

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE
DATOS Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL
SISTEMA PARA EL MONITOREO DE CAUDALES, EN CANALES ABIERTOS Y
CAÑERÍAS**

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

WELINTONG GEOVANY PEREZ SALAO

welintong.perez@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. FAUSTO EDUARDO AVALOS CASCANTE

eduardo.avalos@epn.edu.ec

Quito, abril 2024



CERTIFICACIONES

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por el señor Welintong Geovany Pérez Salao, bajo mi supervisión.

Fausto Eduardo Ávalos Cascante PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Welintong Geovany Pérez Salao con CI: 1726327149 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

De la misma forma los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales de la obra en mención corresponde al autor mencionado.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la institución podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

Welintong Geovany Pérez Salao

DEDICATORIA

A dios por permitirme llegar y concluir esta etapa tan bonita e importante en mi vida.

A mi madre María, mi padre Alberto y mi hermano Kevin quienes día a día se esforzaron y me apoyaron incondicionalmente para que en ningún momento de esta importante etapa me llegase a faltar nada dándome su total respaldo.

A la memoria de mi abuelita María Antonia Lalón Lalón.

A todos ellos por el sacrificio y esfuerzo que me encomendaron para yo poder tener un mejor futuro y una mejor educación.

Finalmente, me lo dedico a mí también, porque estuve a nada de rendirme en varias ocasiones; sin embargo, por mi propia constancia, disciplina y humildad pude lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres María y Alberto quienes forjaron a la persona que ahora soy con disciplina y constancia, gracias a ellos he podido culminar cada importante etapa de mi vida y este logro es uno más para ellos.

A mis amigos más cercanos quienes formaron parte de todo este proceso donde no solamente compartieron un salón de clase sino una parte de su vida, guardare y atesorare cada momento que viví con cada uno de ellos.

Finalmente, un agradecimiento especial al doctor Eduardo Ávalos, por su total colaboración y paciencia en el desarrollo de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
INDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Alcance.....	3
1.3. Marco Teórico.....	4
1.3.1. Definición e importancia de la transmisión de datos.....	4
1.3.2. Ventajas y desventajas de la transmisión de datos inalámbrica	5
1.3.3. Tipos de transmisión inalámbricas según su rango de frecuencia	6
1.3.4. Antenas.....	8
1.3.5. Tipos de módulos de comunicación por ondas de radio.	9
1.3.6. Principio de medición.....	13
1.3.7. Cálculo para ductos cerrados.....	17
1.3.8. Cálculo para canales abiertos	18
1.3.9. Selección de equipos y componentes.....	19
1.3.10. Interfaz gráfica en Matlab	24
2. METODOLOGÍA	26
2.1. Diseño e implementación del hardware de transmisión.....	26
2.1.1. Circuito de Adquisición	26
2.1.2. Circuito de alimentación	27
2.1.3. Circuito de transmisión	29

2.1.4.	Circuito de procesamiento e interacción	30
2.2.	Diseño e implementación del hardware de recepción.....	31
2.2.1.	Circuito de Recepción.....	31
2.2.2.	Circuito de procesamiento e interacción	32
2.3.	Implementación de los circuitos y estructura en 3D	33
2.3.1.	Estructura desarrollada para el módulo receptor.....	35
2.3.2.	Pantalla para el monitoreo de energía	36
2.3.3.	Pantalla para el monitoreo de datos recibidos.....	37
2.4.	Diseño e implementación del software del emisor	38
2.5.	Diseño e implementación del software del receptor.....	40
2.6.	Diseño de la aplicación de escritorio	43
2.6.1.	Ventana inicial de la aplicación	44
2.6.2.	Ventana de configuraciones de la aplicación.....	45
2.6.3.	Ventana principal de la aplicación	47
2.7.	Creación del archivo ejecutable de la aplicación de escritorio.....	49
2.7.1.	Requerimientos mínimos del sistema	51
3.	PRUEBAS Y ANALISTAS DE RESULTADOS	52
3.1.	Instalación de equipos y componentes.....	54
3.2.	Pruebas y resultados obtenidos mediante la aplicación	55
3.3.	Análisis y validación de resultados	59
3.4.	Pruebas de duración de energía de los módulos	64
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1.	Conclusiones	66
4.2.	Recomendaciones.....	66
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
	ANEXOS	70
1.	Manual de Usuario.....	70

2. Datos de una inclinación del 1.4°	82
3. Datos de una inclinación del 1.1°	84
4. Datos de una inclinación del 0.5°	86
5. Certificado de originalidad	88

RESUMEN

El presente documento detalla el desarrollo y la implementación de un sistema de transmisión de datos, además del procesamiento digital de la información para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías. En base a módulos de comunicación mediante ondas de radio se implementó un sistema de transmisión inalámbrica a partir de dos equipos, emisor y receptor, los cuales se comunican mutuamente a grandes distancias y evitando lo menos posible la pérdida de información al momento de atravesar objetos físicos existente en el lugar donde se hará la transmisión.

Estos equipos cuentan con un sistema de energía recargable que funcionan de manera independiente entre ellos y ensamblados en estructuras con dimensiones muy reducidas para un fácil manejo y transporte para los usuarios que los vayan a usar.

Para la parte del procesamiento de datos se utiliza una aplicación de escritorio donde no necesita el uso del internet para su funcionamiento y puede ser instalado en cualquier ordenador para su uso. Esta aplicación empleara modelos matemáticos adecuados para el cálculo de caudal requeridos para su posterior monitoreo.

Para la obtención de caudal se usarán los modelos matemáticos propuestos por Manning donde considera varios parámetros característicos del sistema como el tipo de flujo o la geometría del canal o cañería, para la obtención de resultados más reales y precisos.

PALABRAS CLAVE: Emisor, Receptor, Radiofrecuencia, Inalámbrico, Ondas de radio, Matlab, App Designer.

ABSTRACT

This document details the development and implementation of a data transmission system, in addition to the digital processing of information for monitoring flows in open channels and pipes. Based on communication modules using radio waves, a wireless transmission system was implemented from two devices, transmitter and receiver, which communicate mutually over long distances and avoiding the loss of information as little as possible when passing through physical objects. existing in the place where the transmission will be made.

These devices have a rechargeable energy system that works independently of each other and is assembled in structures with very small dimensions for easy handling and transportation for the users who are going to use them.

For the data processing part, a desktop application is used where it does not require the use of the Internet for its operation and can be installed on any computer for use. This application will use appropriate mathematical models to calculate the flow required for subsequent monitoring.

To obtain flow, the mathematical models proposed by Manning will be used where he considers several characteristic parameters of the system such as the type of flow or the geometry of the channel or pipe, to obtain more real and precise results.

KEYWORDS: Emitter, Receiver, Radio frequency, Wireless, Radio waves, Matlab, App Designer.

1. INTRODUCCION

La gestión y monitoreo de información recolectada en aplicaciones industriales resulta una actividad de mucha utilidad e importancia, debido a que con ayuda de estos datos se puede encaminar a una correcta toma de decisiones con un fin favorable para la actividad realizada. De esta manera el desarrollo e implementación de un sistema de transmisión y procesamiento digital resulta una herramienta base para el inicio de tal gestión para evocar a un monitoreo adecuado.

Los avances tecnológicos en la actualidad han permitido el desarrollo de equipos que permiten realizar tal monitoreo de una manera remota como comunicarse de manera inalámbrica mediante diferentes tipos de tecnologías unas más favorables que otras, pero teniendo en cuenta el mismo objetivo.

Este proyecto tiene la finalidad de desarrollar un sistema de transmisión inalámbrica mediante la comunicación por radiofrecuencia, donde la información será procesada y mostrada en una aplicación desarrollada en un entorno de programación conocida como Matlab, los datos recolectados serán reales, en tiempo actual y de fácil entendimiento para el usuario.

El proyecto propuesto será aplicado para el procesamiento de datos obtenidos de un sensor ultrasónico de caudal, para la obtención del flujo de agua circulante tanto en una cañería como en un canal abierto, la información será transmitida de manera inalámbrica con la finalidad de desarrollar una alternativa de bajo costo y de rápida integración en distintas aplicaciones de la industria, pues la distancia y los obstáculos que pueden impedir una transmisión adecuada no serán de ningún problema con el sistema propuesto.

Para lograr cumplir con lo indicado para este proyecto se requiere de dos etapas: la transmisión y el procesamiento de los datos. La transmisión de los datos obtenidos del sensor ultrasónico se realizará mediante un módulo emisor ubicado en el campo, el cual recibirá los datos y los enviará de manera inalámbrica, un módulo receptor estará ubicado a una distancia adecuada para el usuario, así se podrá obtener los datos transmitidos y permitirá la conexión con la aplicación desarrollada. Finalmente, la etapa de procesamiento

de datos hará el uso de criterios matemáticos para la obtención del caudal del agua que pudiese fluir por los sistemas antes mencionados mediante los datos obtenidos por el sensor ultrasónico.

1.1. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es:

Diseñar e implementar un sistema de transmisión de datos y procesamiento digital de información obtenida a partir de un sistema de monitoreo de caudales en canales abiertos y cañería.

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Investigar y analizar los diferentes métodos proporcionados para una transmisión de datos que adecue lo mejor posible a los aplicativos industriales que en este caso se tomaran en cuenta, de tal manera que se evite lo menor posible la pérdida o la alteración de información.
- Estudiar y seleccionar el módulo para transmisión inalámbrica con las características de funcionamiento más adecuadas para este trabajo, de tal manera se lo pueda disponer a un bajo costo con una rápida integración.
- Diseñar e implementar un sistema de transmisión de información tomando en cuenta factores como la distancia de transmisión, la alimentación energética del sistema, la fácil implementación industrial, entre otros.
- Diseñar una aplicación computacional el cual mediante criterios matemáticos se encargará de extraer los datos por parte del sensor ultrasónico, para así obtener el caudal del canal o cañería.
- Desarrollar una interfaz gráfica que muestre todos los datos obtenidos del sistema en general, mediante visualizaciones en tiempo real y de fácil entendimiento para el usuario.
- Realizar diferentes pruebas para poder validar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado, de tal manera que asegure una correcta transmisión de datos sin perdidas algunas y una precisión eficaz en la información procesada mediante los criterios matemáticos considerados para cada caso.

1.2. Alcance

- Estudiar los diferentes módulos que hay en el mercado para una comunicación inalámbrica lograda mediante radiofrecuencia, donde se tomará en cuenta la distancia máxima de transmisión y la frecuencia a la que se hará para evitar la pérdida de información.
- Se utilizarán dos sistemas micro procesados con las características idóneas que cumplan tanto los requerimientos físicos como electrónicos para este proyecto.
- Se diseñará un módulo emisor, el cual será ubicado en el campo y un módulo receptor que será ubicado donde el usuario lo crea conveniente para la visualización de datos transmitidos. Estos módulos estarán compuestos por un sistema micro procesado que mostrara los diversos datos obtenidos en una pantalla oled a partir de lo recibido por el módulo emisor, el cual será el encargado de obtener los datos por parte del sensor ultrasónico y mediante el módulo de transmisión por radiofrecuencia enviara dichos datos al otro modulo. Esta parte del equipo será debidamente alimentada por baterías recargables de larga duración, botones de navegación, luces indicadoras y tendrá la factibilidad de comunicarse con un puerto computacional.
- Se desarrollará una estructura en 3D tanto para el módulo emisor como receptor con el objetivo de distribuir de mejor manera cada uno de los componentes utilizados para lograr que el tamaño de estos módulos sean lo más pequeño posible.
- Se diseñará una aplicación computacional que funcione sin la necesidad de tener conexión a internet, el cual tendrá la factibilidad de funcionar en cualquier entorno computacional mediante una simple conexión por cable desde el módulo receptor.
- Se desarrollará un entorno de programación que sea capaz de calcular el caudal y la velocidad que fluye el agua ya sea para cañerías o canales abiertos a partir de los datos proporcionados en el campo. Estos datos se mostrarán en una interfaz gráfica amigable y de fácil entendimiento para el usuario.
- Se realizarán diversas mediciones con el equipo y con un sensor de flujo más complejo utilizado habitualmente en la industria, de tal manera que se logre una comparativa entre los datos obtenidos por ambos equipos y determinar la veracidad de los resultados obtenidos.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Definición e importancia de la transmisión de datos

Se define a la transmisión de datos como el traslado de información codificada desde un lugar donde son originados a otro donde son recibidos, mediante diferentes tipos de señales como son las eléctricas, electromagnética, electro ópticas, etc.[1]

La transmisión de datos tiene gran importancia en las diversas aplicaciones dadas debido a que considera la distancia y la geografía donde se requiere realizar el intercambio de información. Debido a estos parámetros se puede dar la transmisión de datos de estas dos formas:

- **Local**

Se constituyen aquel tipo de transmisión donde la distancia es mínima y no requiere considerar aspectos especiales para la implementación. Este intercambio de información se da dentro de un edificio o una superficie geográfica reducida. [1]

- **Remota**

Debido a la distancia de transmisión se requiere considerar ciertos aspectos especiales para lograr una comunicación adecuada, estas consideraciones buscan que un computador o dispositivo pueda dialogar sin problemas con equipos situados considerablemente alejados y con aspectos geográficos relevantes. [1]

Normalmente la transmisión de datos viene constituida por un soporte físico donde el emisor y el receptor pueden interactuar mutuamente, estos medios pueden ser guiados y no guiados. [2]

Los medios guiados conducen dichas ondas mediante un camino físico el cual determina las limitaciones tanto en la velocidad de transmisión, ancho de banda que se puede soportar, etc. Estos pueden ser coaxial, par trenzado o fibra óptica. [1] [2]

Y los medios no guiados son aquellos que conducen mediante ondas donde, donde son más determinantes debido a la transmisión del espectro de frecuencia producida por la antena del propio medio. Estos pueden ser por microondas, infrarrojos o satelital. [1] [2]

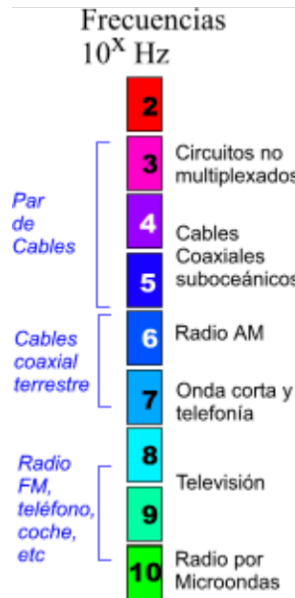


Figura 1.1. Espectro de frecuencias. [2]

Para este proyecto se considerará la implementación del equipo en un medio remoto por lo que se enfocará en el estudio de la transmisión de datos inalámbrica, debido a que se busca resolver problemas tanto de distancia como de geografía del medio con este trabajo.

