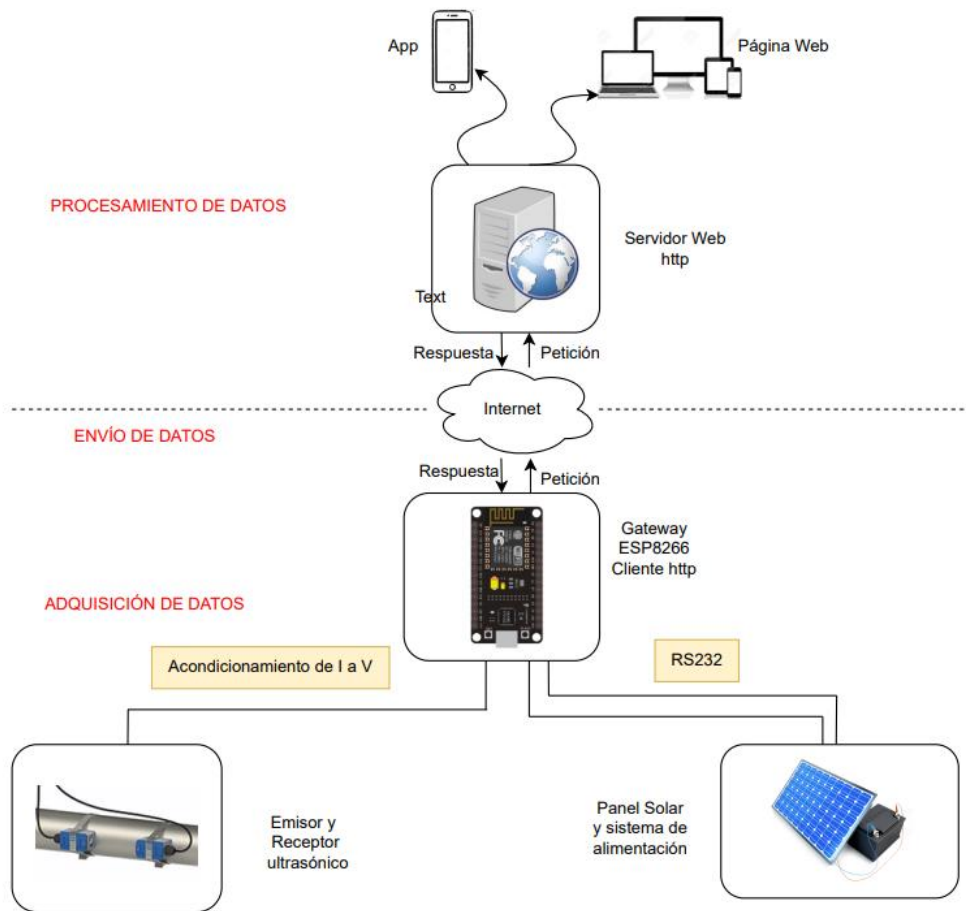
**Tabla 2. 2.** Requerimientos de software

Requerimiento	Detalle	Objetivo
Capacidad de adquisición de datos	Se obtiene el valor que entrega el sistema de medición en la tarjeta de adquisición de datos	- Adquirir el valor en tiempo real de la medición y acondicionarlo a un valor de caudal de 0 a 100 m <sup>3</sup> /h.
Comunicación con un equipo de supervisión para realizar la transmisión de datos, de caudal y de nivel de energía.	La tarjeta de adquisición de datos transmite los datos a la etapa de procesamiento de datos. El medio utilizado para la transmisión de datos es el WiFi.	- Desarrollar la interfaz API REST por medio del protocolo HTTP, para establecer comunicación con la etapa de procesamiento.
Comunicación con la etapa de alimentación que fue desarrollada en el Trabajo de Integración Curricular con el tema "Diseño y desarrollo del sistema de energía y control fotovoltaico para la alimentación del sistema de captación y análisis de sistemas fluviales" desarrollado	La adquisición de datos desde la etapa de medición se ejecuta mediante comunicación RS232.	- Establecer la comunicación con la etapa de alimentación. - Adquirir el dato de nivel de energía para conocer si es necesario cargar la fuente de alimentación.

por Carlos Pozo, con la finalidad de adquirir los niveles de energía, y prevenir una descarga total de la fuente que alimenta el prototipo.		
---	--	--

## 2.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema permite representar la correlación de los componentes y funciones del hardware y software de un sistema. Es por esto, que para entender la estructura de este prototipo sus funcionalidades se describen en la Figura 2.1 En donde se puede visualizar como se desarrolla la adquisición de datos desde campo por medio del Gateway. La arquitectura está compuesta por el emisor-receptor en el nivel inferior, seguido de la puerta de acceso o Gateway, que a través del WiFi permite transferir los datos adquiridos a la etapa de procesamiento.



**Figura 2.1.** Arquitectura del sistema

Para obtener los datos desde la alimentación se aplica el protocolo RS232, ya que tanto la etapa de medición como la de alimentación se instalan juntos, razón por la cual estas pueden estar conectados de manera serial. Mientras que, para establecer la conexión con el servidor, se utiliza la red WiFi como medio de comunicación.

## 2.3 DESARROLLO DE HARDWARE

### 2.3.1 ALIMENTACIÓN

El dispositivo consta con un equipo de alimentación autónoma desarrollada como parte complementaria. La alimentación que se requiere para la tarjeta de adquisición de datos es de 5 Voltios, el mismo que es suministrado por un sistema fotovoltaico que hace uso de un panel solar para adquirir la energía y almacenarla en una batería.

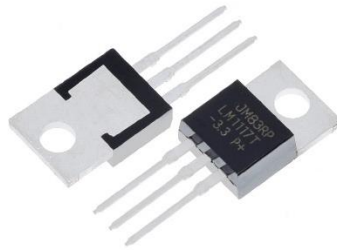




**Figura 2.2.** Sistema fotovoltaico

Dentro de la placa digital del sistema de adquisición de datos se utiliza un regulador, el mismo que permite obtener un valor de 3.3 Voltios que alimentarán la ESP8266. El consumo energético de este sistema dependerá netamente de la constancia con la que se use el mismo.

El regulador que se utiliza para esta aplicación es un LM1117, el mismo que se caracteriza por tener una salida de 3.3 Voltios y una entrada de hasta 20 Voltios y una de sus características más importantes es que tiene un bajo nivel de ruido [21].



**Figura 2.3.** Regulador LM1117 [21]

El dato que se adquiere desde la etapa de alimentación es el porcentaje de batería, el mismo que se envía al sistema de procesamiento, para mostrarse en la pantalla de la aplicación y de la página web.

Para realizar la transmisión de los datos entre el sistema de alimentación y el sistema de adquisición de datos se hace uso de la interfaz RS232, la misma que permite el intercambio de datos, que en este caso corresponden al porcentaje de batería.

Se selecciona la interfaz RS232, ya que, al tratarse de la transmisión de datos entre dos puntos, se puede determinar como una conexión de topología punto a punto, que se caracteriza por ser sencilla de implementar y menos costosa. Es por esto, que se descarta el uso de la interfaz RS485 para esta aplicación, ya que implica la implementación de más elementos de hardware y por ende el incremento de su costo.

### 2.3.1.1 Interfaz RS232

En el capítulo anterior se describen las características más importantes de la interfaz RS232, es por esto que en la Figura 2.4, se puede visualizar como se realiza la conexión de hardware entre la etapa de alimentación y la de adquisición de datos.

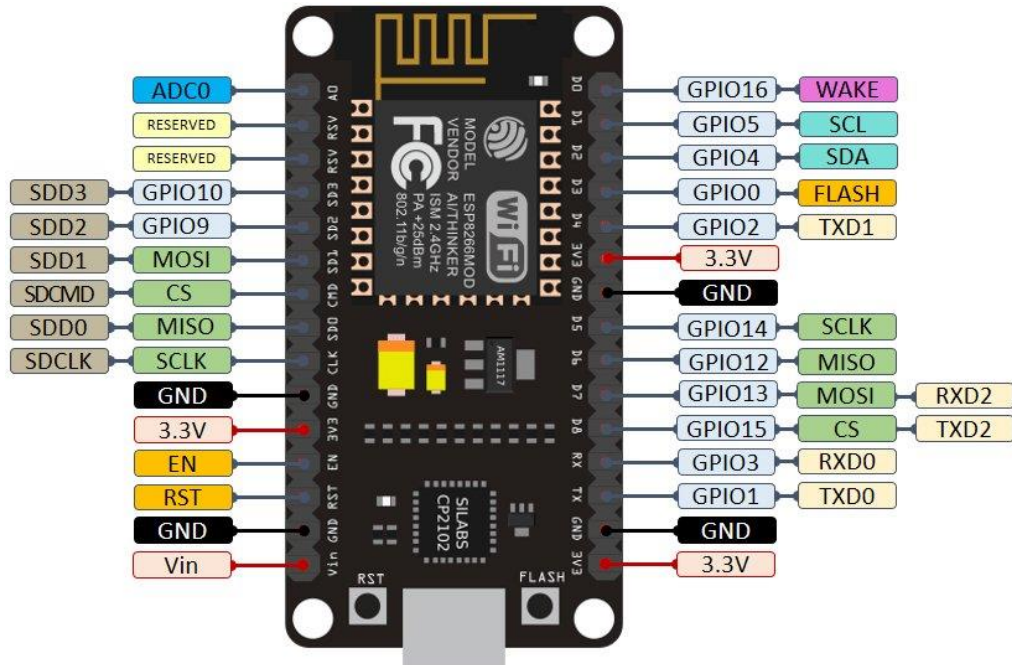


**Figura 2.4.** Cable de conexión RS232

Nótese, que se usa un cable tipo USB, para la conexión con la etapa de alimentación, el mismo que se integra por los tres cables que permiten establecer esta interfaz, los cuales corresponden a RX, TX y GND. De manera similar, en el otro extremo se tienen los tres cables que se conectan a la PCB.

### 2.3.2 MICROCONTROLADOR

En esta aplicación la adquisición de datos se realiza por medio de la tarjeta ESP8266, que, al contar con su propio módulo WiFi, facilita el envío de los datos a la etapa de procesamiento mediante la interfaz API REST. En la Figura 2.5, se visualiza la distribución de pines que tiene la ESP8266.



**Figura 2.5.** Distribución de pines ESP8266 [21]

En la Tabla 2.3, se detallan las funciones que tienen los pines del módulo principal, que se usan en esta aplicación.

**Tabla 2. 3.** Funciones de los pines del módulo principal

Pin	Descripción del pin	Detalle
ADC0	Pin analógico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite adquirir los valores analógicos de voltaje de 0 a 3.3 voltios</li> <li>- Se conecta la señal de salida del sensor por medio de un acondicionamiento para leer voltaje.</li> </ul>
3.3 V y GND	Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene como objetivo alimentar el módulo principal.</li> </ul>

Rx Tx	Comunicación USART	- Los pines GPIO0 y GPIO2 permiten establecer comunicación para el envío y recepción de datos
----------	--------------------	---

### 2.3.3 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS COMPLEMENTARIOS

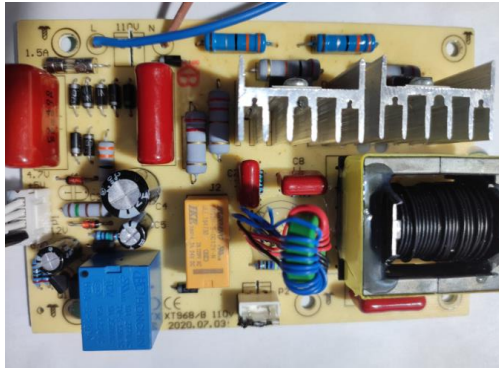
Una vez descrito el microcontrolador (ESP8266), para realizar la adquisición de datos (señal de corriente y porcentaje de batería), es importante desarrollar la parte electrónica del sistema acústico, así como el hardware para el acondicionamiento de la señal de corriente y para la comunicación con la etapa de alimentación.

#### 2.3.3.1 Circuito del sistema acústico

En esta sección se realiza la implementación del sistema acústico diseñado en el Trabajo de Integración Curricular con el tema “Diseño y acondicionamiento del sistema de control del sensor ultrasónico para la obtención de información del flujo y de la velocidad superficial” correspondiente a Dennis Pinchao, realizado como parte complementaria a este Trabajo de Titulación.

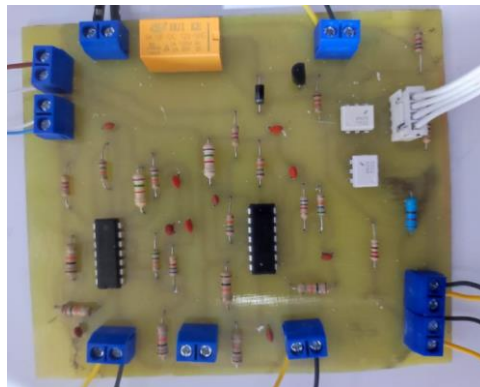
En inicio, se realiza el proceso de impresión de las placas que permiten el acondicionamiento de la señal ultrasónica, tanto para el sistema de emisión, como para el sistema de recepción.