1.3.2. Ventajas y desventajas de la transmisión de datos inalámbrica

Este tipo de transmisión es la más utilizada en la actualidad debido a que se enfoca en enviar información digital de un dispositivo a otro sin la necesidad de usar cables o alguna conexión física. En su lugar hace el uso de ondas de radio o señales infrarrojas que son enviadas por el aire.[3]

Ventajas:

- Este tipo de transmisión brinda una mayor movilidad entre los dispositivos que se están comunicando, debido a que brinda cierta comodidad al momento de acceder a la información transmitida en cualquier lugar que este dentro del alcance de la red inalámbrica.
- Disminuye ventajosamente la configuración y mantenimiento de la red, ya que elimina totalmente la instalación de cables físico a lugares de difícil acceso y que resulta una inversión mucho mayor.
- A este tipo de transmisión se le puede agregar o quitar dispositivos de una manera mas sencilla en comparación a las instalaciones hechas a base de conexiones físicas,

adaptándose a las necesidades de la aplicación dada sin la necesidad de realizar grandes cambios estructurales. [3]

Desventajas:

- Las transmisiones hechas a través del aire pueden ser interceptadas por personas externas que no están autorizadas a acceder a dicha información, por lo que se debe implementar medidas de seguridad como el cifrado de datos y el uso de contraseñas.
- Las señales inalámbricas pueden ser interferidas por cualquier otro dispositivo electrónico como equipos o redes similares, provocando que la eficiencia de la transmisión se vea reducida y alterando de cierta manera la calidad de datos obtenidos.
- Esta transmisión tiene cierto alcance limitado ya que tiende a debilitarse a medida que la distancia de comunicación sea mayor o se vea rodeada con obstáculos físicos que debilitan las señales. [3]

1.3.3. Tipos de transmisión inalámbricas según su rango de frecuencia

1.3.3.1. Microondas terrestres

Emplea antenas parabólicas de 3 metros de diámetro que deben estar dirigidas directamente hacia la antena receptora, estas se encargan de emitir señales microondas que pueden llegar a un alcance considerable en kilómetros ya que emplea una frecuencia de 1 a 300 GHz para la transmisión.[4]

1.3.3.2. Microondas satelitales

Opera mediante el vínculo de una o más estaciones consideradas como base, el cual considera a un satélite suspendido en la atmósfera como un intermediario. Sin embargo, tiene un alcance mucho mayor y velocidades de transmisión mayores debido a que usan frecuencias específicas de 1 a 10 GHz para el intercambio de datos. [4]

1.3.3.3. Infrarrojos

Emplea moduladores de luz que deben estar alineados entre el emisor y receptor, de tal manera que no puede existir ningún obstáculo entre ambos módulos. Normalmente trabajan a una frecuencia de 300 GHz y 384THz. [4]

1.3.3.4. Ondas de radio

Estas ondas de transmisión trabajan a distintas frecuencias dependiendo del uso al que se lo aplique, de tal manera que logran transmitir información a distintas distancias sin la

necesidad de que el medio geográfico sea un problema. El rango de frecuencia a la que trabajan está comprendido entre los 1 MHz y 1GHz. [4]

Tabla 1. Comparación entre los diferentes tipos de transmisión inalámbricas. [4] [5]

	Alcance	Penetración	Velocidad
Microondas Terrestre	Pueden llegar a transmitir hasta los 30 km, pero se delimitan por la curvatura de la tierra.	Pueden atravesar cualquier objeto, pero puede ser afectada por los cambios climáticos.	Son capacidades de proporcionar velocidades de transmisión altas dependiendo de los equipos.
Microondas Satelital	El alcance no se ve delimitado debido a que tiene una cobertura global.	Tiene alta penetración proporcionando un servicio de comunicación global.	Pueden tener cierto retraso en la transmisión de la señal dependiendo de la distancia.
Infrarrojo	Corto alcance, pocos metros dependiendo de la línea de visión	la señal puede ser fácilmente bloqueada por un objeto físico.	la velocidad de comunicación es alta. Varía según la tecnología utilizada.
Ondas de radio	Largo alcance dependiendo de la frecuencia, abarcando desde pocos metros hasta kilómetros	Tiene alta penetración, sin embargo, esta disminuye si la frecuencia es alta, por lo que las frecuencias bajas son ideales.	Varia dependiendo de la frecuencia donde puede llegar a alcanzar velocidades de hasta los gigabits por segundo.

Mediante esta comparativa se puede deducir que los dispositivos de comunicación inalámbrica ejercida mediante ondas de radio serian la más apropiada para este proyecto, debido al alcance que tiene, la resolución de problemas de penetrabilidad que brinda y la velocidad de datos que es la más adecuada para esta aplicación.

De esta manera se estudiará los diferentes módulos mediante radiofrecuencia que están disponibles en el mercado para de esta manera analizar cada una de ellas y decidir por la mejor opción para este proyecto.

1.3.4. Antenas

Las antenas en las comunicaciones mediante radiofrecuencia resultan de mucha utilidad debido a que es un conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas para usarse como un dispositivo guía en el espacio tanto para la transmisión como para la recepción de datos.

Su funcionamiento se basa en un proceso inverso tanto para el dispositivo emisor como receptor, es decir para el dispositivo emisor se le aplica un voltaje para que mediante la antena se genere un campo electromagnético, campo que es captado por el dispositivo receptor el cual como respuesta generara un voltaje determinado.

El tamaño de la antena es un parámetro muy importante a considerar ya que viene estrechamente relacionada con la longitud de onda de la señal, de tal manera que se da que a mayores frecuencias de transmisión el tamaño debe ser menor, como se puede evidenciar en la ecuación (1.1). [6]

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

Donde:

- λ longitud de onda
- v velocidad de propagación
- f frecuencia de operación.

La composición de una antena se la puede relacionar mediante el equivalente de Thévenin compuesta por una fuente ideal en serie con una impedancia Z_g , que representa las pérdidas dadas en la fuente, una resistencia R_L y R_r que representa las pérdidas dadas en el dieléctrico y de radiación correspondientemente. Finalmente, X_A representa la impedancia de radiación que se da en la antena. [6]

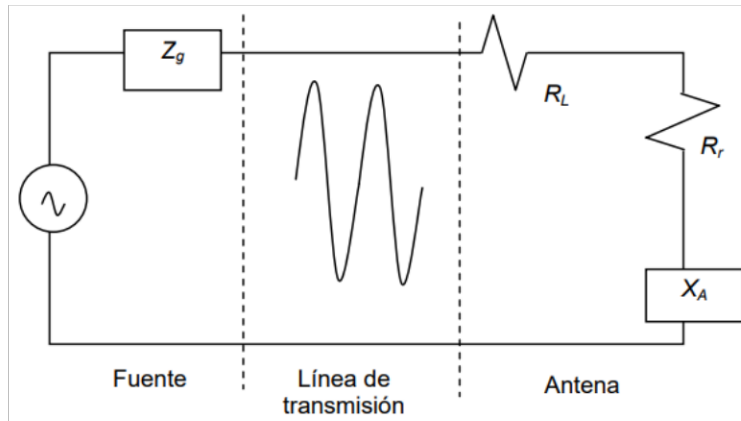


Figura 1.2. Modelo de una antena. [6]

1.3.5. Tipos de módulos de comunicación por ondas de radio.

1.3.5.1. NRF24

Este módulo viene incluido con un amplificador en la placa al cual se le conecta una antena, esto se lo hace para que la transmisión de datos alcance una mayor distancia sin problema alguno. El módulo trabaja mediante comunicación SPI el cual es beneficioso para obtener una velocidad de transmisión mucho más rápida en comparación a la I2C o UART.

Con este módulo comunicar mediante SPI es muy sensible al ruido por lo que debe estar debidamente protegido contra este problema. Lo ventajoso de estos módulos es que pueden funcionar tanto como receptor o como emisor de señal.[7]



Figura 1.3. Modulo NRF24. [8]

- Voltaje de alimentación: 1.9 ~ 3.6 V
- Consumo corriente: 60 mA
- Interfaz digital: SPI
- Dimensiones: 15 x 29 mm
- Distancia: 700 m
- Frecuencia de funcionamiento: 2.4 GHz
- Velocidad de transmisión: 250 kbps. 1Mbps y 2Mbps.
- Costo: 9 \$
- Sensibilidad de recepción: < -90 dB [8]

1.3.5.2. HC12

Este módulo hace el uso de comunicación serie UART donde puede llegar a un alcance de 1.8 km. La velocidad de transmisión de datos es de 9600 baudios por segundo, pero este puede llegar hasta los 115 200 baudios. El problema con esos módulos radica en la instalación de un condensador de desacoplamiento para obtener un funcionamiento más estable y también si se desea realizar un control a grandes distancias este tendrá cierto retardo en los datos transmitidos.[9]

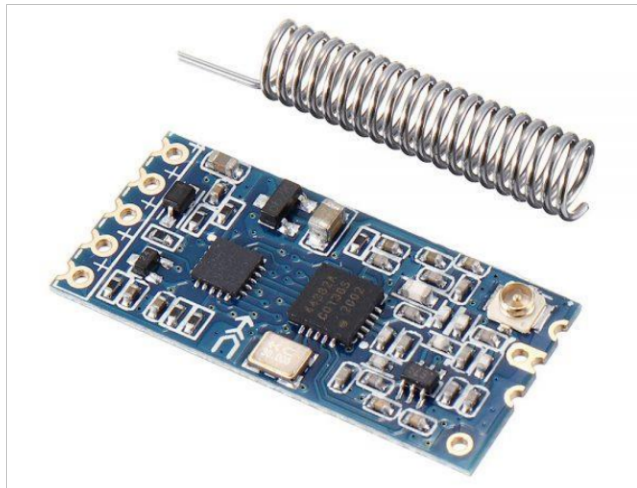


Figura 1.4. Modulo HC12. [10]

- Voltaje de alimentación: 3.2 ~ 5.5V
- Consumo corriente: < 200 mA
- Rango de frecuencia: 433.4 ~ 473 MHz
- Distancia (Aire Libre): 1 Km
- Potencia de transmisión: 100 mW

- Dimensiones: 27.4mm x 13.2mm x 2mm
- Costo: 9.49 \$
- Sensibilidad de recepción: -117 dBm [10]

1.3.5.3. LoRA

Este módulo de radio es más robusto que usa la comunicación SPI, además que necesita el diseño de una antena que acople a las características del módulo para un correcto funcionamiento. Transmite a altas velocidades y muestra un mejor rendimiento que permite trabajar de manera bidireccional. El problema que muestra este tipo de módulos es la cantidad de pines que necesitan para la comunicación con el microcontrolador.[11]

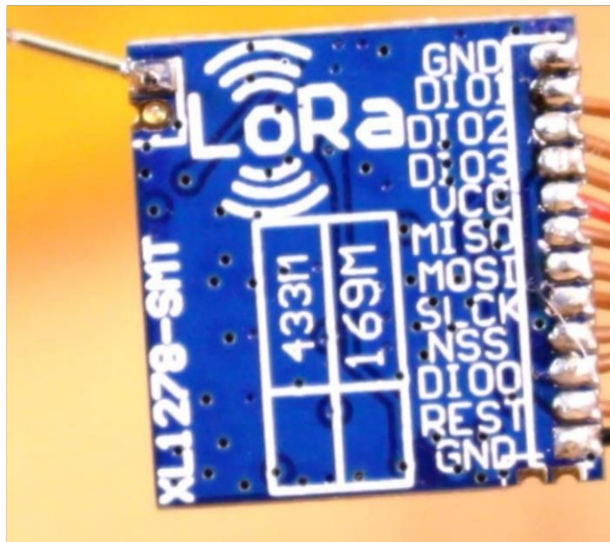


Figura 1.5. Modulo LoRA. [12]

- Voltaje de alimentación: 4.5 ~ 5.5V
- Consumo corriente: 90 mA
- Rango de frecuencia: 433 ~ 915 MHz
- Dimensiones: 44.5mm x 23.6mm x 7.0mm
- Distancia: 5 Km
- Costo: 14.68 \$
- Sensibilidad de recepción: -148 dBm [12]

1.3.5.4. CC1101

Este módulo cuenta con comunicación SPI donde su velocidad de transmisión máxima es de 500 KB por segundo. Este módulo puede trabajar a diferentes frecuencias modificables donde pueden funcionar tanto como transmisores o receptores.[13]



Figura 1.6. Modulo CC1101 [14]

- Voltaje de alimentación: 2.7 ~ 5.5V
- Consumo corriente: 15.6 mA
- Rango de frecuencia: 433 MHz
- Dimensiones: 27mm x 9mm
- Distancia: 150 m
- Costo: 3.87 \$
- Sensibilidad de recepción: -110 dBm [14]

Se pudo dar a conocer los diferentes módulos de transmisión por radiofrecuencia existentes en la actualidad, sin embargo, se debe elegir al más adecuado para la implementación en este proyecto, teniendo en cuenta dimensiones, distancia de transmisiones, costos, etc.

Como es de conocimiento se requiere un módulo que transmita datos a base de la recolección de información de caudal de un sistema, por lo que se debe considerar que la antena del módulo tenga cierta protección a factores de humedad como es el caso de los módulos NRF24 y CC1101. Además, se debe considerar la capacidad de penetración que deben tener al momento de transmitir datos a través de obstáculos físico, como también la distancia a la que se requiere enviar esta información. Debido a estos factores y también la factibilidad de encontrar estos módulos en el mercado se consideró el uso del módulo

NRF24, el cual posee características adecuadas para el proyecto donde se consideró principalmente la distancia de transmisión a velocidades adecuadas sin llegar a perder nada de información en el proceso.

1.3.6. Principio de medición

El principio de medición de este proyecto se basa en determinar la cantidad de caudal que fluye a través de un determinado ducto o canal a partir de las mediciones tomadas por el sensor ultrasónico de caudal, el cual dará como resultado la altura del líquido que fluye a través del ducto o canal donde partir de esta información se procederá con los modelos matemáticos correspondientes para obtener el caudal y como dato adicional también la velocidad a la que fluye el mismo.

Por lo que para determinar la cantidad de caudal se procede a utilizar la siguiente expresión.

$$Q = Ah \cdot v \quad (1.2)$$

Donde:

- A Área de la sección transversal
- v velocidad a la que fluye el caudal

La velocidad depende de ciertos parámetros importantes a considerar para cada caso por lo que antes de conocer los distintos modelos matemáticos que se aplicaran, se deben tener en cuenta las siguientes definiciones. [15]

1.3.6.1. Área hidráulica (Ah)

Es el área total que ocupa el líquido en la sección transversal medida ya sea del canal o del ducto por donde circula el fluido del cual se quiere medir el caudal, como se puede apreciar en la figura 1.7., es toda la parte azul indicada. [15]

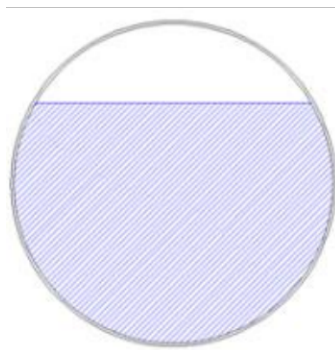


Figura 1.7. Área hidráulica de una cañería. [15]

1.3.6.2. Perímetro mojado (Pm)

De la sección transversal medida es el perímetro donde existe contacto del líquido con las paredes del ducto o canal, exceptuando la superficie libre si llegase a existir. Es la parte roja indicada en la figura. [15]

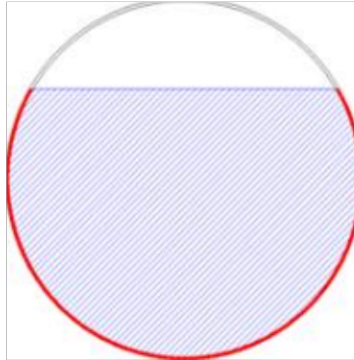


Figura 1.8. Perímetro mojado de una cañería. [15]

1.3.6.3. Radio hidráulico (Rh)

Expresa la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado, donde es una medida que indica la eficiencia del flujo dado en el canal o ducto. Es decir que mientras el radio hidráulico sea mayor, existirá menor resistencia de flujo por parte de las paredes del canal o ducto. [15]

$$Rh = \frac{Ah}{Pm} \quad (1.3)$$

1.3.6.4. Tipos de flujo

Los tipos de flujo en la medición de caudal depende netamente de la utilización del espacio como criterios a considerar, ya que dependiendo de este parámetro se puede producir cambios de velocidad en el entorno ya sea por un cambio de pendiente o de una estructura hidráulica. Por esta razón se puede considerar el trabajar en un flujo uniforme o variado. [15]

▪ Flujo Uniforme

Este tipo de flujo se da cuando la velocidad media del fluido que recorre el canal o ducto permanece constante, implicando de esta manera que la sección transversal y el tirante del canal o ducto permanece constante en todo momento. En este punto se debe considerar directamente la velocidad a la que está circulando el fluido para la obtención del caudal en el sistema. [15]

▪ Flujo Variado

Cuando el flujo del sistema es variado se da cuando la velocidad media va alterándose en cada momento ya sea por cambios dados en la sección transversal o por la pendiente dada en el canal o ducto. En este caso se debe obtener la velocidad a la que está fluyendo el sistema partiendo de parámetros como la geometría del sistema y la pendiente a la que este se encuentra. [15]

1.3.6.5. Pendiente (S)

Es la inclinación del terreno a la que esta circula el fluido medido, donde de dicha inclinación dependerá la velocidad a la que circula el fluido por medio del ducto o canal. Esta expresión se la puede determinar de varias maneras como se indica a continuación.[16]

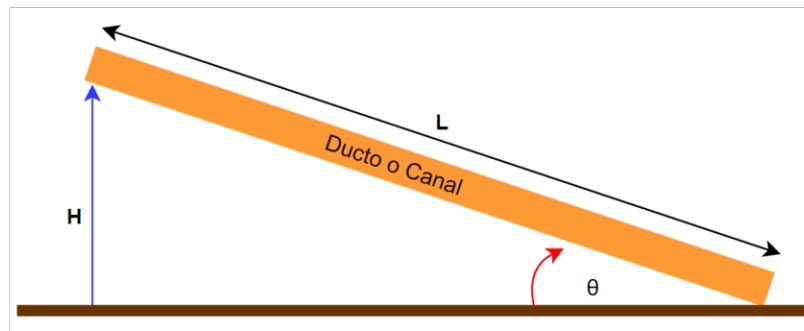


Figura 1.9. Inclinación del terreno [16]

La pendiente del terreno se la puede determinar de dos formas, donde dependerá netamente de los parámetros que se tengan a disposición del terreno. Se puede obtener mediante la relación entre la altura (H) y la longitud del canal o ducto (L), o también mediante la inclinación (θ) a la que se encuentra instalado el ducto o canal, como se indica en la ecuación (1.4). [16]

$$S = \frac{H}{L} = \text{sen}(\theta) \quad (1.4)$$

1.3.6.6. Ecuación de Manning

Es una fórmula empírica el cual buscar dar solución a la problemática de determinar la velocidad a la que fluye cierto líquido por medio de ductos cerrados o canales abiertos mediante los parámetros ya definidos anteriormente, donde los relaciona mediante la siguiente ecuación (1.5). [17]

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2} \quad (1.5)$$

Donde:

- v velocidad que fluye el liquido
- Rh Radio hidráulico
- S Pendiente
- n Coeficiente de Manning

Cabe indicar que el coeficiente de Manning es un valor adimensional que depende mucho del material del que está construido el ducto o canal donde los más principales a conocer serán los de la siguiente tabla. [17]

Tabla 2. Coeficiente de Manning. [17]

Material	n
Tierra limpia y uniforme	0.017
Hierva corta, poca maleza	0.025
Suelo con piedras	0.035
Hormigón con paredes lisas	0.013
Tablas con musgos	0.015
Tablas sin vegetación	0.013
Metal liso	0.015
Vidrio y latón	0.009

A partir del conocimiento de los parámetros ya definidos se procederá con el cálculo de la cantidad de caudal que circula mediante un ducto cerrado o un canal abierto, sin embargo, se debe conocer las diferentes posibilidades que se deben llegar a considerarse.

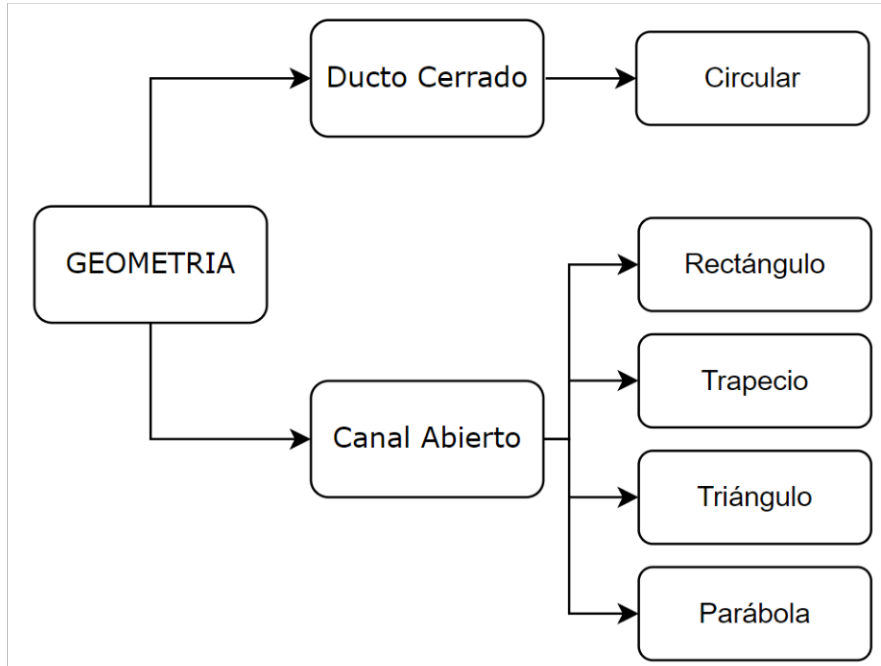


Figura 1.10. Diferentes geometrías a considerarse.[15]

1.3.7. Cálculo para ductos cerrados

Para obtener la cantidad de caudal en ductos cerrados se partirá de la ecuación (1.2) ya conocida para la obtención del área y la velocidad para este caso.

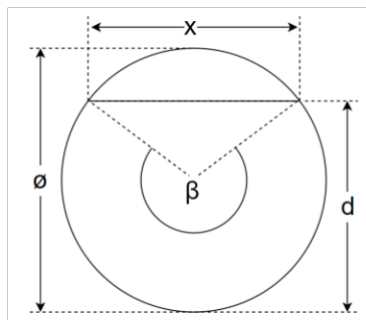


Figura 1.11. Geometría circular de un ducto cerrado.[15]

- **Área de un ducto cerrado**

$$\beta = 2 * \cos^{-1} \left(1 - \frac{d}{R} \right) \quad (1.6)$$

Donde:

β ángulo dado en radianes

d Altura del caudal

R Radio del ducto

$$Ah = \frac{(\beta - \sin(\beta))D^2}{8} \quad (1.7)$$

Donde:

D Diámetro del ducto

▪ **Velocidad en un ducto cerrado**

Se obtiene mediante la ecuación (1.5), donde el radio hidráulico (Rh) se lo obtiene mediante las siguientes expresiones.

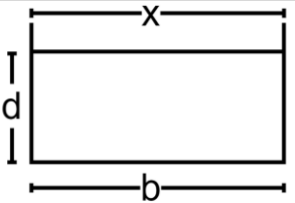
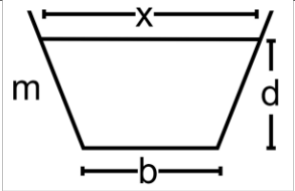
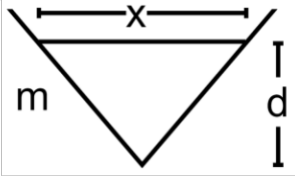
$$Pm = \frac{D}{2} * \beta \quad (1.8)$$

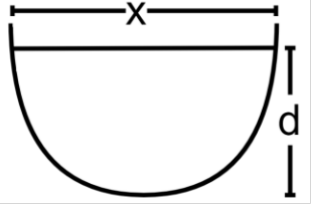
$$Rh = \frac{Ah}{Pm} \quad (1.9)$$

1.3.8. Cálculo para canales abiertos

Para obtener la cantidad de caudal en canales abiertos se parte de la misma ecuación (1.2) ya conocida donde tanto el área como la velocidad se obtienen de maneras distintas dependiendo de la geometría del canal.

Tabla 3. Cálculos dependiendo de la geometría del canal. [15]

	Geometría	Área hidráulica	Perímetro mojado
rectángulo		$Ah = b * d$	$Pm = b + 2d$
trapecio		$Ah = (b + md) * d$ $Ah = (b + x) * \frac{d}{2}$	$Pm = \sqrt{4d^2 + (x - b)^2} + b$
triángulo		$Ah = m * d^2$ $Ah = \frac{x * d}{2}$	$Pm = \sqrt{4d^2 + x^2}$

parábola		$Ah = \frac{2}{3} * x * d$	$Pm = x + \frac{8}{3} * \frac{d^2}{x}$
----------	---	----------------------------	--

1.3.9. Selección de equipos y componentes

A continuación, se seleccionarán los diferentes dispositivos y componentes electrónicos que conformarán los módulos tanto de emisión y recepción de datos, los cuales se presentarán a continuación.

1.3.9.1. Arduino nano

Para este proyecto se considera el usar la versión reducida de la placa Arduino, el cual cuenta con los pines tanto digitales como analógicos necesarios para desarrollar todo lo propuesto en el proyecto. Microcontrolador que comandará varias funciones tanto en el módulo emisor como el receptor del proyecto de manera favorable pues debido a sus dimensiones reducidas y velocidad de procesamiento y disponibilidad en el mercado, es el candidato más idóneo para el cumplimiento de cada una de las funciones que se necesitan ser controladas.[18]



Figura 1.12. Arduino Nano. [18]

- Microcontrolador: ATmega328P
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Voltaje de trabajo: 5V
- Voltaje de alimentación: 7.5 a 12 V
- Pines de salida: 14 pines digitales / 8 pines analógicos.
- Memoria: 32 KB Flash, 2 KB RAM y 1 KB EEPROM [18]

1.3.9.2. Regulador de voltaje AMS1117

Este regulador se lo implementa con la finalidad de, mediante una fuente externa alimentar los módulos tanto de transmisión y recepción NRF24 con 3.3V, voltaje las cuales son los ideales para su adecuado funcionamiento, además de proporcionar la suficiente corriente necesaria para lograr una transmisión sin problemas.[19]

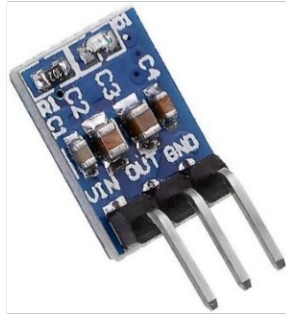


Figura 1.13. Regulador de voltaje AMS1117. [19]

- Voltaje de entrada: 4.75 a 12V
- Voltaje de salida: 3.3V
- Corriente máxima: 800 mA
- Dimensiones: 36mm x 17mm x 14mm
- Regulador lineal

1.3.9.3. Baterías de litio 18650

Se usarán dos baterías de litio para la alimentación de cada uno de los módulos diseñados debido a que son baterías recargables de duración considerada y adecuada para el proyecto. Estas baterías estarán conectadas en serie de tal manera que se pueda duplicar el voltaje proporcionado al sistema y tenga la capacidad suficiente de energizar el microcontrolador ya antes mencionado.



Figura 1.14. Baterías de litio. [20]

- Capacidad nominal: 2600 mAh
- Voltaje máximo de carga: 4.2 V
- Voltaje mínimo de descarga: 3.2 V
- Voltaje nominal: 3.7 V
- Corriente de carga: 0.5 mAh
- Corriente de descarga: 1.5 mAh [20]

1.3.9.4. Módulo de carga MRB045

Para la carga de las baterías se hará el uso del siguiente modulo el cual puede recargar de 2 hasta 3 baterías conectadas en serie. Tiene como prioridad la protección de las baterías ante una sobrecarga o sobre descarga mediante el control de la corriente de carga proporcionada, logrando de esta manera que la vida útil de las baterías aumente favorablemente.

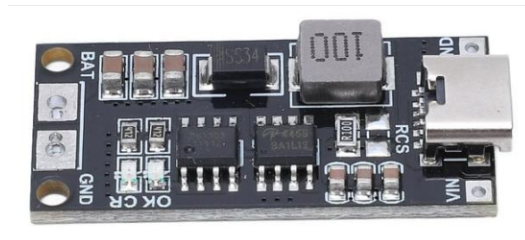


Figura 1.15. Módulo de carga MRB045. [21]

- Voltaje de entrada: 3 – 6V
- Corriente de entrada: 2 A
- Voltaje de carga: 8.4 V
- Corriente de carga: 1.1 A [21]

1.3.9.5. Visualizador de carga

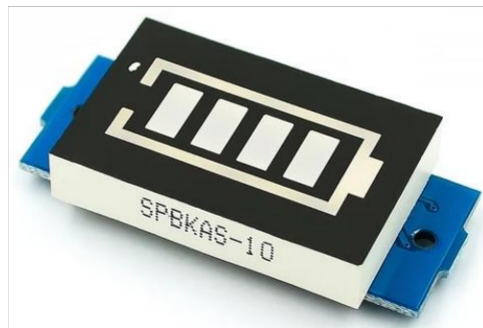


Figura 1.16. Modulo indicador led de carga. [22]

En el módulo transmisor de datos es indispensable conocer el nivel de energía que tienen las baterías, por esta razón se hace el uso un módulo indicador led de carga de baterías de litio 2s, el cual se dará a conocer el nivel de carga de la siguiente manera. [22]

25%	50%	75%	100%
6.6V	7.0V	7.4V	7.8V

Este módulo se lo implementa con la finalidad de conocer los niveles de energía que poseen las baterías para evitar que estas se sobredescarguen o sobrecarguen afectando así la vida útil de dichas baterías. [22]

1.3.9.6. Pantalla oled 128 x 32

Se implementará una pequeña pantalla OLED en el cual se podrá visualizar un breve detalle de los datos obtenidos en la transmisión. La pantalla oled cuenta con una resolución de 128x32 pixeles y funciona mediante comunicación I2C conjuntamente con el microcontrolador antes mencionado.