La primera placa que se imprime, corresponde al sistema de generación de la onda ultrasónica. Este circuito se basa en el oscilador Royer, el mismo que se describe en el capítulo 1 de este escrito, y se define como un sistema electrónico para generar oscilaciones estables. La implementación de la placa desarrollada para el sistema de generación se puede visualizar en la Figura 2.6.



**Figura 2.6.** Sistema de generación

Con el objeto de que se recepte correctamente la señal ultrasónica, se realiza la implementación del sistema de acondicionamiento de la señal ultrasónica en la etapa de recepción. De manera similar al sistema de generación, para la implementación del sistema de recepción se realiza el proceso de impresión de una PCB (Placa de circuito impreso). Esta placa, consta de etapas de filtración y rectificación, con el fin de obtener una señal libre de ruido e interferencias. El resultado de esta implementación se puede observar en la Figura 2.7.



**Figura 2.7.** Sistema de recepción

Una vez desarrollada la implementación de las placas de circuito impreso (PCB), tanto para el sistema de emisión como para el sistema de recepción, se puede notar que se necesita mejorar los sistemas de filtración y rectificación en la etapa de recepción de la señal ultrasónica.

A la implementación descrita en los párrafos anteriores se la denomina prototipo 0, ya que, al desarrollarse de manera física, no cumple con los alcances propuestos, es decir, la señal ultrasónica viene acompañada de ruido e interferencias que no permiten obtener un valor real de medición. Es por esto que se recomienda realizar un análisis más profundo y

detallado acerca de las etapas de filtración que se pueden integrar para mejorar la señal ultrasónica y así continuar con el desarrollo de este prototipo hasta alcanzar una señal ultrasónica que permita medir correctamente el flujo.

Debido a las dificultades presentadas en el desarrollo del prototipo 0 se decide usar un sistema acústico comercial para desarrollar el prototipo funcional, el mismo que se denomina prototipo 1. Cabe recalcar que, en el prototipo 1, se realiza el desarrollo e implementación del sistema electrónico de enfoque para adquisición de datos de datos, sin embargo, en esta sección se hace énfasis al sistema acústico, mientras que el sistema electrónico de enfoque para adquisición de datos se describe en la sección posterior.

El prototipo 1, cuenta con un sistema acústico comercial, para elegir el sistema de medición, se han analizado las características de algunos sistemas comerciales en el capítulo 1 de este escrito, de los cuales se ha seleccionado el sistema que se describe a continuación.

El sistema acústico consiste en un sistema electrónico de medición de flujo, el mismo que permite obtener una señal de corriente de 4 a 20 mA como salida, además, cuenta con su propio emisor y receptor. Por otra parte, a través de una interfaz (teclado y pantalla), permite ingresar parámetros como el diámetro de la tubería, espesor y tipo de material para que los datos tomados tengan mayor validez.

En la Figura 2.8, se puede visualizar el teclado y la pantalla mediante el cual se ingresan los parámetros de la tubería para realizar la medida de caudal en el sistema acústico seleccionado como desarrollo de esta sección.



**Figura 2.8.** Pantalla y teclado

### **2.3.3.2 Circuito de adquisición de datos**

El circuito de adquisición de datos, es el sistema electrónico que permite realizar la adquisición de datos desde la etapa de medición y desde la etapa de alimentación. Este

circuito, consiste básicamente en una placa de circuito impreso (PCB), que se compone por el microcontrolador (ESP8266), y los elementos que complementan la adquisición de datos, los cuales se conectan por medio de pistas eléctricas.

La PCB para adquisición de datos se compone de dos etapas principales, los datos obtenidos desde la etapa de medición y los datos obtenidos desde la alimentación como se mencionó en el párrafo anterior.

### Sensor

Se asume un valor de resistencia de  $150 \Omega$ , con el objetivo de obtener un acondicionamiento de corriente a voltaje, para que sea leído en el pin análogo A0 de la ESP8266. El circuito aplicado se puede visualizar en la Figura 2.9.

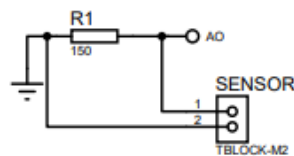


Figura 2.9. Conexión del sensor

### Alimentación

La etapa de alimentación como se describe anteriormente, se compone de un regulador LM1117, el mismo que permite obtener un voltaje de 3.3 V usado para la alimentación de la ESP8266.

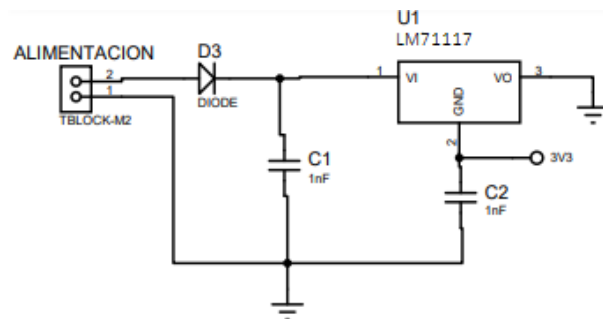


Figura 2.10. Conexión de la alimentación y el regulador

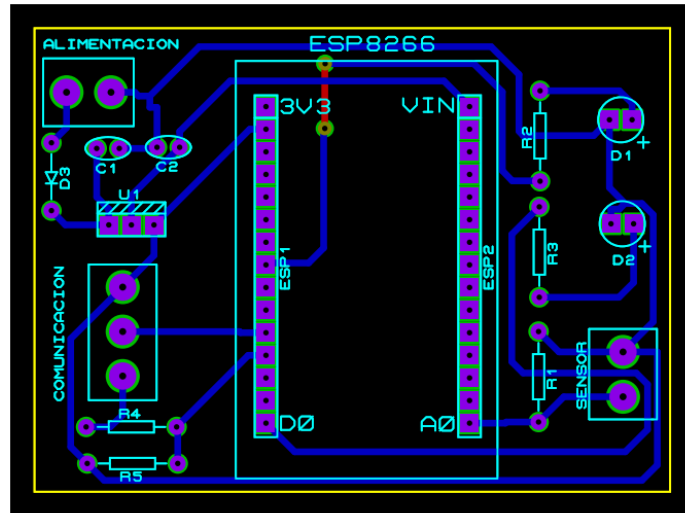
A continuación, en la Tabla 2.4, se describen los elementos que componen la placa digital:

**Tabla 2. 4.** Elementos constitutivos de la PCB para adquisición de datos

Elemento	Nombre en la PCB	Descripción	Función
Sensor	Sensor	Corriente de 4 a 20 mA	Se conecta a la resistencia de 150 $\Omega$ , con el objetivo de obtener una magnitud de voltaje de 0 a 3.3 V, para que ingrese por el pin análogo (A0), de la ESP8266.
Alimentación	U1	Regulador LM1117	La tarjeta se alimenta con 5 V y a través del regulador se obtiene un voltaje de 3.3 V para alimentar la ESP8266.
Comunicación	Bloque de comunicación	Rx,Tx,GND	Permite realizar la conexión RS232 para la comunicación con la etapa de alimentación
Resistencias	R1	Resistencia de 150 $\Omega$	Permite acondicionar el dato de corriente a voltaje
	R2	Resistencia de 1K $\Omega$	Divisor de voltaje que permite ajustar el voltaje de RX de 5 V a 3.3 V
	R3	Resistencia de 5.6 K $\Omega$	
LED	D1	Amarillo	Se enciende una vez que se establece la conexión a Internet
	D2	Verde	Se enciende cada vez que existe transferencia de datos

La PCB que se desarrolla para esta adquisición de datos es diseñada en Proteus tomando en cuenta las características con las que debe cumplir el sistema, el diseño se puede visualizar en la Figura 2.11.





**Figura 2.11.** Diseño PCB para adquisición de datos

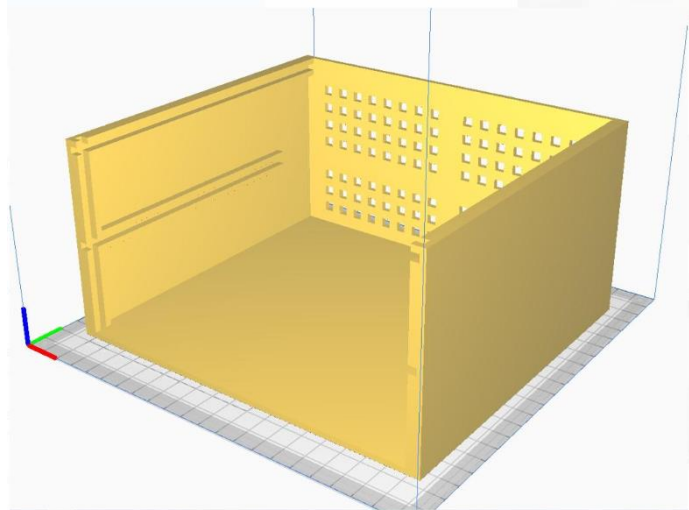
En la ANEXO A, se puede visualizar la distribución de los componentes de la PCB en vistas 3D.

### 2.3.4 DISEÑO DE LA CAJA EN UN SOFTWARE 3D

Se realizaron dos diseños para la implementación de la estructura en donde se instala el sistema de adquisición de datos con el sistema de medición, de los cuales se analizó la mejor opción para su respectiva impresión e implementación.

#### 2.3.4.1 Diseño para prototipo 0

Este diseño se realiza para la implementación del sistema de medición realizado en la etapa de medición. Es por esto que, al presentar varios elementos electrónicos como el sistema de generación y recepción de la onda ultrasónica y la tarjeta de adquisición de datos, es necesario agregar en el diseño de esta estructura agujeros para la ventilación de los sistemas electrónicos, con el objetivo de evitar el sobrecalentamiento de los dispositivos electrónicos y su posterior deterioro. El diseño de la primera estructura se puede observar en la Figura 2.12.



**Figura 2.12.** Diseño de la primera estructura

La estructura desarrollada cuenta con dos niveles, el primer nivel está enfocado para la instalación del sistema electrónico de medición, mientras que el segundo nivel está enfocado para la instalación del sistema de adquisición de datos.

Una vez impresa la estructura se puede visualizar que es necesario ciertos ajustes, como los terminales para la conexión, tanto de alimentación y para el elemento detector. Es por esto que, una vez instalados los dispositivos electrónicos, finalmente se tiene la estructura que se puede visualizar en la Figura 2.13.

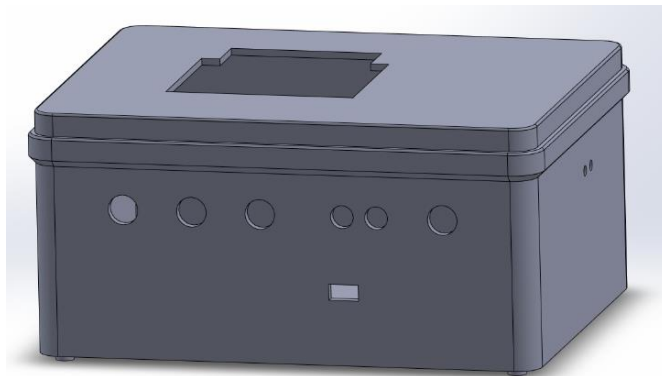


**Figura 2.13.** Estructura externa

### 2.3.4.2 Diseño para prototipo 1

Una vez determinado el uso de un detector comercial se realiza un segundo diseño, en donde se toma en cuenta que, para asegurar la vida útil del elemento detector, así como de la tarjeta de adquisición de datos, la estructura debe proteger por completo el sistema electrónico, y la única interfaz disponible en la caja debe ser el teclado y la pantalla que integran al elemento detector. Asegurando a la electrónica interna, alta protección contra el polvo y líquidos, ya que de manera similar la pantalla y el teclado cuentan con protección IP68, es decir que son altamente resistentes al polvo y los líquidos.

En la Figura 2.14, se puede observar una vista frontal del diseño de la caja seleccionada para la implementación del prototipo final.



**Figura 2.14.** Diseño de la estructura (Vista frontal – 3D)

Se puede notar que en el diseño de esta caja ya no se integran agujeros para la ventilación, esto como consecuencia de optimizar el uso de las placas electrónicas de acondicionamiento, de manera que se optimizan los elementos electrónicos, utilizando únicamente el detector comercial y la tarjeta electrónica para la adquisición de datos.