Figura 1.17. Pantalla oled 128x32. [23]

- Controlador: SSD1306
- Tamaño: 38mm x 12mm
- Resolución: 128 x 32 pixeles
- Color pantalla: blanca
- Descripción pines:

GND	Tierra
VCC	Tensión de alimentación (3.3 ~ 5V)
SCL	Línea de reloj
SDA	Línea de datos [23]

1.3.9.7. Modulo DS1307

El reloj en tiempo real implementado tiene el objeto de obtener mediciones acompañadas con unidades temporales que brindaran mayor información a la hora de reconocer históricos en el procesamiento de datos hecha en la interfaz gráfica.

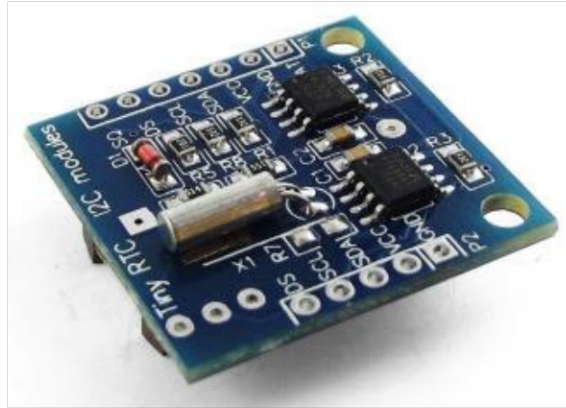


Figura 1.18. Modulo DS1307. [24]

- Voltaje de alimentación: 3.3 ~ 5V
- Corriente mínima: 5 nA
- Conexión interfaz: I2C
- Dimensiones: 43mm x 22mm x 11mm [24]

1.3.9.8. Elementos indicadores y de navegación

Se usarán buzzer en cada uno de los módulos, los cuales funcionarán como indicadores ante un nivel de batería bajo, dando a conocer al usuario que se necesita que se recarguen las baterías lo más rápidas posibles.

Se usará un led indicador el cual dará a conocer que los datos han sido transmitidos con éxito desde el módulo emisor hasta el módulo receptor.

Finalmente se usarán botones que ayuden a navegar entre las distintas pantallas que se tendrán a disposición, además de otro botón que tendrá la funcionalidad de guardar datos importantes si el usuario los considera de tal manera.

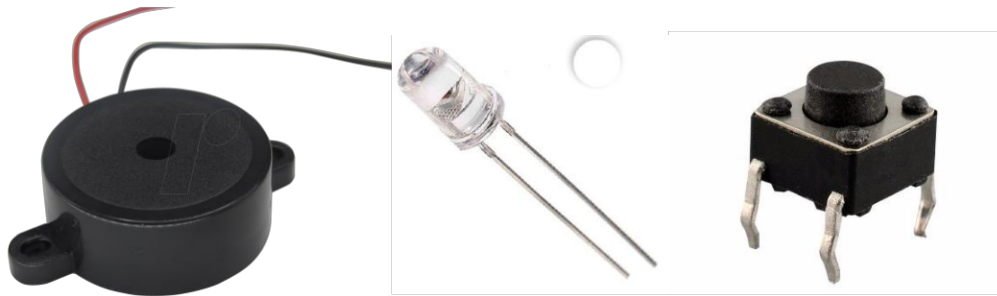


Figura 1.19. Elementos adicionales.

1.3.10. Interfaz gráfica en Matlab

Una interfaz gráfica (HMI) es un medio por el cual el usuario puede interactuar con el sistema electrónico donde la información es presentada mediante imágenes, textos y objetos gráficos que ayudan a tener un mejor entendimiento del sistema.

En este proyecto se diseñará una aplicación en el software de programación Matlab, el cual tendrá como objetivo procesar los datos obtenidos mediante los modelos matemáticos ya conocidos con anterioridad y dicha información obtenida será mostrada en una interfaz gráfica entendible para el usuario.[25]

1.3.10.1. App Designer

Para esta parte del proyecto se trabajará con App Designer el cual es un entorno de programación muy interactivo y de fácil entendimiento donde viene totalmente integrada al editor de Matlab.

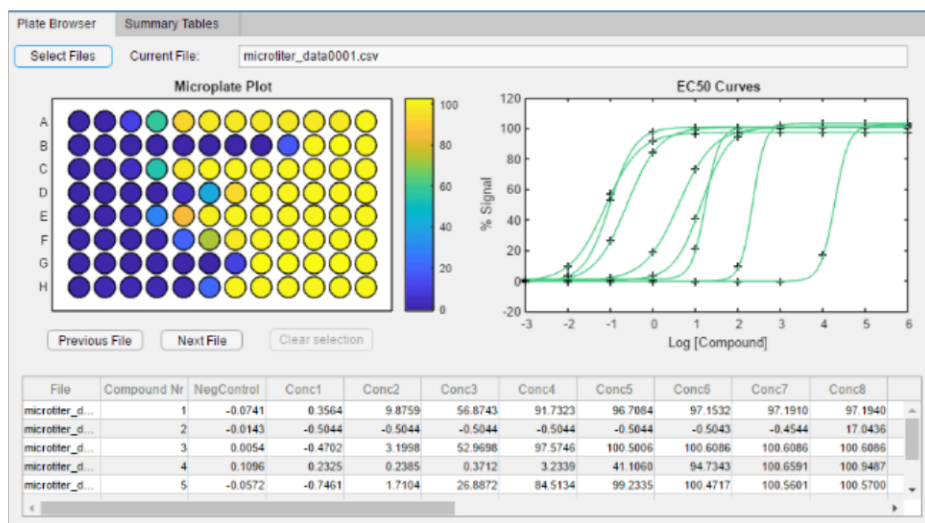


Figura 1.20. Ejemplo de Interfaz gráfica desarrollado en App Designer. [26]

Se selecciona esta aplicación de diseño debido a que ofrece varias opciones y objetos para tener una mejor organización a la hora de implementar cada uno de los elementos que conformaran la interfaz gráfica. Esta aplicación también ofrece la posibilidad de empaquetar todo el proyecto para crear una aplicación web o de escritorio dependiendo de los requerimientos que el usuario tenga sin la necesidad obligatoria de obtener Matlab en el ordenador que va a ser instalado.[26]

1.3.10.2. Aplicación de escritorio

Una aplicación de escritorio es aquel software que se puede llegar a ejecutar con o sin el acceso a internet, ya que los usuarios solamente deben descargar los archivos y ejecutarlos en una máquina. Este tipo de aplicaciones pueden llegar a realizar programas más complejos de tal manera que se lo pueda utilizar en una computadora o un dispositivo móvil, esto dependerá netamente del programador, sin embargo, cuenta con ciertas ventajas relevantes:[27]

- No requiere el uso de internet o ningún navegador web
- Pueden tener un mejor rendimiento en el sistema, realizando un procesamiento más rápido y eficaz
- No necesitan de costos adicionales ni que se realicen pagos continuos.
- Si se requiere guardar datos privados este tipo de aplicaciones son las más seguras.
- Todo lo que se desarrolle en la aplicación será netamente de su propietario ya que será guardado en su máquina personal. [27]

2. METODOLOGÍA

En esta sección se dará a conocer el hardware y software desarrollado tanto para los módulos de transmisión y procesamiento de los datos, detallando cada uno de las metodologías de diseño efectuadas en cada una de ellas.

2.1. Diseño e implementación del hardware de transmisión

Para este módulo se tomará en cuenta el siguiente diagrama de bloques propuesto donde se darán a conocer cada uno de los circuitos que lo componen:

- Circuito de adquisición
- Circuito de alimentación
- Circuito de transmisión
- Circuito de procesamiento
- Circuito de interacción

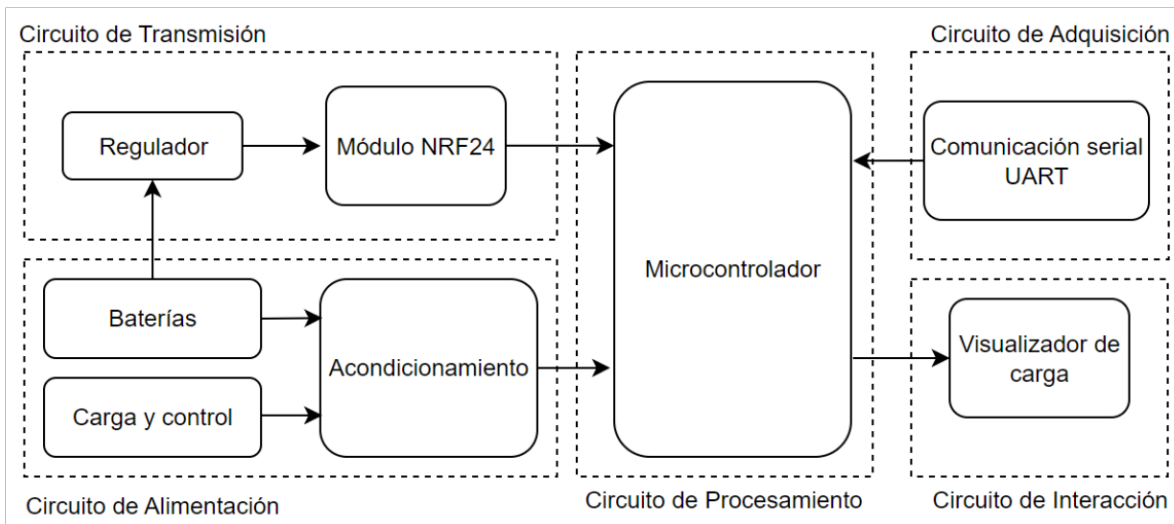


Figura 2.1. Diagrama de bloques del hardware diseñado para el módulo transmisor.

2.1.1. Circuito de Adquisición

A partir del trabajo de titulación nombrado como “Diseño, desarrollo e implementación del sistema de gestión de energía y del sistema de captación de datos para el monitoreo de caudales en canales abiertos y cañerías” se recibirán los datos de altura captados por parte del sensor ultrasónico de caudal.

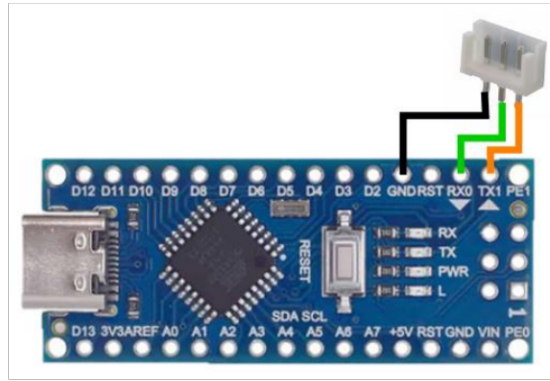


Figura 2.2. Circuito de adquisición implementado

Mediante comunicación Serial se procederá con la transmisión de la información hacia nuestro sistema, de tal manera que la conexión se dará a partir del pin Tx del trabajo de titulación antes mencionado, hasta el Pin Rx del Arduino nano correspondiente al módulo. Además, se deben referencia correctamente ambos sistemas mediante los pines GND hacia un punto en común.

2.1.2. Circuito de alimentación

En este circuito se procederá a implementar la alimentación de todo el sistema, el cual está conformado por baterías de litio, un módulo de carga MRB045 y un pequeño acondicionamiento adicional que se dará a conocer su funcionalidad posteriormente.

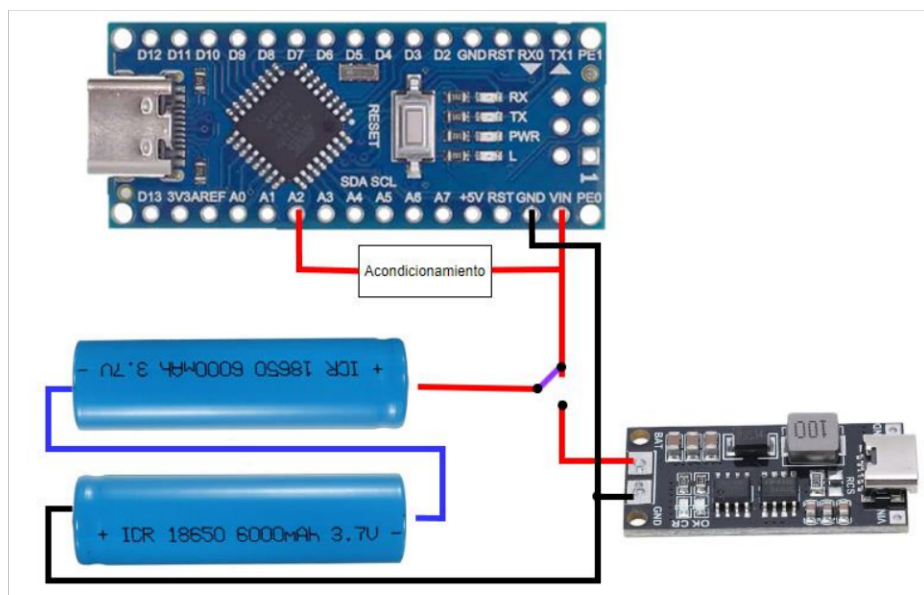


Figura 2.3. Circuito de alimentación implementado

2.1.2.1. Conexión de las baterías de litio

Cada una de las baterías de litio tienen un voltaje nominal de 3.7 V, voltaje insuficiente para energizar el microcontrolador del módulo. Por lo tanto, se procedió con la conexión en serie de dos baterías de litio el cual genera que el voltaje se duplique, pero la corriente que circule entre ambas baterías serán las mismas. De esta manera los voltajes de máxima carga y mínima descarga se duplicarán, pero a la misma intensidad de corriente.

Dando como resultado que el máximo voltaje alcanzado por las baterías sería de 8.4V y el mínimo voltaje de descarga de 6.4V, rango donde el microcontrolador usado funcionaría correctamente y sin problemas por falta de potencia.

2.1.2.2. Conexión del módulo de carga MRB045

El módulo de carga entrara en funcionamiento siempre y cuando el usuario así lo requiera, ya que esta modalidad será seleccionada mediante un interruptor de tres posiciones que el usuario escogerá si requiere que el sistema sea cargado o si se requiere que el mismo funcione.

Esto se lo hace con el objetivo de alargar la vida útil de las baterías ya que, si se procede a cargar las baterías al mismo tiempo que el sistema se encuentra energizándose, su eficiencia disminuirá notablemente y requerirá ser reemplazado a un periodo de tiempo más corto.