Como se puede visualizar en la Figura 2.14, la caja cuenta con 6 terminales, el primero que se usa para la alimentación del detector comercial, el segundo y tercer terminal es la conexión del emisor y del receptor de ultrasonido, mientras que los dos terminales pequeños permiten la alimentación de 5V a la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente, se tiene el último terminal, el mismo que permite conectar la comunicación serial RS232 con la etapa de medición. También se puede notar que en la parte lateral se encuentran dos pequeños orificios, los mismos que permiten colocar dos leds, para indicar el estado de la comunicación.

En el ANEXO B, se adjuntas las vistas frontales, superior y laterales, además se anexan las medidas de la caja.

Una vez que se realiza la impresión de la caja se obtiene la implementación que se puede visualizar en la Figura 2.15, en la que de manera similar al diseño se observan los terminales diseñados.

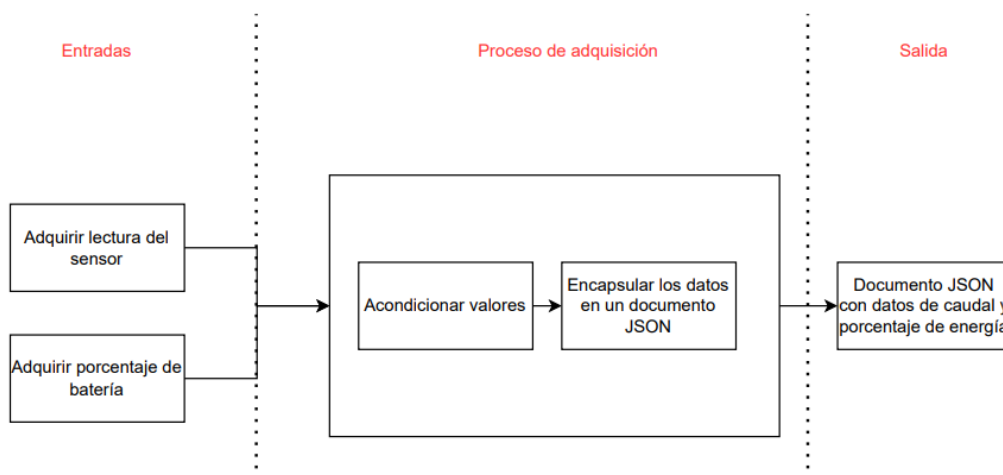


**Figura 2.15.** Implementación de la estructura

## **2.4 DESARROLLO DE SOFTWARE**

En esta sección se describe el software desarrollado para realizar el sistema electrónico de enfoque para adquisición de datos, este se refiere al proceso de adquirir de datos, el mismo que se enfoca en tomar los datos de medición y energía. La programación de este proceso de adquisición de datos se explica por medio de diagramas de flujo.

Para el proceso de adquisición de datos, primero se realiza la lectura del sensor y del nivel de energía, estos datos se encapsulan y se envían a la etapa de procesamiento, como se describe en la Figura 2.16.



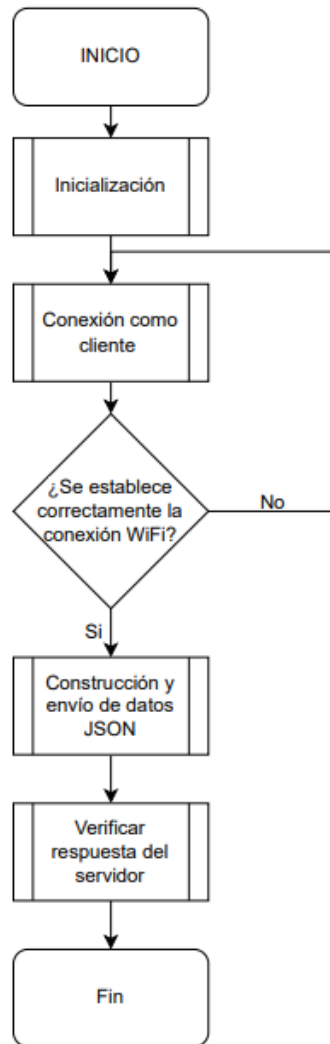
**Figura 2.16.** Desarrollo de software del proceso de Adquisición de datos

Se puede visualizar en la Figura 2.16, que primero se realiza la adquisición de los datos desde la etapa de medición y desde la etapa de energía, con el objeto de encapsular los datos en un documento tipo JSON (estructura que se especifica en las siguientes secciones), para que se envíen a la etapa de procesamiento.

### 2.4.1 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es el encargado de realizar la adquisición de datos y enviar los datos a la etapa de procesamiento. Para establecer la conexión con la etapa de procesamiento se ha determinado trabajar por medio de WiFi usando la interfaz API REST y el protocolo HTTP, mientras que para la comunicación con la etapa de alimentación se ha establecido usar RS232.

En la Figura 2.17, se describe de manera general la programación que se desarrolla en la tarjeta ESP8266.



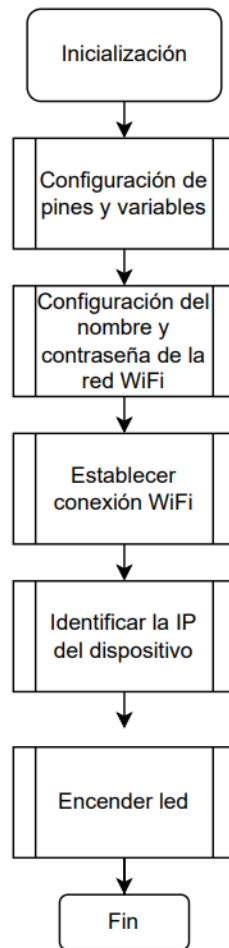
**Figura 2.17.** Diagrama de flujo generalizado

Nótese en la Figura 2.17, después del bloque de inicialización, se tiene el bloque que describe como se gestiona la comunicación con la etapa de procesamiento de datos, a fin de que se pueda adquirir el dato de corriente que entrega el sensor, el mismo que tiene una relación directamente proporcional al valor del caudal que circula dentro de la tubería.

### 2.4.1.1 Inicialización

El proceso de inicialización se compone de cinco etapas, que a groso modo tratan de las conFiguraciones que se realizan en la tarjeta de adquisición de datos (ESP8266), para que se pueda establecer comunicación y adquirir datos correctamente.

En la Figura 2.18, se puede visualizar el diagrama de bloques que describe el algoritmo de la etapa de inicialización.



**Figura 2.18.** Inicialización del microcontrolador

Se puede observar en la Figura 2.18, que en el primer bloque se realiza la configuración y descripción del pin en donde se conecta la salida del sensor, así como de los pines usados para la comunicación mediante RS232, con la etapa de alimentación

En el segundo bloque se establece el nombre de una red WiFi, con su respectiva contraseña. Al establecer un nombre específico de red, así como su propia contraseña, el sistema de adquisición de datos incrementa su nivel de seguridad, asegurando que no cualquier red podrá establecer conexión con el sistema de adquisición de datos.

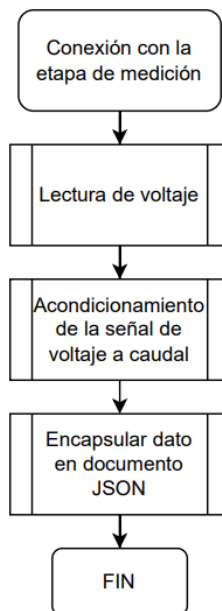
En el tercer bloque netamente se establece la conexión a WiFi, es decir mientras no se establezca dicha conexión no se identificará la IP del dispositivo y en consecuencia no se encenderá el LED de conexión.

### 2.4.1.2 Conexión con la etapa de medición

Para adquirir datos desde la etapa de medición, en primer lugar, se realiza la conexión del hardware (resistencia de 150 ohm conectada a la salida de corriente del sensor), al pin análogo (A0), de la tarjeta de adquisición de datos. (ESP8266). Una vez realizada la conexión en el pin análogo (A0 de la ESP8266), se obtiene una magnitud de voltaje de 0 a 3.3 Voltios.

Una de las características más importantes de la ESP8266, es su convertor análogo-digital (ADC de 10 bits), por tal motivo la magnitud de voltaje se acondiciona internamente en la ESP8266 a un rango de 0 a 1024 bits, este rango en bits finalmente se acondiciona a una magnitud de caudal de 0 a 100 m<sup>3</sup>/h. En consecuencia, se puede determinar que la resolución que presenta este sistema de adquisición es de 0.01, con base al análisis del convertor análogo (10 bits), y el rango de medición (0-100 m<sup>3</sup>/h), que se presenta en esta aplicación.

En la Figura 2.19, se puede observar el algoritmo que describe la adquisición de datos.



**Figura 2.19.** Adquisición de datos de medición

Nótese en la Figura 2.19 que, el primer bloque corresponde a la lectura del voltaje en el pin análogo, seguido de la etapa de acondicionamiento para obtener una magnitud de caudal de 0 a 100 m<sup>3</sup>/h utilizando el pin análogo (A0), de la tarjeta de adquisición de datos (ESP8266).



En concordancia a lo mencionado en el párrafo anterior, a continuación, se muestra las etapas de acondicionamiento para obtener la magnitud de caudal a partir de una magnitud de corriente.

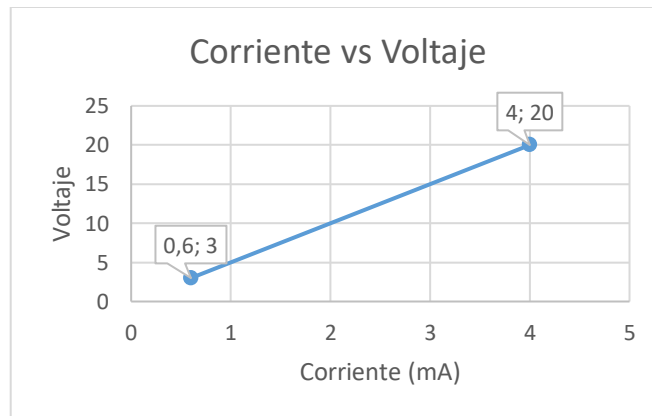
### Acondicionamiento de corriente a voltaje

Es importante mencionar que esta etapa de acondicionamiento, se realiza en hardware (resistencia de 150 ohm conectada a la salida de corriente del sensor). En la Tabla 2.5, se especifica la señal de entrada y la señal de salida.

**Tabla 2. 5.** Corriente Vs Voltaje

Señal	Tipo	Rango
Entrada	Corriente	4 a 20 mA
Salida	Voltaje	0,6 a 3 Voltios

Como resultado se puede visualizar la Figura 2.20, en donde se muestra la relación gráfica entre la corriente y el voltaje.



**Figura 2.20.** Gráfica - Corriente Vs Voltaje

A diferencia de la primera etapa de acondicionamiento que se realiza por medio de hardware, las siguientes etapas se realizan por medio de software como se detalla a continuación.

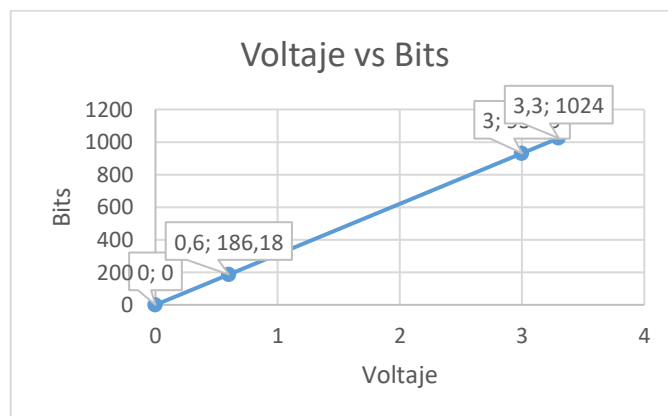
### Acondicionamiento de Voltaje a bits

En la Tabla 2.6, se especifica la señal de entrada y la señal de salida, que corresponden a voltaje y bits, respectivamente.

**Tabla 2. 6.** Voltaje vs Bits

Señal	Tipo	Rango
Entrada	Voltaje	0.6 a 3 Voltios
Salida	Bits	186 a 930

De acuerdo con lo mencionado al inicio de esta sección, la magnitud de voltaje se acondiciona a un rango en bits de 0 a 1024 (por el conversor ADC de 10 bits). Como resultado de este acondicionamiento y de acuerdo al rango que presenta la señal de entrada, se obtiene el rango de la señal de salida. La relación entre estas dos señales se puede visualizar en la Figura 2.21.



**Figura 2.21.** Gráfica - Voltaje vs Bits

Una vez que se tiene el valor en bits, esta se acondiciona a un rango en caudal de 0 a 100 m<sup>3</sup>/h, como se detalla a continuación.