2.1.2.3. Acondicionamiento

Mediante un divisor de voltaje se procederá a acondicionar el voltaje obtenido de las baterías las cuales variaran de entre los 6.4V a 8.4V por la conexión en serie de ambas baterías de litio, por lo que se usara este método para disminuir dicha variación de voltaje a valores de lectura permitidos por los pines análogos del Arduino nano que son de 5V máximos.

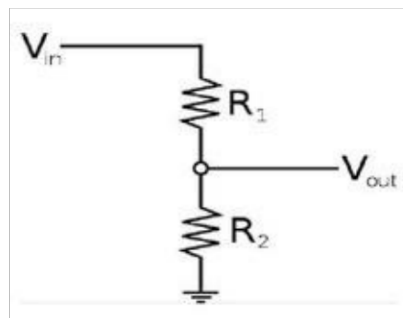


Figura 2.4. Esquemático de un divisor de voltaje.

Se usarán dos resistencias de 10k para poder dividir el voltaje obtenido de las baterías a la mitad, por lo tanto, el voltaje tendría una variación desde los 3.2V a los 4.2V permitidos para su lectura analógica (pin A2)

Este procedimiento se lo realiza para poder monitorear el nivel de carga en porcentaje dadas por las baterías tanto del módulo emisor como del módulo receptor de datos del proyecto con el objetivo de poder realizar el control respectivo ante una posible sobre descarga o sobrecarga.

2.1.3. Circuito de transmisión

Para la transmisión de datos desde el punto de recepción de datos hasta el punto donde se procesarán los mismos se lo hará inalámbricamente mediante el uso de módulos de comunicación por radiofrecuencia, por lo cual se usarán los módulos NRF24L01 tanto para la emisión como para la recepción de datos ya que ambos módulos se usan para ambos propósitos.

De esta manera en los microcontroladores Arduino Nano se programaran las configuraciones necesarias para lograr esta transmisión de datos con las correspondientes librerías que proveerán de comandos que ayudaran mucho en las configuraciones de los módulos

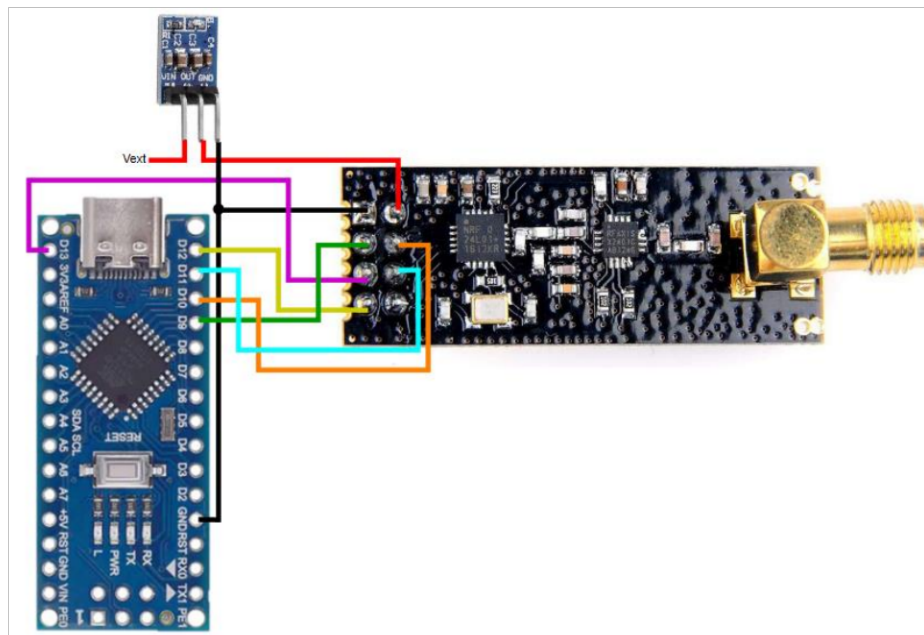


Figura 2.5. Circuito de transmisión implementado

Este módulo requiere de una alimentación externa ya que la potencia proporcionada por el mismo microcontrolador no es suficiente, por lo que se implementara el regulador de voltaje AMS1117 el cual reduce el voltaje recibido por las baterías a 3.3V idóneos para alimentar el módulo transmisor. Además, este módulo debe conectarse a los pines del microcontrolador de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4. Pines de conexión del módulo NRF24

Modulo NRF24	Arduino nano	Función
Pin CE	Pin 9	Comunicación SPI
Pin CSN	Pin 10	Comunicación SPI
Pin SCK	Pin 13	Reloj de sincronización
Pin MOSI	Pin 11	Transmisión maestro-esclavo
Pin MISO	Pin 12	Transmisión esclavo-maestro

2.1.4. Circuito de procesamiento e interacción

Esta parte del circuito comprende las conexiones de los diferentes elementos electrónicos utilizados en este módulo. Donde se hace el uso de 1 pin análogo y 6 pines digitales como se muestra a continuación.

Tabla 5. Pines de conexión del Arduino Nano

Pines del Arduino Nano	Elemento
D6	Buzzer
D9	Pin CE modulo NRF14
D10	Pin CSN modulo NRF14
D11	Pin MOSI modulo NRF14
D12	Pin MISO modulo NRF14
D13	Pin SCK modulo NRF14
A2	Acondicionamiento
RST	Comunicación serial
TX0	Comunicación serial

GND	Referencia a tierra
Vin	Alimentación externa (baterías)

Adicionalmente existe un indicador led de carga el cual debe conectarse de manera paralela a las baterías ya que directamente indicara el nivel que estas tienen hacia el usuario.

2.2. Diseño e implementación del hardware de recepción

Para este módulo se tomará en cuenta el siguiente diagrama de bloques propuesto donde se darán a conocer cada uno de los circuitos que lo componen:

- Circuito de alimentación
- Circuito de recepción
- Circuito de procesamiento
- Circuito de interacción

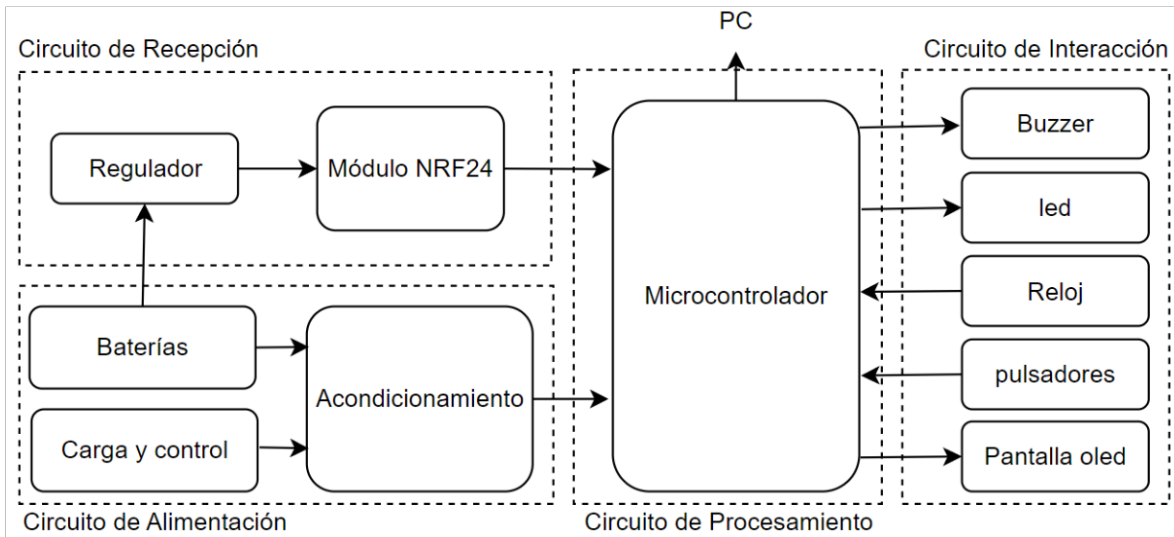


Figura 2.6. Diagrama de bloques del hardware diseñado para el módulo receptor.

El circuito de alimentación es similar al circuito dado para el módulo de transmisión (Figura 2.3.), ya que se compone de los mismos elementos y también de las mismas consideraciones de diseño.

2.2.1. Circuito de Recepción

El circuito de recepción tiene las mismas consideraciones y conexiones dadas para el circuito de transmisión del hardware anterior (Figura 2.5.) donde las conexiones son las mismas dadas en la tabla 4.

Estas consideraciones se dan ya que ambos módulos pueden funcionar tanto como emisor o receptor de datos, por lo que tienen las mismas configuraciones y conexiones.

2.2.2. Circuito de procesamiento e interacción

Esta parte del circuito comprende las conexiones de los diferentes elementos electrónicos utilizados en este módulo. Donde se hace el uso de 3 pines analógicos y 9 pines digitales como se muestra a continuación.

Tabla 6. Pines de conexión del Arduino Nano

Pines del Arduino Nano	Elemento
D2	Pulsador de navegación
D3	Pulsador para guardar
D5	Led indicador
D6	Buzzer
D9	Pin CE modulo NRF14
D10	Pin CSN modulo NRF14
D11	Pin MOSI modulo NRF14
D12	Pin MISO modulo NRF14
D13	Pin SCK modulo NRF14
A2	Acondicionamiento
A4	SDA (pantalla oled, reloj)
A5	SCL (pantalla oled, reloj)
GND	Referencia a tierra
Vin	Alimentación externa (baterías)

El circuito de procesamiento también tiene la capacidad de tener conexión directa con la aplicación de escritorio diseñada, donde se transmite la altura obtenida desde el sistema anterior para proceder con el debido procesamiento en la aplicación.

2.3. Implementación de los circuitos y estructura en 3D

Para la implementación de los diferentes circuitos del hardware se utilizó el software Tinkercad para el diseño de la estructura física tanto del módulo emisor como del receptor.

Mediante el programa utilizado se permitió diseñar un módulo físico con dimensiones lo más reducidas posibles con el propósito de poder tener un fácil manejo de los equipos en el medio de trabajo.

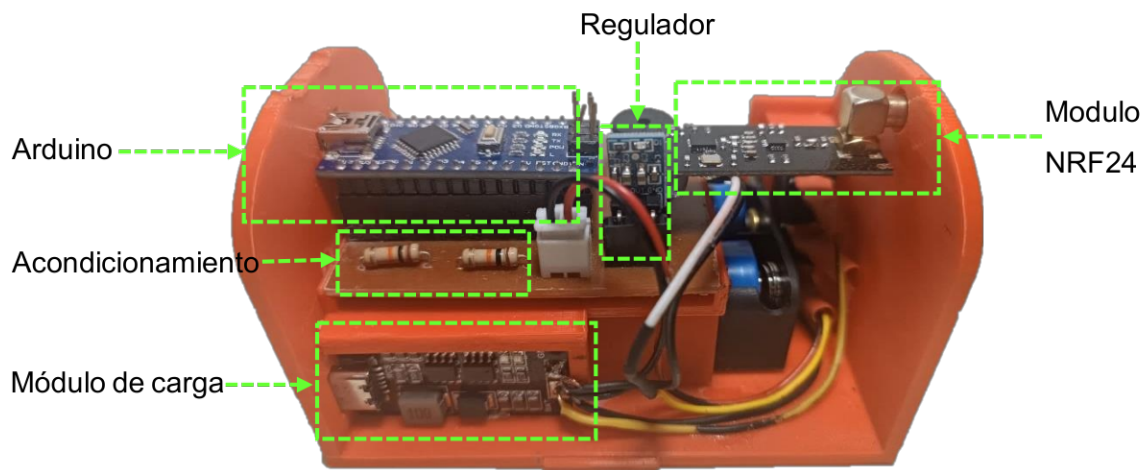


Figura 2.7. Parte interna derecha de la estructura desarrollada.

Se puede apreciar el prototipo emisor totalmente montado en la figura 2.7, donde se encuentra el microcontrolador con un periférico de salida donde se puede realizar la programación correspondiente si así se lo requiera, el módulo emisor NRF24 el cual tiene como periférico de salida un conector donde se conectara la antena hacia el exterior, el circuito de acondicionamiento, el regulador de voltaje AMS1117 y el módulo de carga el cual su periférico de salida es un conector de carga tipo C mediante una pequeña abertura que permitirá que el calor dado al cargarse las baterías se pueda disipar libremente.

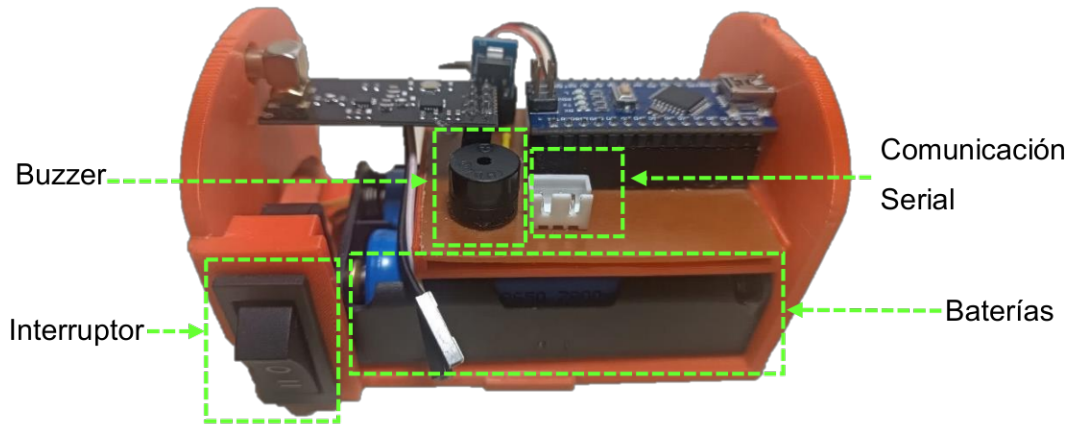


Figura 2.8. Parte interna izquierda de la estructura desarrollada.

En la figura 2.8, se puede apreciar las baterías que energizaran el módulo, los pines de comunicación para la adquisición de datos, un interruptor de tres posiciones el cual indicara si se requiere energizar el sistema o cargar las baterías y el buzzer indicador de un nivel de baterías bajo o cualquier otro aviso.



Figura 2.9. Parte externa de la estructura desarrollada.

En la figura 2.9, se puede apreciar el módulo led indicador de carga que mediante sus barras indicaran el nivel de voltaje que tienen las baterías y la antena externa que será la que transmitirá los datos hacia el otro modulo.

2.3.1. Estructura desarrollada para el módulo receptor.

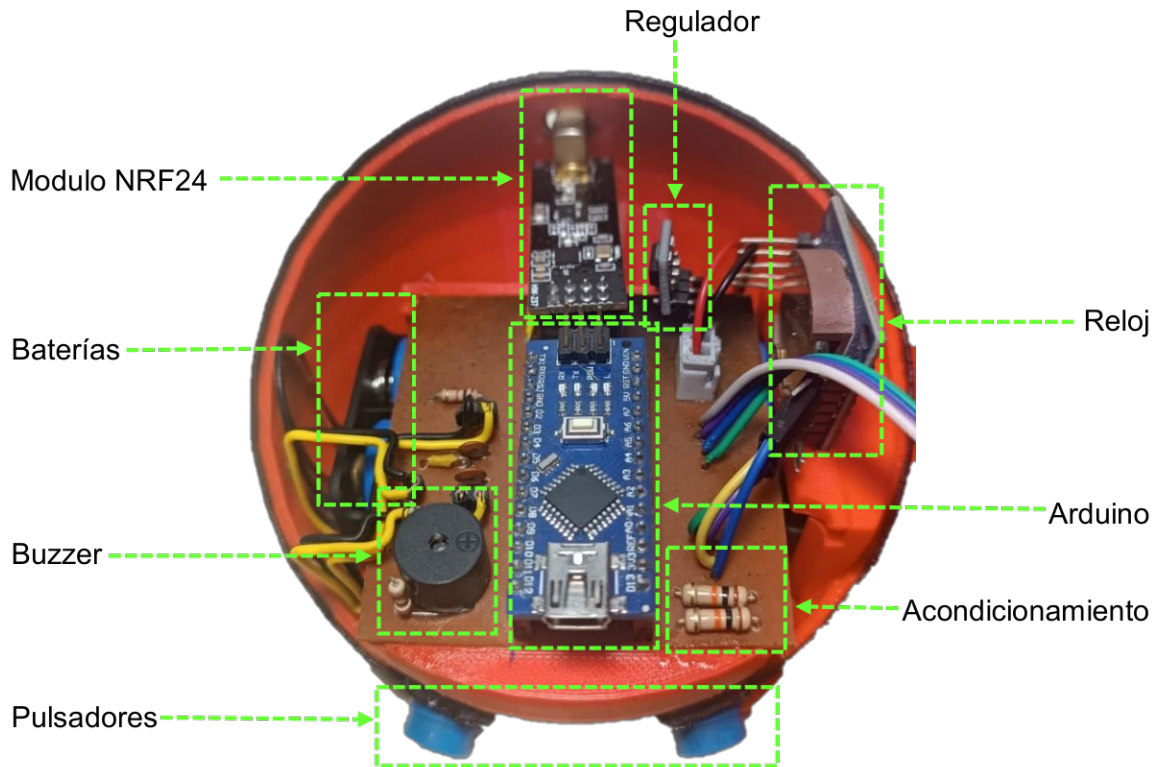


Figura 2.10. Parte interna de la estructura desarrollada.

Se puede apreciar el prototipo de recepción totalmente montado en la figura 2.10, donde se puede apreciar el microcontrolador utilizado, los pulsadores para la navegación por la ventanas y el guardado de datos, el acondicionamiento de energía realizado, el reloj en tiempo real utilizado, el regulador de voltaje, el módulo que recibirá los datos del otro módulo con un periférico de salida donde se conectara la antena externa, las baterías que energizaran todo el sistema y el buzzer indicador de niveles de batería bajos tanto del módulo emisor como del receptor.

Y en la figura 2.11 se puede apreciar la pantalla led que será el indicador de varios parámetros importantes del sistema, la antena externa para la transmisión, el módulo de carga para las baterías con un periférico de carga tipo C, un led indicador de datos recibidos de la transmisión, un interruptor de tres posiciones que seleccionará si se desea energizar el sistema o si se requiera cargar las baterías y finalmente un periférico del cual tendrá conexión con la PC donde interactuara con la aplicación ya desarrollada.

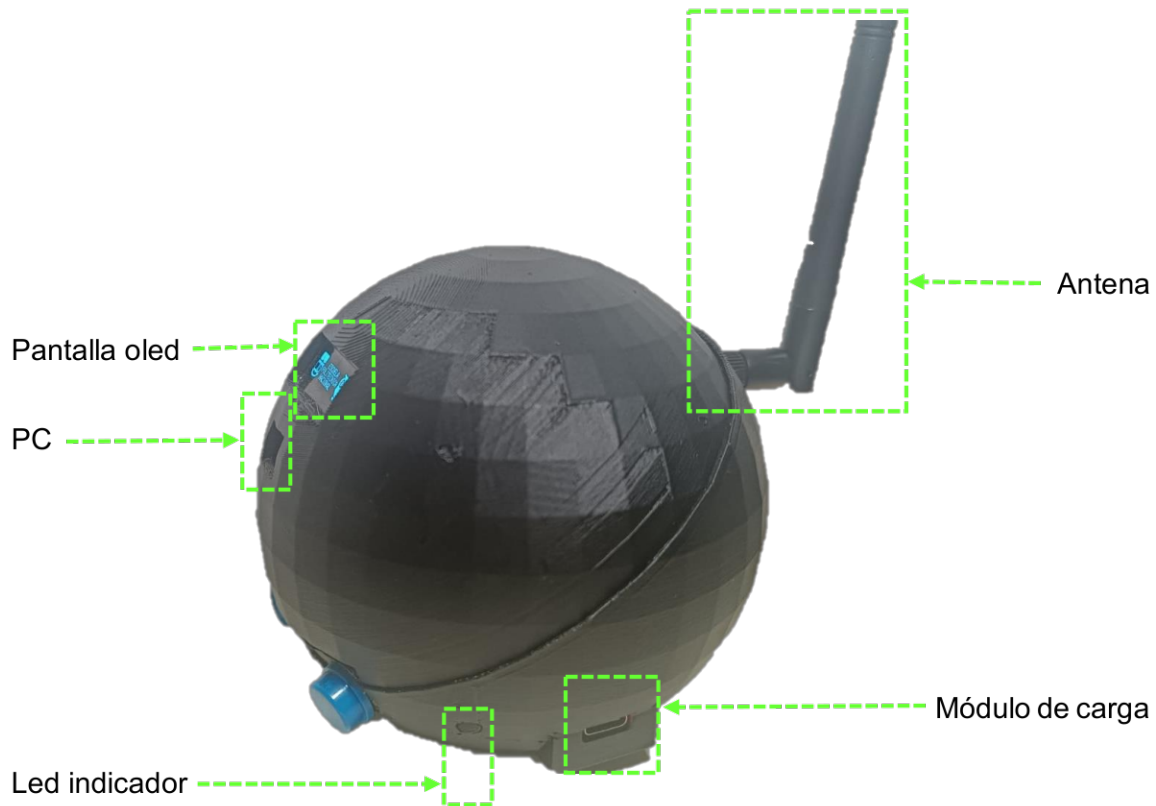


Figura 2.11. Parte externa de la estructura desarrollada.

Cabe señalar que este módulo cuenta con una pantalla oled que indica ciertos aspectos importantes a considerar al momento de iniciar con el funcionamiento del sistema. La pantalla oled empezará con mostrar una caratula inicial el cual dará paso a la siguiente pantalla únicamente si empieza a recibir los datos por parte del módulo transmisor. Una vez recibido los datos se mostrará dos pantallas diferentes las cuales pueden navegarse entre ellas mediante el pulsador correspondiente, estas pantallas son las siguientes:

- Monitoreo de energía.
- Monitoreo de datos recibidos

2.3.2. Pantalla para el monitoreo de energía

Esta pantalla (Figura 2.12) tiene la funcionalidad de mostrar los niveles de energía tanto del módulo receptor (Etiquetado con la letra R) como del módulo emisor (Etiquetado con la letra E). Estos niveles se mostrarán en valores porcentuales del 1% al 100% donde el nivel de energía se consiguió mediante el circuito de acondicionamiento implementados en cada uno de los módulos.

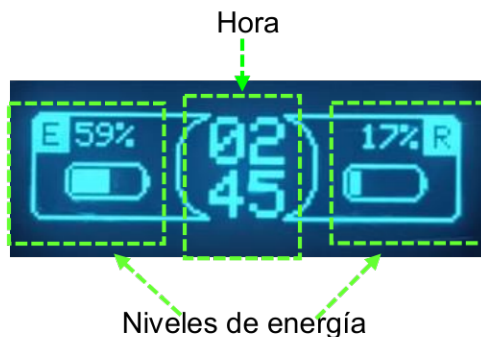


Figura 2.12. Pantalla para el monitoreo de energía.

Además, en esta pantalla se procede a mostrar la hora en tiempo real dado por el reloj implementado en el circuito, con el objetivo de dar seguimiento a los datos captados en ese instante mediante un respaldo de tiempo exacto.

2.3.3. Pantalla para el monitoreo de datos recibidos



Figura 2.13. Pantalla para el monitoreo de datos.

Esta pantalla (Figura 2.13) se encargará de indicar los datos de altura recibidos por parte del modulo transmisor el cual mostrará este parámetro en unidades métricas desde el instante en que se empieza a transmitir los datos.

Además, se mostrará un icono que indicará si el módulo está teniendo conexión o no con la aplicación de escritorio diseñada para de esta manera conocer si la comunicación entre ambos dispositivos está siendo exitosa.

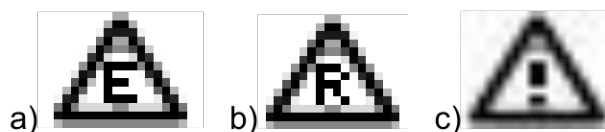


Figura 2.14. Iconos de aviso de niveles de energía.

Finalmente, se mostrará un icono de aviso el cual nos dará a conocer que los niveles de batería tanto del módulo emisor (Figura 2.14.a) como del módulo receptor (Figura 2.14.b) están por debajo del 10% de energía, también se puede dar el caso que ambos módulos

estén descargados (Figura 2.14.c), por lo tanto, se indicará que el usuario deberá cargar el o los módulos correspondientes de inmediatamente ya sea el caso.

Finalmente, cada uno de los módulos posee un interruptor de tres posiciones el cual tiene distintas funcionalidades dependiendo del estado en el que se encuentre.



Figura 2.15. Interruptor de tres posiciones.

Los estados de ambos interruptores se dan de la siguiente manera

- | Si el interruptor se encuentra en este estado se da marcha al funcionamiento del sistema ya sea del módulo emisor como receptor
- O Si el interruptor se encuentra en este estado el sistema entrara en un estado de reposo (OFF) donde no funcionara ningún dispositivo del modulo
- || Si el interruptor se encuentra en este estado se procederá con la conexión para la carga de las baterías del sistema mediante el debido módulo de carga.

La implementación del interruptor tiene como objetivo separar tanto la funcionalidad en modo carga y modo ON del sistema ya que de esta manera se busca aumentar la vida útil de las baterías y aislar la carga de todos los demás dispositivos ya que son muy susceptibles a tener averías por exceso de sobrecargas

2.4. Diseño e implementación del software del emisor

Para programar los microcontroladores seleccionados para este proyecto se trabajó en el entorno de programación de Arduino IDE el cual cuenta con bibliotecas de los diferentes dispositivos que se usarán, por lo que facilita mucho integrarlos al proyecto con una correcta programación.

De tal manera que se detallará el software diseñado para el módulo emisor de datos, el cual se dará a conocer mediante los siguientes diagramas de flujo.

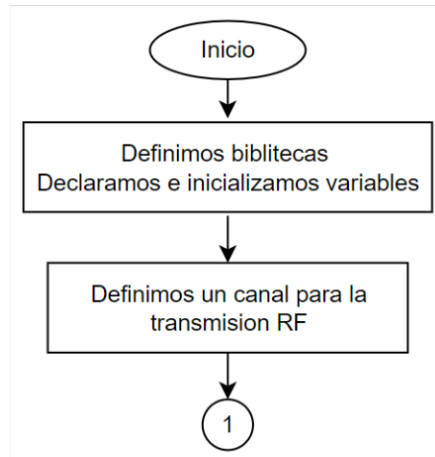


Figura 2.16. Diagrama de flujo del módulo emisor (Primera parte)

En la figura 2.16, se puede apreciar la primera parte del software desarrollado, donde se definen las bibliotecas a utilizar, en este caso la de transmisión por radio y la de comunicación serial. Luego se declaran las variables a usar para guardar ciertos valores obtenidos, pero el más importante es la declaración de un vector el cual guardara en su arreglo todos los datos que se desearan ser enviados por RF. Y finalmente por esta parte se definirá un canal de comunicación única para la transmisión por RF, este canal debe ser el mismo en el software del módulo receptor ya que se la hace con la finalidad de que no exista cruces de información con otro tipo de comunicaciones cercanas.

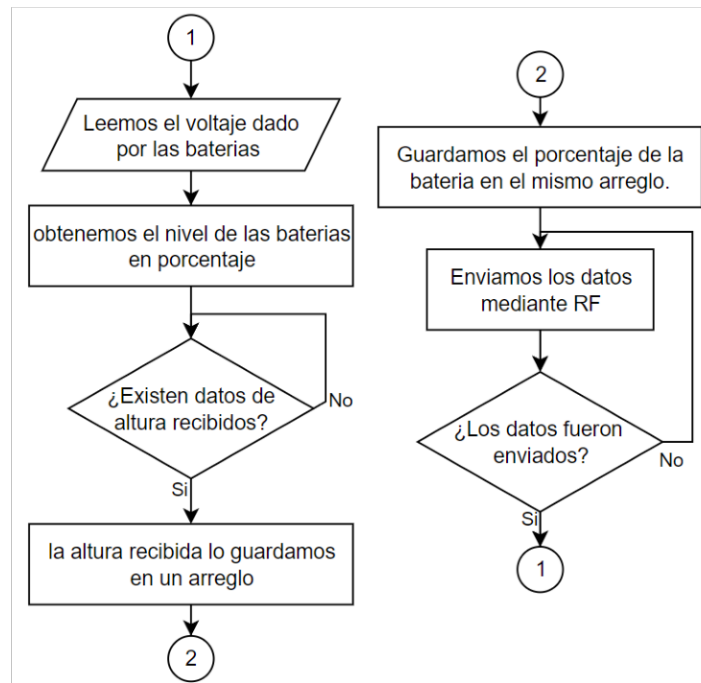


Figura 2.17. Diagrama de flujo del módulo emisor (Segunda parte)

En la figura 2.17, se puede ver un proceso que se repetirá constantemente mientras el equipo esté en funcionamiento, este proceso comprende de la lectura mediante un lector análogo el nivel de baterías que tienen para luego obtener el porcentaje comprensible de 0 a 100%. Luego se procede a verificar si existen datos adquiridos por el equipo anterior (altura) donde este proceso se repetirá hasta obtener dicho dato para luego proceder a guardar la información en el vector de datos antes mencionado.

Luego se guardarán tanto el dato de la altura recibida como el porcentaje de batería calculada en el mismo arreglo para posteriormente enviarlo mediante el módulo de RF. Si el arreglo no fue enviado se repetirá él envió hasta lograrlo, luego de ser enviado el arreglo se regresará al inicio para repetir el proceso nuevamente.