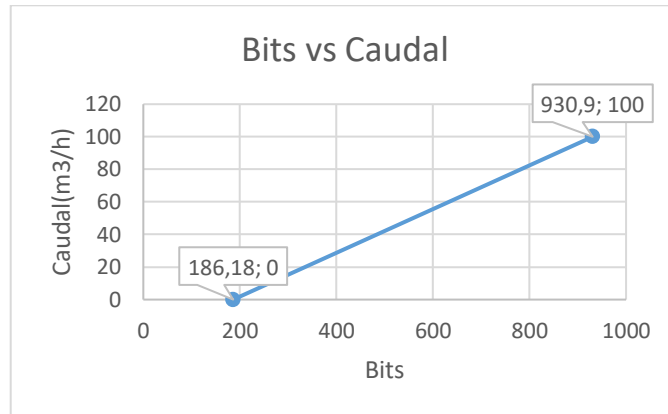
#### **Acondicionamiento de bits a caudal**

En la Tabla 2.7, se especifica la señal de entrada y la señal de salida, que corresponden a bits y caudal, respectivamente.

**Tabla 2. 7.** Bits vs Caudal

Señal	Tipo	Rango
Entrada	Bits	186 a 930
Salida	Caudal	0 a 100 m <sup>3</sup> /h

Finalmente se obtiene en la Figura 2.22, la gráfica que representa la relación entre los bits y el caudal.



**Figura 2.22.** Gráfica - Bits vs Caudal

Una vez que se obtiene el dato de caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$ ., se realiza el encapsulamiento del dato en un documento JSON, para su posterior envío a la etapa de procesamiento mediante la interfaz API REST usando el protocolo HTTP.

#### **2.4.1.3 Conexión con la etapa de procesamiento**

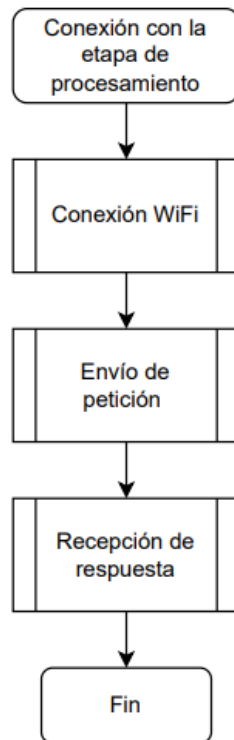
Para establecer la conexión con la etapa de procesamiento, se hace uso del internet por medio de WiFi, en donde es importante destacar que, se trabaja con la interfaz API REST, mediante el protocolo HTTP, que basa su funcionamiento en una arquitectura cliente-servidor, utilizando peticiones y respuestas.

En esta aplicación, el cliente es la tarjeta de adquisición de datos (ESP8266 fabricado por Espressif), mientras que el servidor es el servidor Web: Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2), cabe destacar que, el servidor se trabaja en la etapa de procesamiento que no es parte de este trabajo de titulación, sin embargo, lo complementa.

Para realizar el envío de datos se hace uso de peticiones realizadas por el cliente y respuestas realizadas por el servidor. Es aquí en donde se utiliza el documento JSON (JavaScript Object Notation), el mismo que se maneja como un formato de texto para ejecutar la transferencia de datos, de manera estructurada y ordenada entre el servidor y

el cliente. Se selecciona este formato de transferencia de datos JSON, ya que se basa en texto, lo que permite facilidad de interpretación, lectura y escritura.

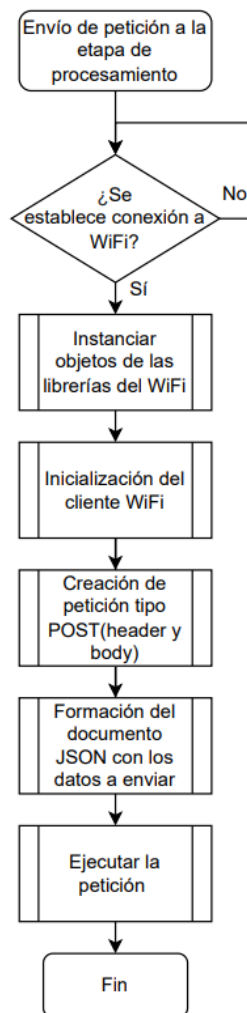
A continuación, se describe el algoritmo general que representa esta sección.



**Figura 2.23.** Diagrama de flujo general de la conexión con procesamiento

Se puede visualizar en la Figura 2.23, que este algoritmo se compone de tres bloques principales, el primero que establece la conexión WiFi, seguido por el bloque que permite realizar el envío de una petición de tipo POST (del protocolo HTTP), para luego realizar la recepción de la respuesta enviada por el servidor Web.

Para empezar, a través del diagrama de flujo de la Figura 2.24, se describen los bloques iniciales, que corresponden a la conexión WiFi y a la creación y envío de la petición.



**Figura 2 24.** Envío de datos

Nótese en la Figura 2.24 que en el primer bloque se establece la conexión WiFi, que da paso al bloque para instanciar los objetos de las librerías de WiFi, es decir, se solicitan las variables que facilitan el trabajo como cliente dentro de la programación.

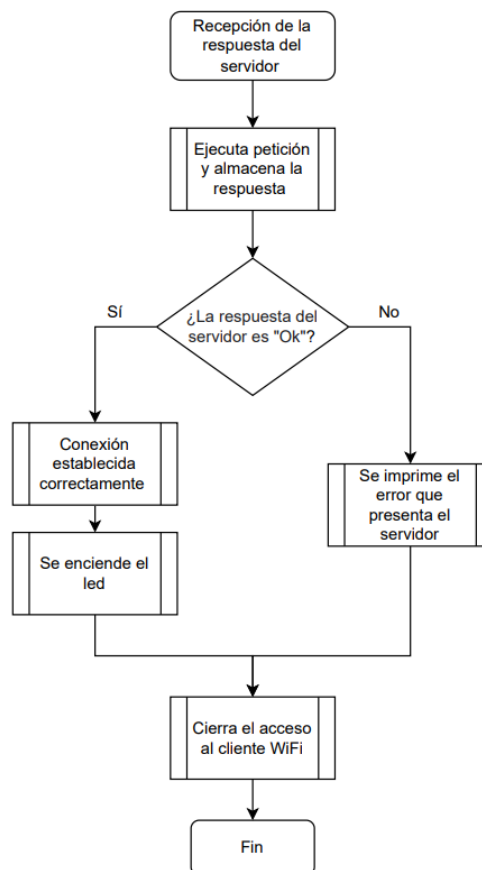
Luego, en el bloque 3 se da inicio al cliente WiFi, para esto se hace uso del comando “begin”, en donde se describe la dirección que debe seguir el cliente, es decir se especifica el camino por donde se conecta con el servidor.

Después de inicializar al cliente, se crea el registro que da inicio a la petición POST (del protocolo HTTP), y se realiza el desarrollo del *header* y *body* que son parte de la estructura de la petición tipo POST. El header viene indicado por “Content-Type” y “Authorization”, que permiten adjuntar diferentes valores por separado e indicar la autenticación de las credenciales en el servidor.

Después de generar la petición, se desarrolla la creación del documento JSON, el mismo que se caracteriza por la estructura ordenada de los datos que se van a enviar a la etapa de procesamiento. En esta aplicación, el documento JSON se estructura por tres datos, el caudal, el porcentaje de batería y el estado de la batería.

La estructura del documento JSON se caracteriza por contar con dos parámetros, la clave, que corresponde al identificador (comillas), y el valor que corresponde al contenido (dato). En concordancia a la estructura del documento JSON y a la creación del "body", de la petición POST, los datos se separan por los siguientes signos '&' y un '='.

Es así como se realiza la creación de la petición y el encapsulamiento del documento JSON, para luego ejecutar la petición POST (del protocolo HTTP), y dar paso a la recepción de la respuesta que viene desde el servidor, como se describe en la Figura 2.25.



**Figura 2.25.** Almacenamiento de respuesta del servidor

Nótese en la Figura 2.25, para la recepción de la respuesta desde el servidor, primero se ejecuta la petición POST (del protocolo HTTP), y después se almacena la respuesta que envía el servidor.

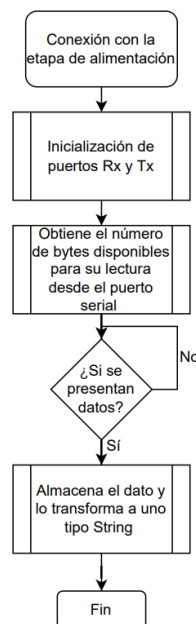
Con base a los códigos de respuesta HTTP que se ha especificado en el capítulo uno, se puede determinar que, si el valor enviado por parte del servidor es 200, se describe como “Aceptar”, y se interpreta como que el servidor respondió correctamente. Mientras que, si el valor corresponde a cualquier otro valor, esto es sinónimo de que no se pudo ejecutar correctamente la petición POST.

Luego de realizar el proceso de petición y respuesta con el servidor de la etapa de procesamiento, se cierra el ciclo en la programación con el comando `http.end()`. Esto, con la finalidad de que no se presenten errores al momento de la compilación.

#### 2.4.1.4 Conexión con la etapa de alimentación

Para la conexión con la etapa de alimentación, luego de haber analizado en el capítulo uno las posibles opciones para establecer la conexión, y tomar en cuenta que solo se va adquirir un dato desde la etapa de medición, que corresponde al porcentaje de batería, se determina que lo más viable es usar la interfaz RS232, ya que es accesible económicamente y fácil de implementar.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo que representa el algoritmo desarrollado para esta etapa.



**Figura 2.26.** Diagrama de flujo de la conexión con la etapa de alimentación

Nótese en la Figura 2.26, en el primer bloque se describe la inicialización de la comunicación serial, en donde se especifican los puertos que corresponden a RX y TX, para la recepción y envío de los datos.

Después de establecer los pines a los que se conecta la comunicación, se adquieren los bytes disponibles, el mismo que al presentar un valor diferente de cero, da paso al almacenamiento del dato y su transformación a String, con el objeto de que se pueda insertar en el documento JSON y luego ser enviado a la etapa de procesamiento.

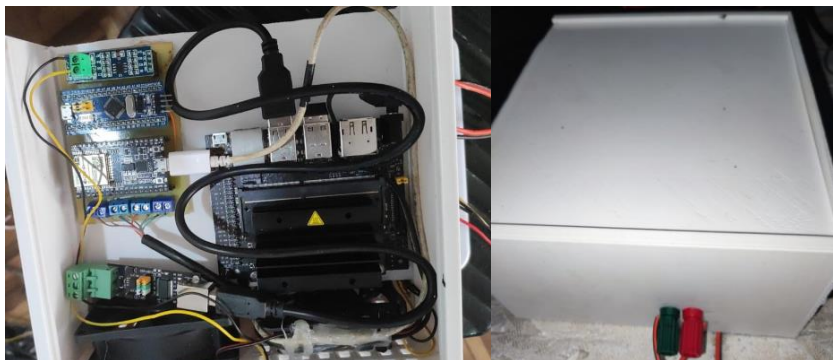
### **3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 RESULTADOS**

##### **3.1.1 PROTOTIPO DE MEDIDOR DE FLUJO CON ADQUISICIÓN DE DATOS**

###### **3.1.1.1 Implementación prototipo 0**

La primera implementación corresponde a un prototipo integrado por una etapa de medición desarrollada a partir del diseño de la etapa previa a este Trabajo de Titulación, implementación que consiste en un sistema electrónico de emisión y recepción, con sus respectivas etapas de filtrado. Además, se realizó la implementación de la estructura física que cubre a los elementos electrónicos, como se puede visualizar en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Implementación de placas y caja

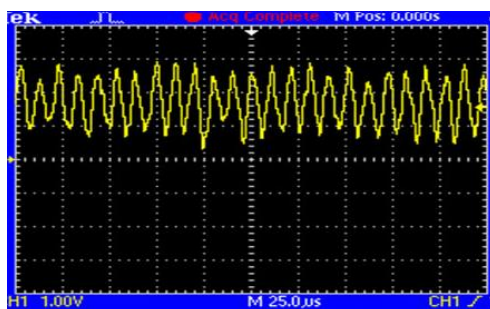
Una vez implementado el sistema, tanto acústico como estructural, se realiza pruebas de mediciones en una tubería de PVC como se visualiza en la Figura 3.2.





**Figura 3. 2.** Emisor y Receptor

Luego de realizar las pruebas se pudo notar que la señal obtenida no ha sido tratada lo suficiente ya que se presenta como una sinusoidal con exceso de ruido e interferencias, como se muestra en la Figura 3.3. De manera que no se pueden obtener datos de caudal lógicos para las etapas de adquisición y procesamiento.



**Figura 3.3.** Señal obtenida

A partir de la señal obtenida y al contar con un límite de tiempo se determina que el sistema de medición no cuenta con una señal ultrasónica aceptable para realizar la medición de caudal y se descarta su uso para implementar un sistema acústico comercial, el mismo que se ha descrito en el capítulo uno y cuenta con un sistema de filtración más sofisticado.

Cabe destacar que, el prototipo 0, requiere una investigación más profunda acerca de los sistemas de filtrado y eliminación de interferencias como una jaula de Faraday o técnicas similares que se pueden implementar para obtener una señal ultrasónica apta para realizar la medición de caudal, sin embargo, debido a que existen sistemas comerciales que usan el mismo principio, se toma un dispositivo comercial para la implementación del sistema acústico del prototipo 1, el mismo que se describe a continuación junto con la implementación del sistema de adquisición de datos.

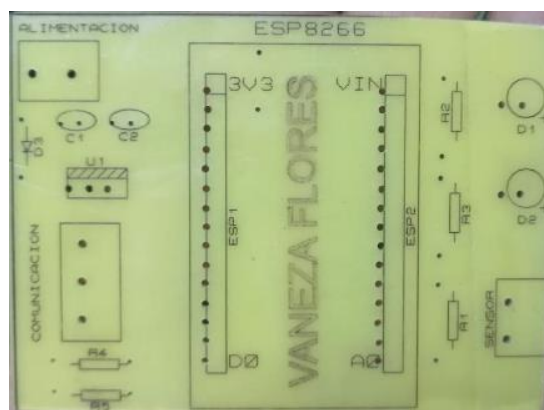
### **3.1.1.2 Implementación prototipo 1**

En esta implementación se integra el detector comercial como sistema acústico, seleccionado en el capítulo anterior, el mismo que entrega una señal de corriente de 4 a

20 mA, valor que se acondiciona a voltaje y se lee en el pin análogo A0 de la tarjeta de adquisición de datos (ESP8266).

Este sistema electrónico de adquisición de datos tiene como elemento principal la ESP8266, que es el microcontrolador que permite la adquisición de los datos de las etapas de medición y de alimentación, además de ser el punto de acceso para el envío de datos a la etapa de procesamiento. También cuenta con elementos complementarios, los mismos que se describieron en el capítulo 2 de este escrito.

En la Figura 3.4, se puede visualizar la PCB desarrollada para el sistema de adquisición de datos.



**Figura 3.4.** Placa para adquisición de datos

Una vez determinado el sistema acústico y luego de haber implementado el sistema de adquisición de datos se realiza la implementación del sistema estructural. Este sistema estructural consiste en una caja resistente al agua y el polvo, a pesar de que tenga descubierta la pantalla y teclado para ingresar los datos de la tubería, ya que tanto la pantalla y el teclado cuentan con una protección calificada de IP68. En la Figura 3.5, se puede observar la implementación de la estructura.



**Figura 3.5.** Estructura desarrollada

### 3.1.1.3 Pruebas de funcionamiento

Los valores de corriente que se obtienen desde el dispositivo medidor y se acondicionan de tal manera que se obtiene un valor de caudal, el mismo que es enviado a la etapa de procesamiento de datos.

Para calibrar el valor de caudal obtenido a partir del acondicionamiento a un valor real, se realizan distintas pruebas de funcionamiento. Las pruebas se desarrollan dentro del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN. Estas pruebas se desarrollan con el fin de calibrar los valores de caudal obtenidos con la tarjeta de adquisición de datos y la magnitud que muestra el dispositivo comercial.

Se realiza la primera prueba de funcionamiento, en donde se comprueba que la tarjeta de adquisición de datos se conecta mediante WiFi con la etapa de procesamiento, por lo tanto, se verifica que los datos tomados llegan a la etapa de procesamiento.

Para ejecutar esta prueba primero se realizó la instalación del emisor y detector sobre la tubería, luego se ingresaron los datos que caracterizan a la tubería, como diámetro, espesor y material.

El diámetro externo de la tubería corresponde a un valor de 20.3 cm y del grosor de la misma tiene un valor de aproximadamente 0.2 cm, a partir de los datos ingresados el detector comercial recomienda una distancia de 21.5 cm entre el emisor y receptor. Y se instalan como se muestra en la siguiente Figura.



**Figura 3.6.** Ubicación de sensores en la tubería

Una vez que se ingresan los datos el detector se ubican el emisor y receptor a la distancia sugerida como se visualiza en la Figura 3.6, hasta lograr que el dispositivo empiece a tomar medidas.

Los datos obtenidos se especifican en la Tabla 3.1.

**Tabla 3. 1.** Medidas – Prueba de funcionamiento 1

Número de medida	Dato en el monitor serial	Dato en el detector comercial
1	33 m <sup>3</sup> /h	14 m <sup>3</sup> /h
2	33 m <sup>3</sup> /h	23 m <sup>3</sup> /h
3	23 m <sup>3</sup> /h	43 m <sup>3</sup> /h
4	23 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h
5	33 m <sup>3</sup> /h	15 m <sup>3</sup> /h

Se puede notar que los valores son bastante discrepantes con el valor real. Es por esto que se decide realizar una calibración del acondicionamiento de los datos para después realizar una segunda prueba de funcionamiento.

La calibración realizada consiste en ajustar los rangos de los valores de acondicionamiento a los descritos en el capítulo 2, sección “Desarrollo de Software”, de este escrito. De este modo los rangos de medición se ajustan de tal manera que se puede realizar una segunda prueba de funcionamiento.

Esta segunda prueba de funcionamiento se realiza bajo las mismas condiciones que se realizó la prueba anterior, con la diferencia de que se realizó una calibración en la etapa de adquisición, de manera que se obtienen los resultados que se visualizan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3. 2.** Medidas - Prueba de funcionamiento 2

Número de medida	Dato en el detector comercial	Dato en la página web
1	27.47 m <sup>3</sup> /h	23.8 m <sup>3</sup> /h
2	43.76 m <sup>3</sup> /h	48.4 m <sup>3</sup> /h
3	51.9 m <sup>3</sup> /h	52.8 m <sup>3</sup> /h
4	52.3 m <sup>3</sup> /h	53.1 m <sup>3</sup> /h
5	25.05 m <sup>3</sup> /h	22.5 m <sup>3</sup> /h

Se puede notar que los valores obtenidos presentan lógica y concordancia con los valores reales, es por esto que se valida el sistema desarrollado. Además de verificar que la tarjeta de adquisición de datos permite enviar correctamente los datos a la etapa de procesamiento.

En el ANEXO C, se puede visualizar a más detalle las fotografías que permiten respaldar la conexión establecida con la etapa de procesamiento.

Además, cabe destacar que se comprueba la adquisición de datos desde la etapa de energía. Para esto se realiza la conexión de la interfaz RS232 con la etapa de alimentación, una vez conectados se puede observar que se establece correctamente la conexión y se realiza la adquisición del dato del porcentaje de batería, el mismo que se envía a la etapa de procesamiento.

En general, es importante mencionar nuevamente que para el sistema acústico se ha desarrollado un prototipo inicial denominado Prototipo 0, el mismo que no alcanzo con los objetivos propuestos, debido a los inconvenientes de filtración que se presentaron, razón por la que fue reemplazado por un sistema acústico comercial, esto, con la finalidad de continuar tanto con la etapa de adquisición de datos enfocada en adquirir datos de medición y nivel de batería y con el envío de los datos a la etapa de procesamiento.

### **3.2 CONCLUSIONES**

- Se ha desarrollado la implementación de las placas para el sistema acústico de emisión y recepción de la onda ultrasónica, denominado prototipo 0, el mismo que no cumplió con el objetivo de generar una señal ultrasónica que permita medir el caudal, debido al ruido, las interferencias y la falta de sistemas de filtración sofisticados, razón por la cual se utiliza un sistema acústico comercial.
- Se ha realizado el análisis y descripción de los elementos que integran el sistema de adquisición de datos, así como la selección del sistema acústico comercial de tipo ultrasónico que reemplaza al prototipo 0, con el fin de obtener una señal, que permita adquirir valores lógicos de medición de caudal.
- Se ha realizado el desarrollo e implementación del sistema estructural, en el que se ha tomado en cuenta las condiciones que deben soportar los elementos electrónicos, razón por la cual, el prototipo final cuenta con una carcasa con alta resistencia al polvo y líquidos.
- Se realizó las calibraciones pertinentes dentro de la etapa de adquisición de datos, logrando desarrollar correctamente la adquisición de valores de caudal y porcentaje de batería, desde la etapa de medición y la etapa de alimentación, respectivamente.

- Se estableció correctamente la conexión entre el sistema de adquisición de datos y el sistema de procesamiento de datos, mediante el uso de una red WiFi y la interfaz API REST, logrando enviar los datos adquiridos desde la etapa de medición y alimentación a la etapa de procesamiento con el protocolo HTTP.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda continuar con el análisis de las etapas de acondicionamiento de la señal ultrasónica, para desarrollar e implementar sistemas de filtrado y aislamiento más sofisticados, como una jaula de Faraday con el fin de obtener una señal ultrasónica libre de ruido e interferencias y permita medir correctamente el caudal.
- Se recomienda profundizar la investigación del ultrasonido y sus aplicaciones, con la finalidad de potenciar el desarrollo del prototipo para monitoreo de flujo y se pueda utilizar en sistemas abiertos.
- Sería importante analizar qué tan viable es reemplazar la comunicación RS232 con la etapa de alimentación a una comunicación de tipo inalámbrica, para optimizar el uso de cables.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «INAMHI,» [En línea]. Available: <http://www.inamhi.gob.ec/>. [Último acceso: 29 01 2022].
- [2] Bronkhorst, «BRONKHORST HIGH-TECH B.V.,» [En línea]. Available: <https://www.bronkhorst.com/int/service-support/knowledge-base/flow-meters/>. [Último acceso: 20 05 2022].
- [3] A. E. J. T. R. Goodwin, *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, Abril, 2018.
- [4] J. F. M. Pulido. [En línea]. Available: [http://www.coffeebrain.org/wiki/index.php?title=USART\\_B%C3%A1sico#Protocolo\\_USART](http://www.coffeebrain.org/wiki/index.php?title=USART_B%C3%A1sico#Protocolo_USART). [Último acceso: 04 03 2022].
- [5] T. Contributor, «TECHTARGET NETWORK,» [En línea]. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/USART-Universal-Synchronous-Asynchronous-Receiver-Transmitter>.
- [6] A. Jenkins, «ALICAT SCIENTIFIC,» [En línea]. Available: <https://www.alicat.com/es/el-protocolo-de-comunicacion-rs-232-y-su-instrumento-alicat/>. [Último acceso: 29 01 2022].
- [7] O. Weis, «Virtual Serial Port,» [En línea]. Available: <https://www.virtual-serial-port.org/es/article/what-is-serial-port/rs232-vs-rs485.html>. [Último acceso: 29 01 2022].
- [8] O. Weis, «Knowledge Base,» Eltima Publishing, 20 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [9] «RS-485 Quick Guide TIA/EIA-485-A Standard Analog Devices,» [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-selector-card/rs485fe.pdf>. [Último acceso: 30 05 2022].
- [10] S. W. E. R. D. a. P. J. Mackay, *Practical Industrial Data*, Burlington: Elsevier, 2004.
- [11] C. Valero, «ADSL ZONE,» [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/#370530-como-funciona-la-conectividad-wifi>. [Último acceso: 02 06 2022].
- [12] T. Naeem, «Astera,» [En línea]. Available: <https://www.astera.com/es/tipo/blog/definici%C3%B3n-de-la-API-de-descanso/#What-is-REST-API?>. [Último acceso: 02 06 2022].
- [13] I. d. Souza, «Rockcontent,» [En línea]. Available: <https://rockcontent.com/es/blog/api-REST/>. [Último acceso: 04 05 2022].