2.5. Diseño e implementación del software del receptor

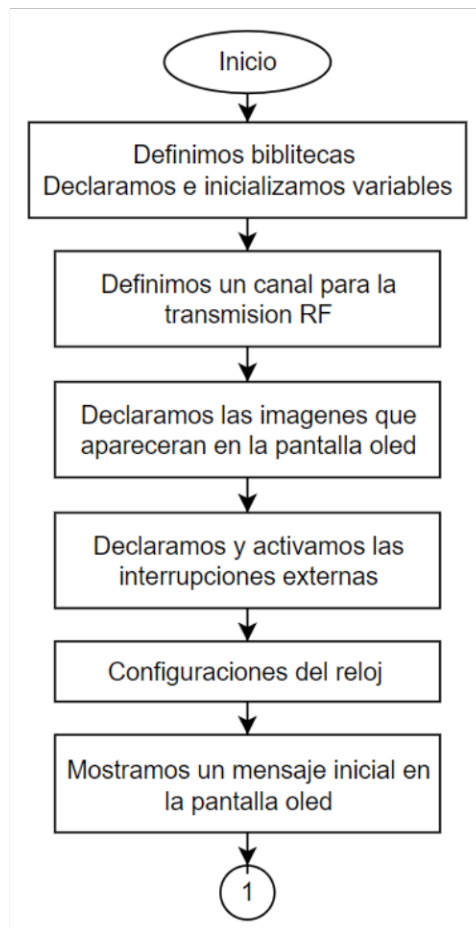


Figura 2.18. Diagrama de flujo del módulo receptor (Primera parte)

En la figura 2.18, se puede ver la primera parte del diagrama de flujo desarrollado para el módulo receptor de información, el cual contiene las diferentes bibliotecas que se van a utilizar en este caso como son biblioteca para:

- El módulo transmisor NRF24
- La comunicación serial
- La pantalla oled
- El reloj DS1307
- La memoria EEPROM

Cada una de estas bibliotecas utilizadas serán de gran importancia para la utilización de los implementos electrónicos mencionados. Consecuentemente se definirá el mismo canal de comunicación dado en el módulo transmisor para la comunicación por RF, mediante un mapa de bits declaramos las distintas imágenes que se quieren visualizar en la pantalla oled, guardando dicho mapa en un arreglo char diferente. Activamos las interrupciones externas del microcontrolador las cuales entraran a disposición por parte de los botones tanto de navegación como de guardado.

Configuramos la hora en el reloj en tiempo real (Esto se lo debe hacer solo la primera vez y luego se comenta esta línea de código) y finalmente para esta parte mostramos un mensaje de inicial en la pantalla oled para iniciar con el debido proceso.

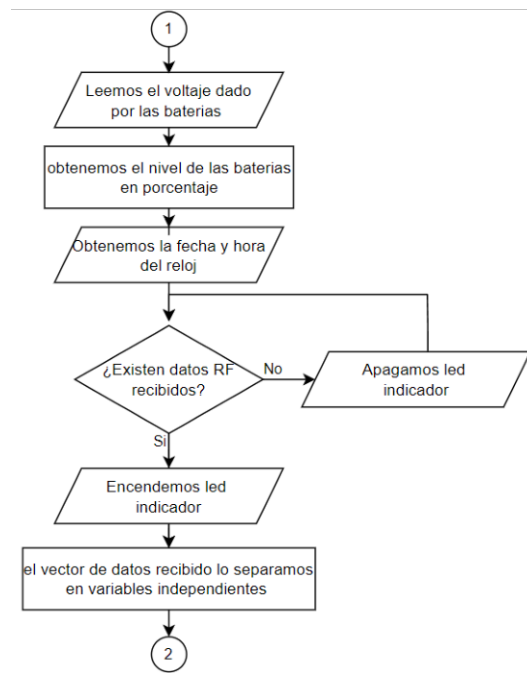


Figura 2.19. Diagrama de flujo del módulo receptor (Segunda parte)

En la figura 2.19 se procede leyendo el nivel de energía que tienen las baterías por un pin análogo del microcontrolador, para posteriormente mostrarlas en forma de porcentaje. Obtenemos la hora y fecha en tiempo real del DS1307 en ese preciso momento. A partir de aquí se verificará si se recibieron los datos a partir de la comunicación por RF donde un led nos indicara si existen o no datos, una vez hayamos recibido el vector de datos por parte del módulo emisor procedemos a separar la información del vector obtenido y lo guardamos en variables independiente para su posterior uso.

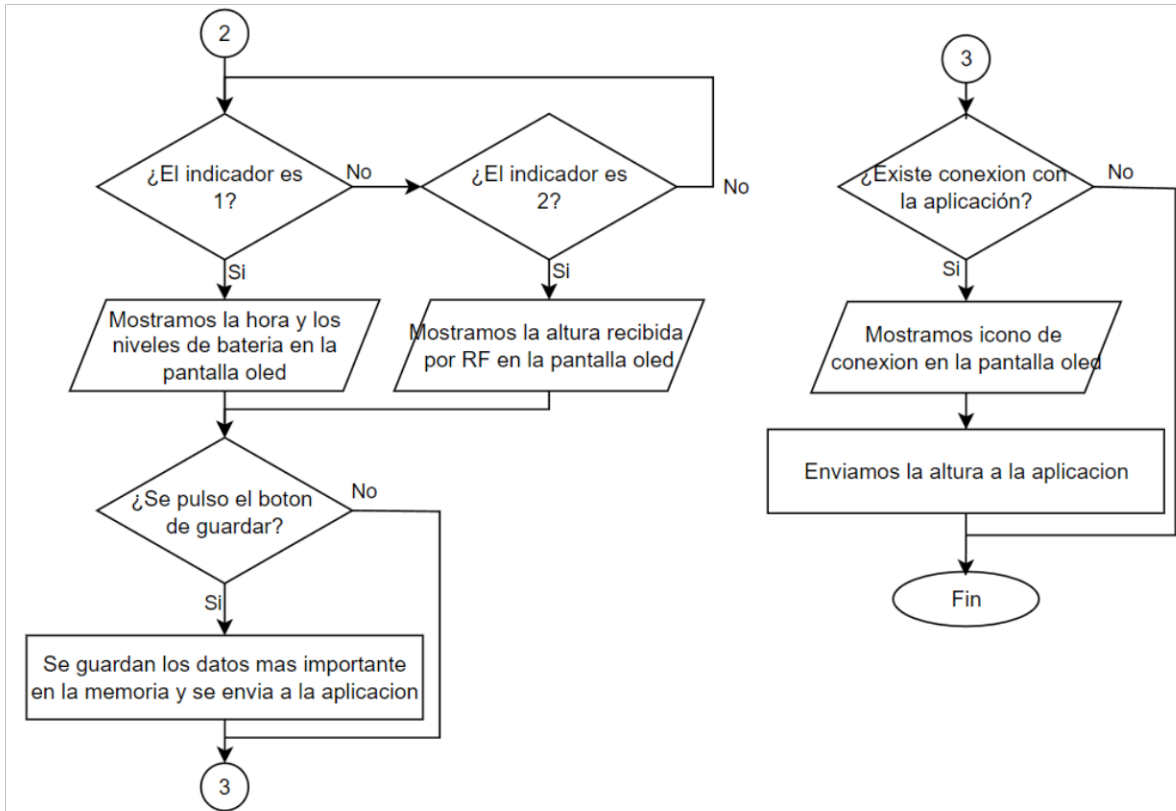


Figura 2.20. Diagrama de flujo del módulo receptor (Tercera parte)

Para esta parte del diagrama de flujo (Figura 2.20) se procede a mostrar cierta información en la pantalla oled, esta dependerá del indicar que se haya seleccionado mediante el botón de navegación, si esta seleccionado el indicador 1 se mostrara la hora actual y los niveles de batería tanto del módulo emisor como del receptor, teniendo un monitoreo energético de ambos módulos, y si el indicador 2 es el seleccionado se mostrar la altura que está siendo transmitida por parte de la comunicación por RF. Posteriormente se procederá a guardar y enviar información importante como la altura, la hora y los niveles de batería existentes en el sistema hacia la aplicación si el botón de guardar es presionado, caso contrario no.

Finalmente, si se estableció conexión con la aplicación desarrollada se procederá a indicarlo mediante un icono en la pantalla oled y posteriormente se enviará datos como la altura y la hora en tiempo real hacia la aplicación para su correspondiente procesamiento.

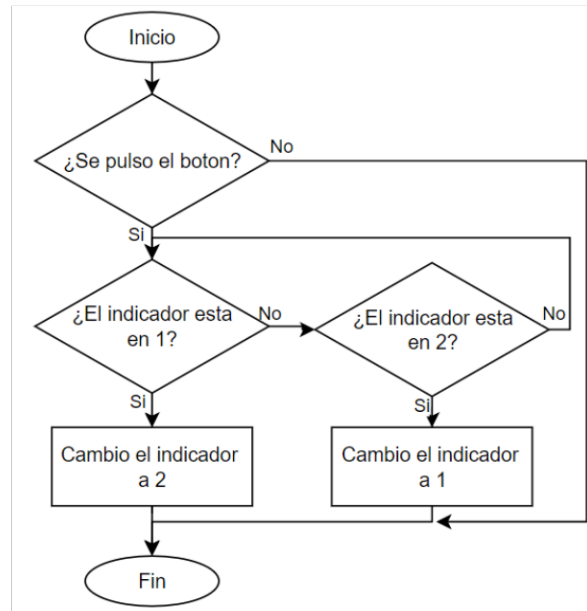


Figura 2.21. Diagrama de flujo del módulo receptor (Interrupciones)

Mediante interrupciones (Figura 2.21) se procederá a cambiar el estado de un indicador del cual dependerá si se muestra cierta información o no en la pantalla oled. Este funciona de tal manera de que al ser presionado y el indicador está en 1 automáticamente cambia a 2 y si se lo presiona nuevamente cambiara de manera alternada dependiendo del caso.

2.6. Diseño de la aplicación de escritorio

Para esta parte del proyecto se ha propuesto el diseño de una aplicación de escritorio compuesta de tres ventanas principales, donde cada una de ellas cumplen cierta función importante que mediante la interacción entre ellas brindan una fácil navegación para proceder con el monitoreo y seteo de las diferentes variables de interés para el usuario. Las ventanas que lo componen son:

- Ventana Inicial
- Ventana de configuraciones
- Ventana principal

2.6.1. Ventana inicial de la aplicación

Al iniciar la aplicación de escritorio aparecerá esta ventana el cual pide como dato de entrada el puerto de comunicación a la que está conectada el módulo receptor de datos. Este dato es de suma importancia ya que sin ella la aplicación no podrá iniciar con su funcionalidad ya que no existe conexión de la aplicación con ningún modulo externo al ordenador.

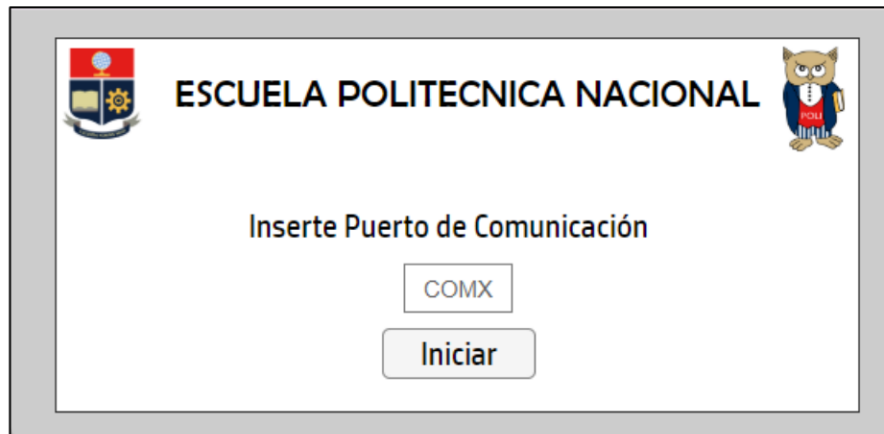
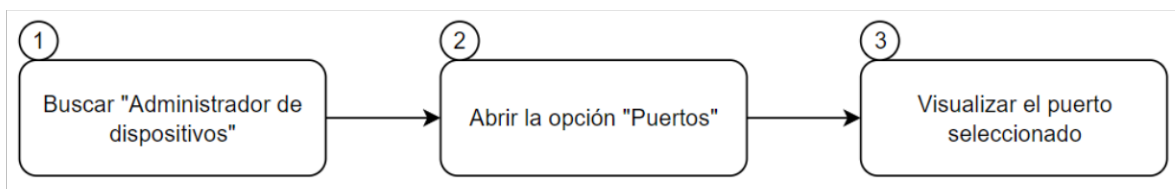


Figura 2.22. Ventana inicial de la aplicación diseñada

Como se puede apreciar en la figura 2.22, la ventana cuenta con un botón para iniciar con el funcionamiento de la aplicación siempre y cuando el puerto de comunicación correcto haya sido insertado. Cabe indicar que el puerto de comunicación debe tener la configuración tal cual mostrada (COMx), en este caso el prefijo x debe ser modificada por el número del puerto a la que está conectada en el computador del usuario como pueden darse los casos COM2, COM4, COM5, etc.

Normalmente los periféricos de comunicación de cada ordenador cuentan con la etiqueta correspondiente en cada puerto de comunicación, de no ser el caso para poder conocer cuál es el puerto del computador utilizado se puede seguir estos sencillos pasos:



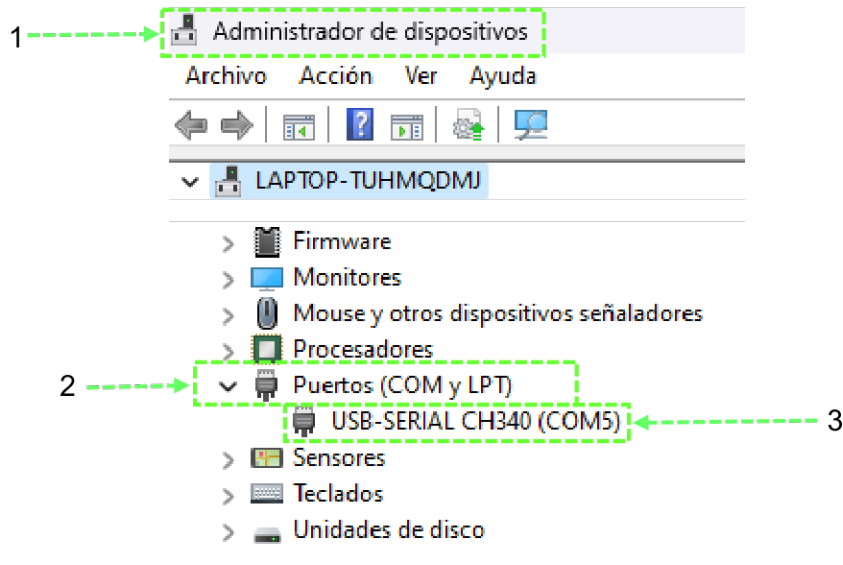


Figura 2.23. Identificación de numero de puerto utilizado

2.6.2. Ventana de configuraciones de la aplicación

En esta ventana el usuario debe ingresar varios de los parámetros estudiados anteriormente dependiente del ambiente geométrico en el cual se está trabajando o del tipo de flujo con el cual se llevará a cabo los cálculos correspondientes, dando así que los parámetros a ingresar son de suma importancia para obtener mediciones exactas y precisas acordes a los requerimientos indicados.