- [14] «Google Cloud,» [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/talent-solution/job-search/docs/http-response-codes?hl=es-419>. [Último acceso: 02 05 2022].
- [15] IBM, «Documentos JSON,» [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/docs/es/db2/11.1?topic=concepts-json-documents>. [Último acceso: 02 05 2022].
- [16] «ALTUS INSTRUMINING,» [En línea]. Available: <https://www.instrumining.com/altus-que-es-un-gateway-y-por-que-deberia-usarla-en-mis-aplicaciones-de-iot/>. [Último acceso: 02 05 2022].
- [17] J. G. Carmenate. [En línea]. Available: [https://programarfacil.com/esp8266/esp32/#Que\\_es\\_el\\_ESP32](https://programarfacil.com/esp8266/esp32/#Que_es_el_ESP32). [Último acceso: 02 06 2022].
- [18] [En línea]. Available: [https://www.circuitschools.com/what-is-esp32-how-it-works-and-what-you-can-do-with-esp32/#What\\_is\\_ESP32](https://www.circuitschools.com/what-is-esp32-how-it-works-and-what-you-can-do-with-esp32/#What_is_ESP32). [Último acceso: 31 05 2022].
- [19] «Información AliExpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/775059386.html>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [20] «ELPROCUS,» [En línea]. Available: <https://www.elprocus.com/royer-oscillator-working-and-its-applications/>. [Último acceso: 31 05 2022].
- [21] J. E. Atero, «Universidad Autónoma de Barcelona,» [En línea]. Available: [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2019/214489/TFG\\_JoseEspinosa.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2019/214489/TFG_JoseEspinosa.pdf). [Último acceso: 30 05 2022].
- [22] «MOUSER ELECTRONICS,» 15 11 2021. [En línea]. Available: <https://www.mouser.ec/new/omnipresense/omnipresense-ops7243-radar-sensor/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [23] T. E. o. E. Britannica, «Britannica,» [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/Doppler-effect>. [Último acceso: 30 05 2022].
- [24] Dynasonics, «INDUSTRIAS ASOCIADAS,» [En línea]. Available: <https://www.industriasasociadas.com/producto/medidor-de-flujo-ultrasonico-de-tiempo-de-transito-tfx-ultra/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [25] Bronkhorst, «DASTEC,» [En línea]. Available: <https://www.dastecsrl.com.ar/divisiones/caudal-nivel-presion-humedad-y-pesaje/caudal/caudal-para-otros-liquidos/es-flow-medidor-y-controlador-de-caudal-ultrasonico-de-liquidos-para-rangos-muy-bajos>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [26] T. Instrument, «ELECTRONICA PLLIG AND PLAY,» [En línea]. Available: <https://www.electronicaplugandplay.com/component/edocman/hoja-tecnica-lm1117t-3-3v>. [Último acceso: 02 06 2022].



- [27] «Web Robots,» [En línea]. Available: <https://robots-argentina.com.ar/referencia-de-distribucion-de-pines-ESP8266-que-pines-GPIO-usar.htm>. [Último acceso: 02 02 2022].
- [28] AZ, «SAMSUNG,» 01 03 2021. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [29] «SONY-Guia de Ayuda,» [En línea]. Available: <http://download.sony-europe.com/pub/manuals/html/Z002678111/ES/contents/02/01/01/01.html>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [30] «SUYI GROUP,» [En línea]. Available: <https://www.hginstrument.com/flow-instrument/hgls-2000b-wall-mounted-ultrasonic-flow-meter/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [31] E. Tolocka, 21 04 2021. [En línea]. Available: <https://www.profetolocka.com.ar/2021/04/12/primeros-pasos-con-la-stm32-blue-pill/>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [32] «Eneka,» [En línea]. Available: <https://www.eneka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/m%C3%B3dulo-conversor-ttl-a-rs485-max485csa-detail.html>. [Último acceso: 04 03 2022].
- [33] «STM32 STMicroelectronics.,» [En línea]. Available: <https://copro.com.ar/STM32.html>. [Último acceso: 30 05 2022].
- [34] «ST,» [En línea]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>. [Último acceso: 30 05 2022].
- [35] J. Teel, «PREDICTABLE DESIGNS,» [En línea]. Available: <https://predictabledesigns.com/introduction-to-programming-stm32-arm-cortex-m-32-bit-microcontrollers/>. [Último acceso: 30 05 2022].

## 5 ANEXOS

### 5.1 ANEXO A: DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES EN LA PCB

En la Figura A.1, se puede visualizar como se distribuyen los elementos que componen la tarjeta de adquisición de datos, en donde se observa los pines para la conexión de la comunicación RS232, la resistencia que da paso a la lectura de voltaje en el pin análogo, así como el regulador de voltaje de 3.3 Voltios. Además de que en el centro se ubica el microcontrolador en el que se realiza el desarrollo de este trabajo.

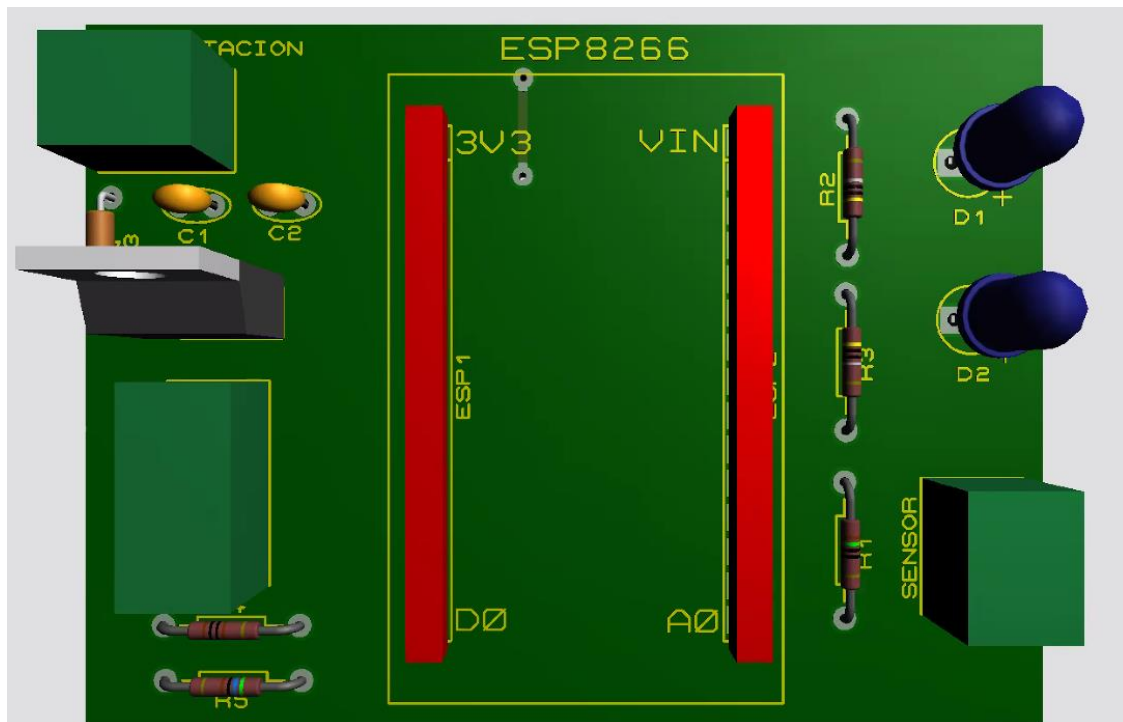


Figura A. 1. Vista superior de la placa en 3D

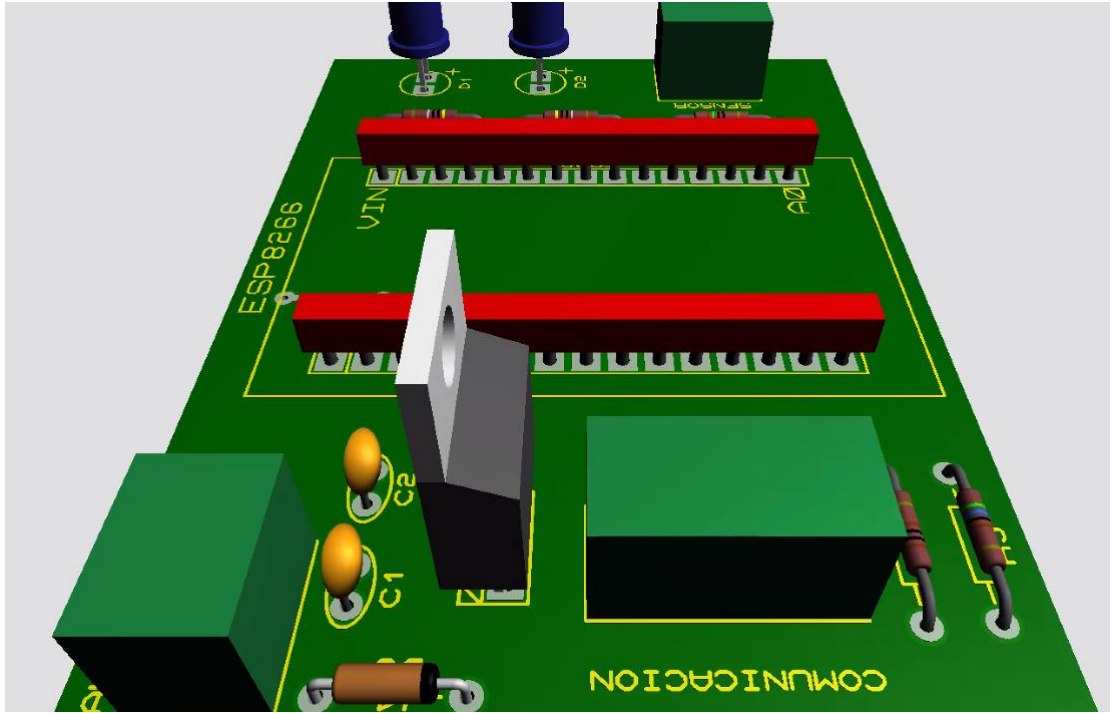
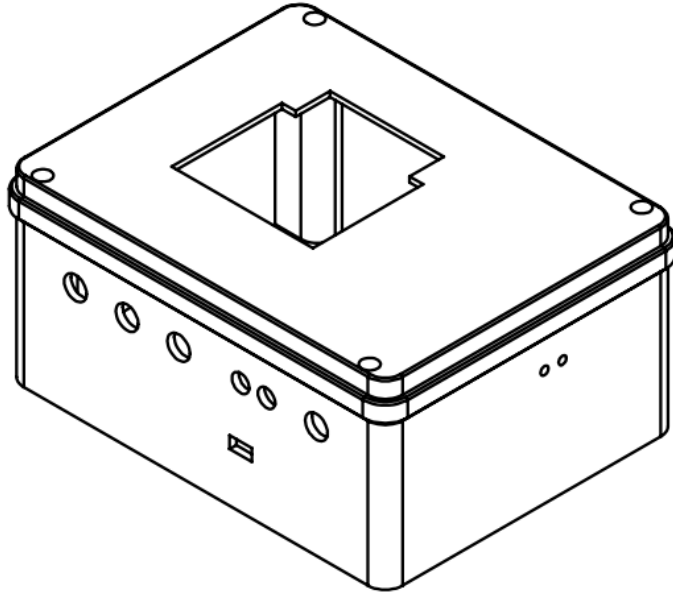


Figura A. 2. Vista lateral de la placa en 3D

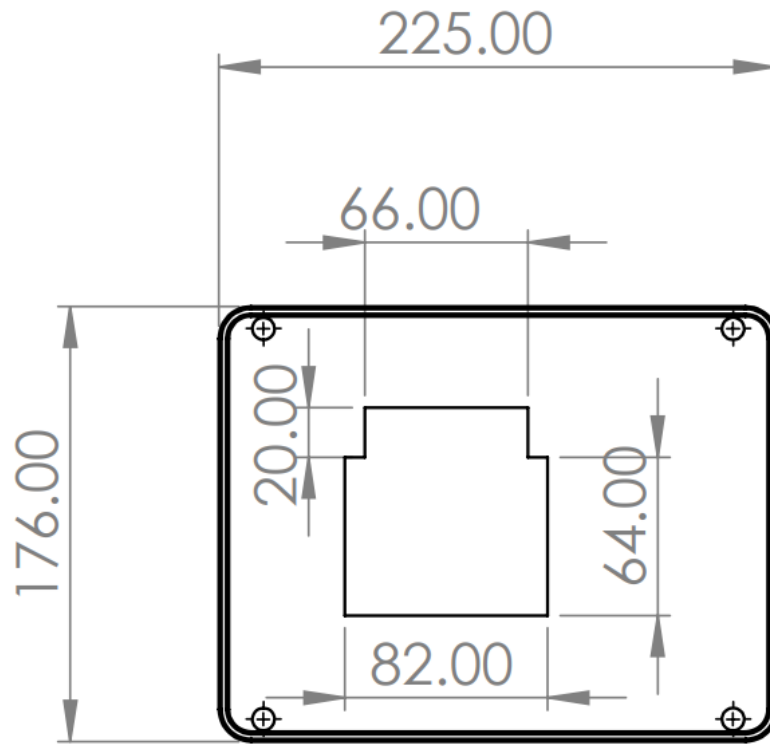
## 5.2 ANEXO B: MEDIDAS Y VISTAS DEL DISEÑO DE LA CAJA

A continuación, se adjunta el diseño de la caja en una vista lateral-superior para luego especificar sus medidas en las imágenes siguientes.

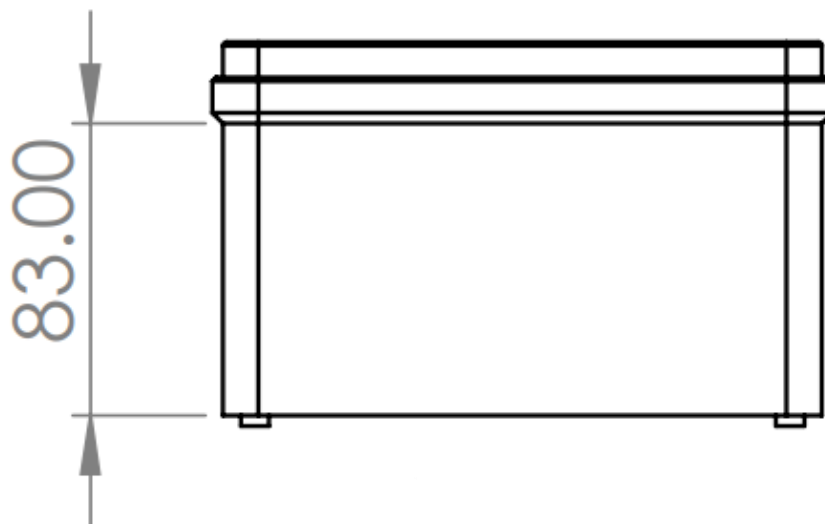


**Figura B. 1** Vista lateral-superior

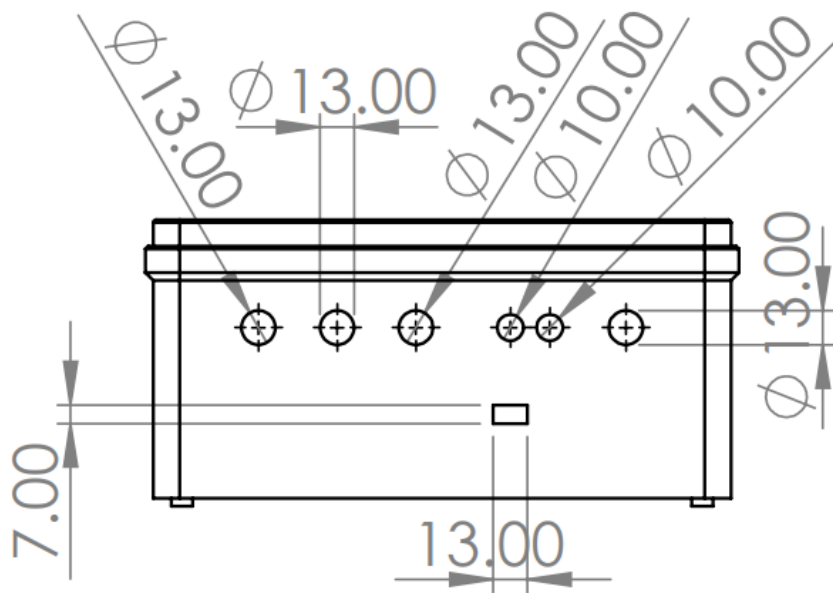
Primero, se debe tomar en cuenta que todas las medidas que se muestran a continuación están expresadas en milímetros.



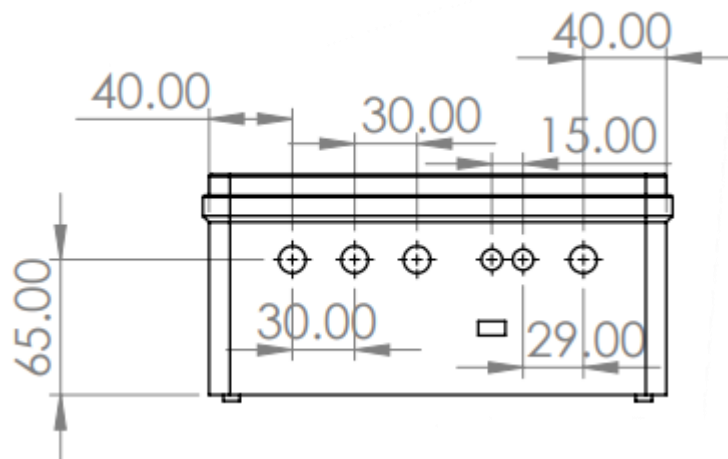
**Figura B. 2** Medidas desde la parte superior



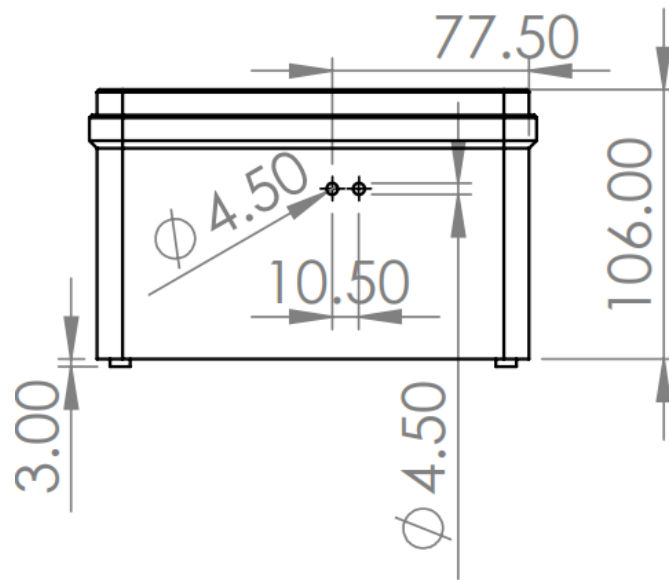
**Figura B. 3** Medida tomada desde la parte lateral izquierda



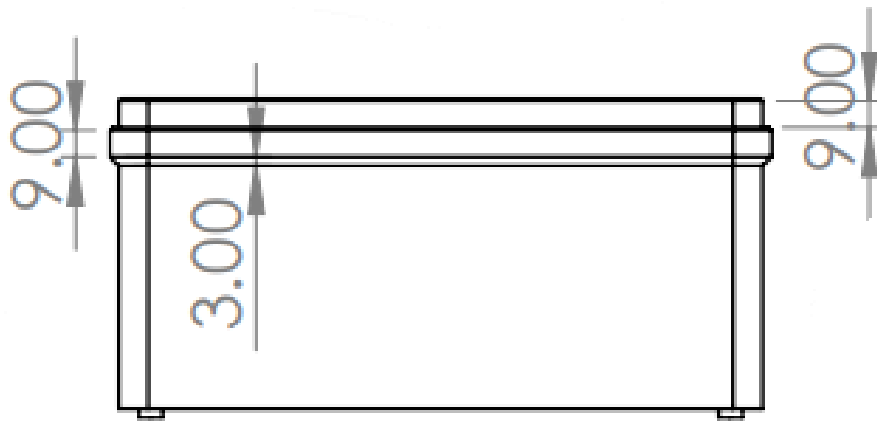
**Figura B. 4** Medidas tomadas desde la parte frontal



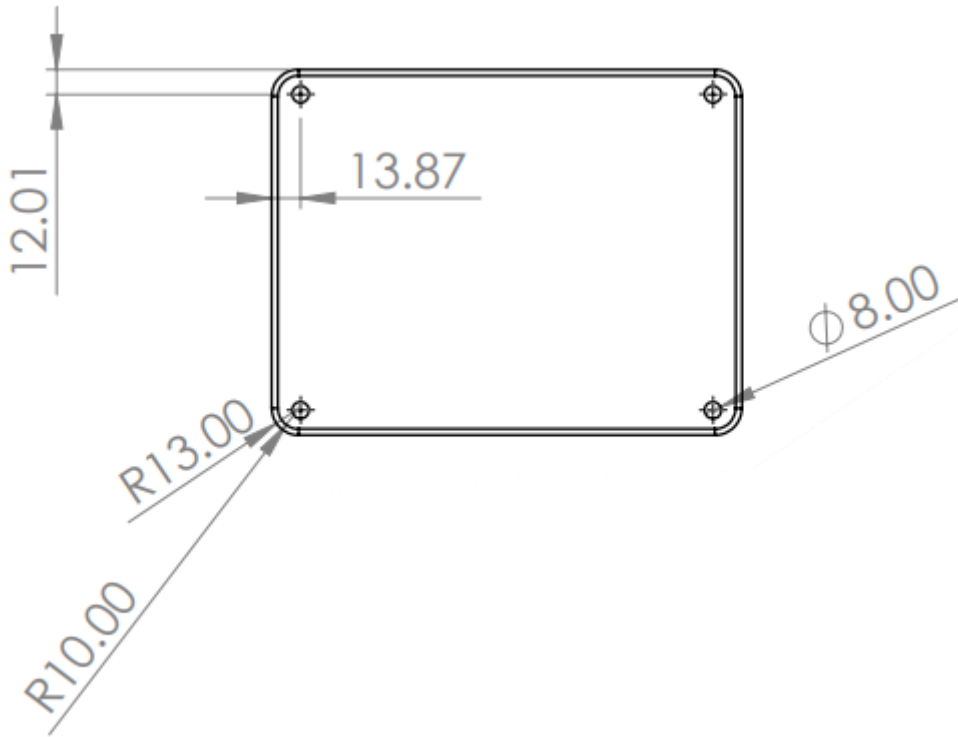
**Figura B. 5.** Medidas tomadas desde la parte frontal



**Figura B. 6.** Medidas tomadas desde la parte lateral derecha

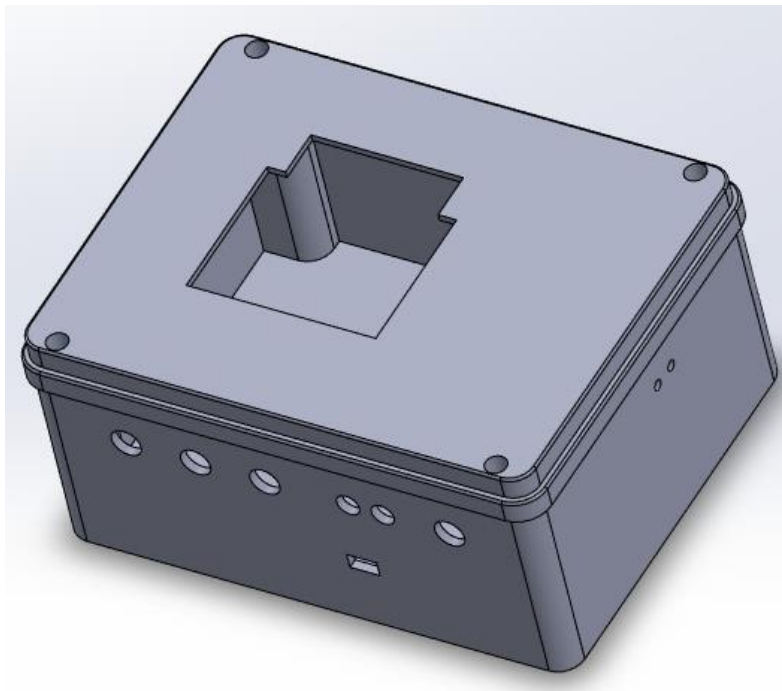


**Figura B. 7** Medidas tomadas desde una vista trasera



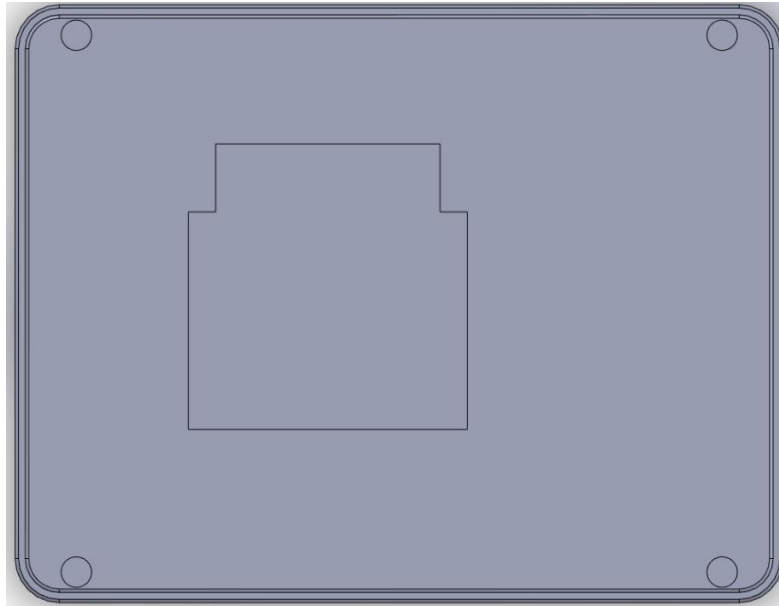
**Figura B. 8** Medidas tomadas desde la parte inferior

A continuación, se muestran las vistas de la caja en el diseño 3D. Cabe recalcar, que este diseño se realizó en el software SolidWorks.

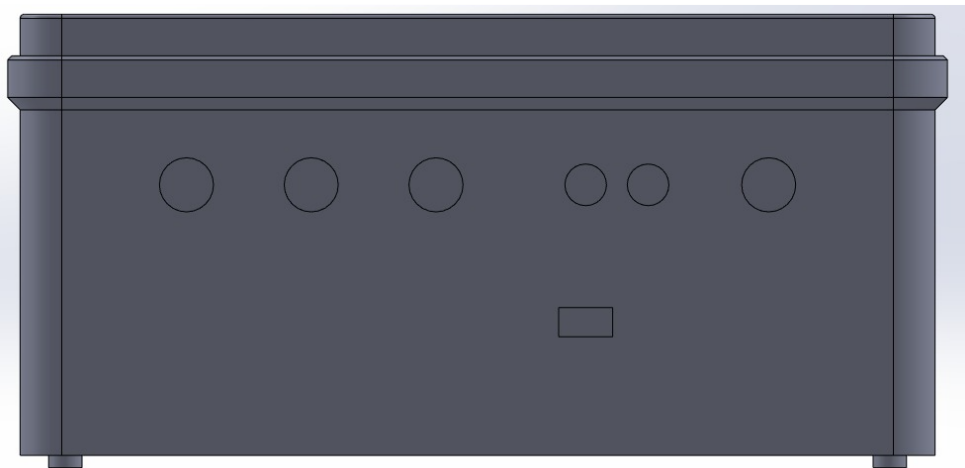


**Figura B. 9** Vista superior-lateral





**Figura B. 10** Vista superior



**Figura B. 11** Vista frontal



**Figura B. 12** Vista lateral derecha



**Figura B. 13** vista trasera

### 5.3 ANEXO C: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este anexo se describe el paso a paso de la realización de la prueba de funcionamiento 2 mediante el uso de fotografías. Se debe tomar en cuenta que la puesta en marcha del laboratorio se ha realizado según las indicaciones que se recibieron por parte de los encargados del laboratorio de hidráulica de la facultad de civil de la EPN.

1. Primero se realiza la apertura de la llave que permitirá el paso del agua en un pequeño porcentaje.



**Figura C. 1** Apertura de llave

2. Después, se presiona el botón que permite encender la bomba.



**Figura C. 2** Encendido de la bomba

La bomba y sus datos de placa se especifican en la siguiente Figura.



**Figura C. 3.** Bomba y datos de placa

3. Una vez encendido, se regula el paso de agua que se desea tener dentro de la tubería por medio de la llave, permitiendo tener menor o mayor caudal.
4. Luego, se prosigue con la instalación del emisor y receptor en la tubería



**Figura C. 4** Ubicación del emisor y receptor

5. Una vez ajustado la posición del emisor y receptor se realiza la toma de los datos.

Ejemplo de medición:

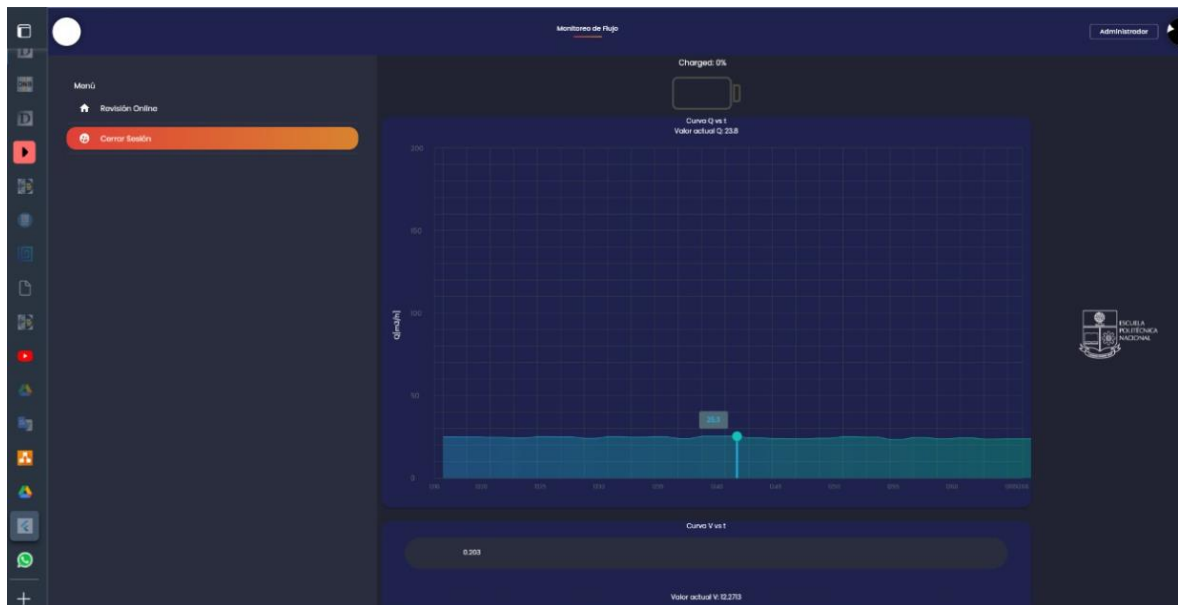
Detector comercial:



**Figura C. 5** Lectura del detector comercial

Dato en el servidor:

Si se observa detenidamente se puede notar que el valor es de  $23.8 \text{ m}^3/\text{h}$ .

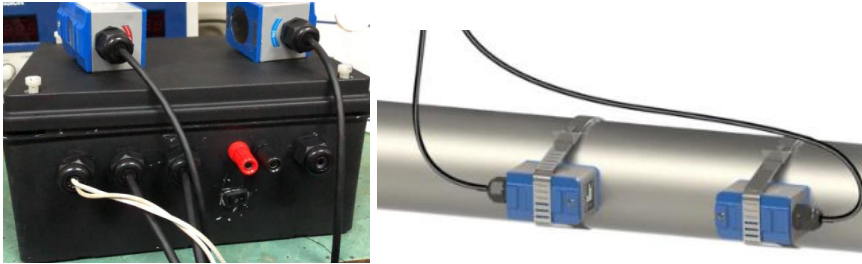


**Figura C. 6** Dato obtenido en el servidor

## 5.4 ANEXO D: MANUAL DE USUARIO

# MANUAL DE USUARIO

## MEDIDOR DE FLUJO CON PRINCIPIO ULTRASÓNICO



SISTEMA DE MEDICIÓN ULTRASÓNICO

---

GUARDE LAS INSTRUCCIONES

LEA DETENIDAMENTE

MANTENGA FUERA DEL ALCANCE DE NIÑOS

**EPN-FIEE**

**QUITO, ECUADOR**

## USO PREVISTO

El prototipo de medición de flujo tiene como objetivo medir el caudal que circula en una tubería y adquirir estos datos para enviarlos a la etapa de procesamiento en tiempo real.

## LEA LAS INSTRUCCIONES DE USO ANTES DE MANIPULAR EL PRODUCTO

En este manual se describen las instrucciones de uso para que una persona sin conocimientos previos al ultrasonido pueda instalar y utilizar el prototipo de medición de flujos. En caso de no entender las instrucciones de uso, NO USE el producto y póngase en contacto con un profesional para evitar daños en el equipo.

## SEGURIDAD: ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES

### **ADVERTENCIA**

Permite informar acerca de una situación con cierto grado de peligrosidad, con la finalidad de prevenir lesiones graves o muerte.

### **PRECAUCIÓN**

Permite informar acerca de una situación con cierto grado de peligrosidad, con la finalidad de prevenir lesiones de bajo impacto.

### **ADVERTENCIA**

- Lea el manual de usuario antes de instalar y usar el dispositivo.
- Utilice el prototipo de medidor de flujo únicamente para el “Uso previsto” según se describe en este manual.
- Trabaje únicamente con la alimentación de energía sugerida.

Para reducir el riesgo eléctrico

- No descubra la carcasa que cubre el sistema electrónico
- No tocar la superficie electrónica

### **PRECAUCIÓN**

- Configure el tipo de líquido que fluye dentro de la tubería, para que se puedan realizar correctamente las medidas
- Verifique el diámetro en el que se va a instalar el dispositivo de medición.

Para reducir el riesgo de daños:

- No utilice en superficies extremadamente húmedas
- No manipule la pantalla del medidor con las manos sucias



## ESPECIFICACIONES

Característica	Especificación
Precisión	+/- 1%
Alimentación	12 a 24 VDC 220 VAC
Material de tubería	Acero, acero inoxidable, cobre, PVC, cemento.
Tipo de líquido	Agua caliente, fría, de mar o residuales, aceite, bebidas, líquidos puros, etc.
Temperatura	-20 a 194 °F
Salida de la señal	Señal de corriente de 4 a 20 mA

**NOTA:** Si se almacena o se opera en una temperatura fuera del rango especificado en la Tabla, se podría ocasionar daños en el prototipo de medición de flujo.

## INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO

1. Primero, verifique que no existan cables descubiertos.
2. Conecte la alimentación de 12 VDC, al sistema de energía.
3. Una vez se encienda la pantalla digital del dispositivo, presione el botón "MENU" y digite 57, para trasladarse a la pantalla en donde se muestra el rango de medición del sensor

4. Una vez en la pantalla digite el rango en el que el sistema de adquisición de datos está trabajando que corresponde de 0 a 100 m<sup>3</sup>/h.
5. Luego presione ENTER para guardar el valor.
6. Después, presione nuevamente MENU e ingrese a la pantalla 25, para que por medio de la tecla up, pueda desplazarse en la interfaz de configuración.
7. Primero, diríjase a la opción "Transducer Type", para verificar el tipo de transductor que corresponde a Clamp-on TM-1
8. Desplácese a la opción "Fluid Type", en donde debe seleccionar el tipo de líquido que va a medir ya sea agua, aceite, etc.
9. Desplácese a la opción "Pipe Material", en donde debe seleccionar el tipo de material de la tubería que corresponda a la instalación que está realizando.
10. Desplácese a la opción "Pipe Outer Diameter", en donde debe ingresar el valor del diámetro externo de la tubería en milímetros.
11. La última configuración en la pantalla 25, se realiza en la opción "Pipe Wall Thickness", en donde debe ingresar el valor del espesor de la tubería en milímetros.

12. Luego de conFigurar los parámetros de la instalación seleccione dirijase a la opción “Transducer Spacing” en donde se muestra la distancia en milímetros a la que deben instalarse el emisor y receptor.

13. Presionar MENU y regresar a la pantalla 1.

14. Después de haber conFigurado los parámetros, es necesario ubicar los transductores de la manera más precisa posible y a la distancia sugerida.

NOTA: En la pantalla se visualiza la letra I si los transductores no se han instalado correctamente, mientras que si se está emitiendo y recibiendo la señal de manera adecuada en la pantalla se visualiza una letra R.

15. Una vez realizado el proceso de instalación, se debe conectar el puerto de RS232 con la etapa de alimentación y conectarse a una red WiFi para realizar el envío de datos a la etapa de procesamiento.

16. Para establecer la conexión a Internet lo primero con lo que se debe contar es con una red y una contraseña como se detalla a continuación, ya que específicamente a esta red es a la que tiene acceso la tarjeta de adquisición de datos.

**RED: “HUAWEI P30 lite”**

**CONTRASEÑA: “dxla1996”**

17. Una vez conectado a Internet los datos se envían a la etapa de procesamiento

### PRECAUCIÓN

- No **presione bruscamente el teclado del dispositivo de medición**
- Ingrese correctamente las características de la tubería
- No trabaje fuera de las temperaturas indicadas
- No manipule la parte electrónica del dispositivo
- No abra la caja si no es bajo la supervisión de un experto

### INSTRUCCIONES DE LIMPIEZA

- Desconecte la fuente de energía para realizar la limpieza del dispositivo
- Limpie con un paño húmedo las superficies exteriores del prototipo medidor de flujo
- Pase un paño seco por la superficie externa, hasta dejar la superficie libre de humedad

### LOCALIZACIÓN DE PROBLEMAS

Problema	Posible solución
El equipo no enciende	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar que el equipo esté conectado a una fuente de energía</li><li>• Intente con otro valor de alimentación</li></ul>

No se conecta a la red WiFi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Verificar el nombre de la red y su contraseña</b></li> </ul>
El caudal obtenido no es un valor lógico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la instalación realizada.</li> <li>• Verificar los parámetros ingresados</li> <li>• Verificar que se muestra R en la pantalla del dispositivo</li> </ul>
No se visualizan datos del nivel de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que se haya conectado la comunicación por medio de RS232.</li> <li>• Verificar el buen estado del cable para comunicación.</li> </ul>

#### INFORMACIÓN DE CONTACTO



NÚMERO DE TELÉFONO:  
**1800-medidor de flujo**



DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO:  
Medidordeflujo@epn.edu.ec



SITIO WEB:  
[www.medidor deflujo.es](http://www.medidordeflujo.es)

## **5.5 ANEXO E: VIDEO DE FUNCIONAMIENTO**

El link que se adjunta a continuación, corresponde al video de funcionamiento del equipo de medición de flujo y adquisición de datos implementado, en conjunto con las etapas complementarias (medición, alimentación y procesamiento).

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=9ebQ8X9vWqI>