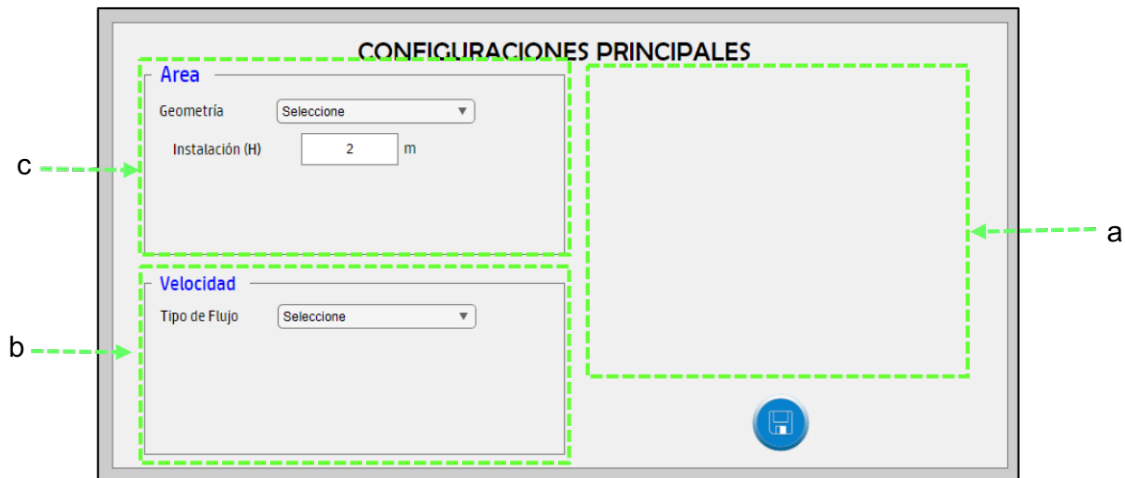


Figura 2.24. Ventana de configuraciones de la aplicación diseñada

Como se puede apreciar en la figura 2.24, esta ventana se compone de tres partes las cuales son:

- a. En esta parte se podrá visualizar una imagen referente al tipo de canal o ducto seleccionado para la interpretación de los datos, mostrando los parámetros que conforman la geometría del sistema seleccionado los cuales tendrán que ser seteados en la parte izquierda de la ventana.
- b. Estos son parámetros para el cálculo de la velocidad del flujo que deberán ser ingresados para poder complementar los cálculos, donde dependiendo del tipo de flujo se pedirán ciertos parámetros.

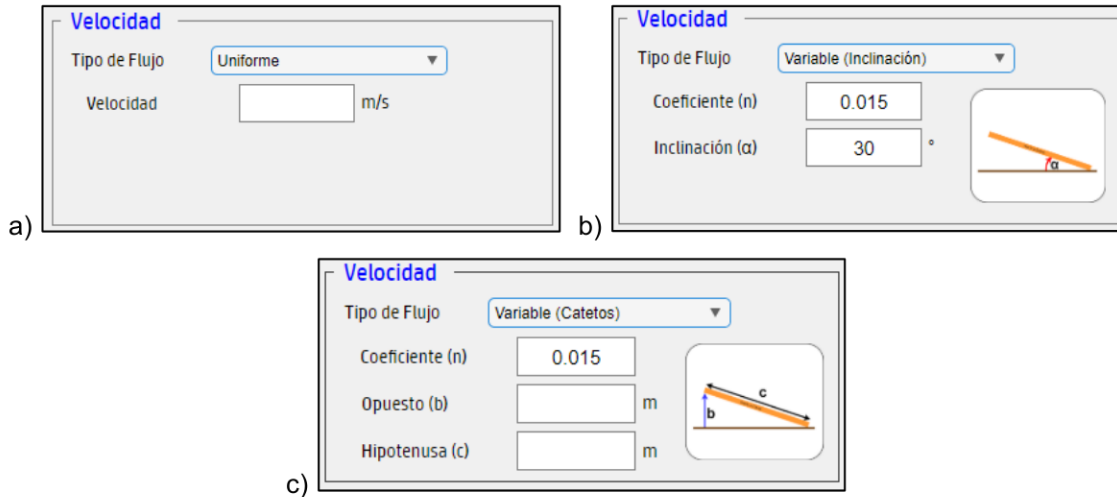


Figura 2.25. Tipos de flujo a considerar para los cálculos.

Para un flujo uniforme (Figura 2.25.a), se considera únicamente el ingreso de la velocidad dado en metros sobre segundo del líquido que fluye constantemente por el canal o ducto en todo momento.

Para el flujo variado se da en dos situaciones, mediante el ingreso de los catetos (Figura 2.25.c), es decir de la altura a la que se encuentra elevada desde un punto de referencia y la longitud del canal o ducto para la posterior determinación del ángulo de inclinación que el sistema tiene. O mediante el ingreso directo del ángulo de inclinación dado en grados (Figura 2.25.b).

- c. En esta parte de la ventana se deberán escoger primeramente la geometría del canal o ducto con el cual se va a trabajar y dependiendo del sistema se procederá a pedir ciertos parámetros de medición, como son:

Para un ducto cerrado (Figura 2.26.a) el parámetro a pedir será el diámetro en metros de la tubería.

Para un canal rectangular (Figura 2.26.b) el parámetro a ingresar será el ancho en metros del canal.

Para un canal triangular (Figura 2.26.c) el parámetro a ingresar será también el ancho en metros del canal.

Para un canal parabólico (Figura 2.26.d) el parámetro a ingresar será de la misma forma el ancho en metros de canal.

Y finalmente para un canal trapezoidal (Figura 2.26.e) los parámetros a ingresar serán el ancho superficial del canal y el ancho de la base del canal, ambos parámetros en metros.

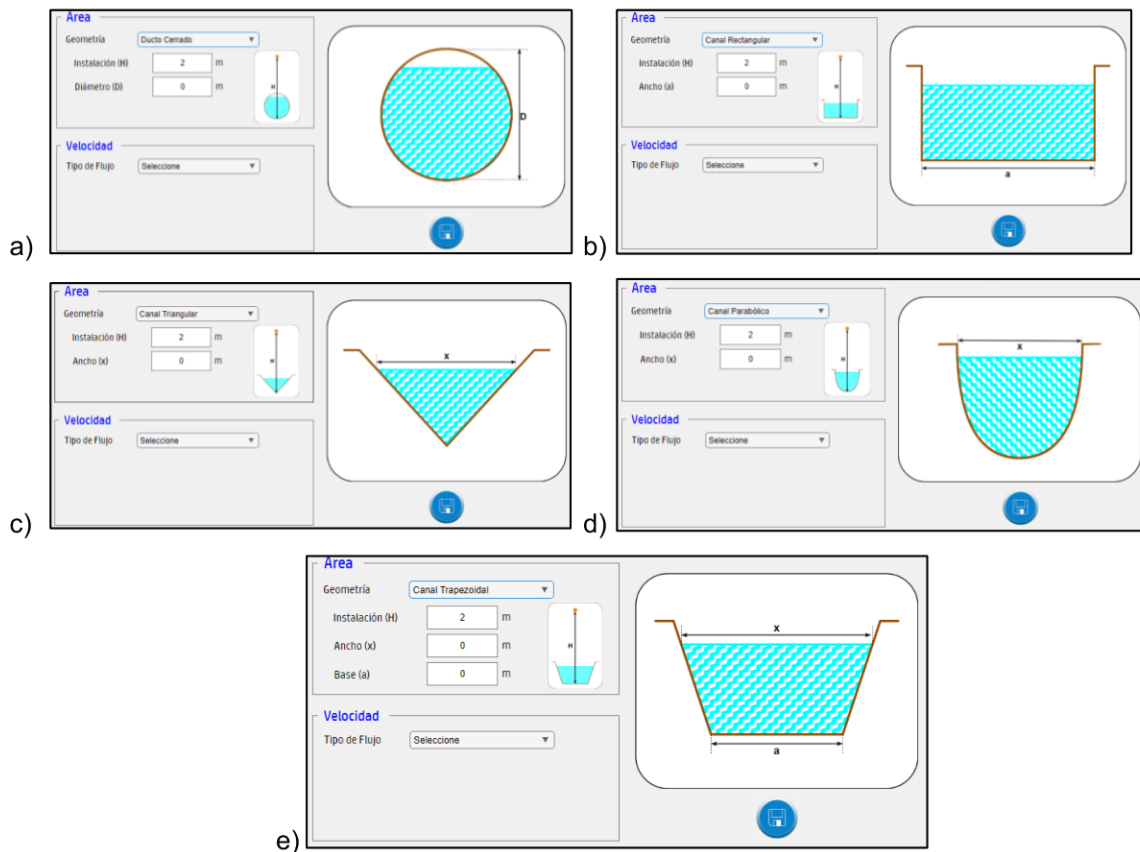


Figura 2.26. Geometrías a escoger de la ventana de configuraciones.

Una vez ingresado todos los parámetros se procederá a pulsar el icono de “guardar” para que todos los datos sean procesados y proceder con la siguiente ventana el cual tendrá que usar los modelos matemáticos adecuados para obtener el caudal del sistema partiendo de los parámetros seteados en esta ventana.

2.6.3. Ventana principal de la aplicación

Esta es la ventana principal de aplicación ya que en ella se podrá visualizar varios de las mediciones y datos obtenidos en este proceso mediante el muestreo de datos numéricos y

gráficos en tiempo real, donde se procederá a indicar el funcionamiento y el objetivo de cada una de las partes de constituye esta ventana vistas en la figura 2.27.

- En esta parte se encuentran los iconos de navegación los cuales darán la facilidad de trasladarnos tanto a la ventana inicial para un cambio de puerto como a la ventana configuraciones para alterar algún parámetro para las mediciones.
- Aquí se mostrarán los parámetros de más relevancia en el proyecto como es la altura del flujo obtenido por parte del sensor ultrasónico dado en metros, la cantidad de caudal que fluye por el ducto o canal dado en litros sobre segundos y la velocidad a la que fluye dicho caudal dado en metros sobre segundo.
- En esta parte se podrán ir mostrando y guardando mediciones de relevancia escogidos por el usuario, estos datos podrán ser almacenados siempre y cuando el usuario pulse el botón de “guardar” en el módulo receptor de datos. Además, se tiene la opción de generar una hoja de Excel si el usuario lo requiere pertinente para la trata o el manejo de datos de una manera externa.

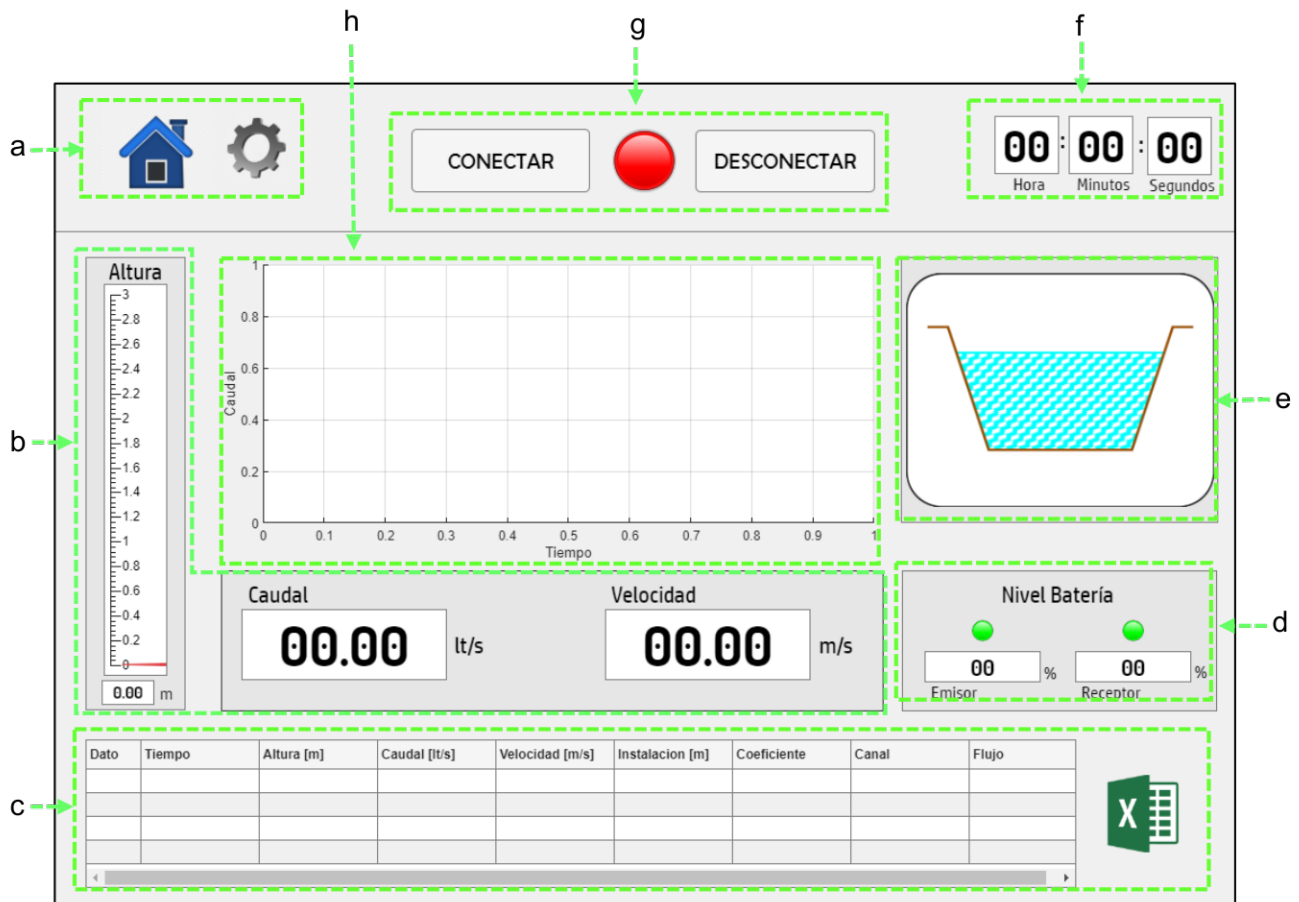


Figura 2.27. Ventana principal diseñada de la aplicación

- d. En esta parte se mostrará una imagen referencia para poder conocer con que ducto o canal se está trabajando en ese momento se lo dará a conocer mediante los leds indicadores del panel
- e. En estos indicadores se mostrará la el tiempo exacto a la que se están siendo recibidos los datos por parte del módulo receptor para un mejor análisis en tiempo real.
- f. Estos botones son para iniciar o para el procesamiento de datos los cuales vendrán debidamente indicados por el led del centro.
- g. Finalmente, en esta parte de la ventana se graficará como la variable caudal está actuando en cada medición hecha, analizando y guardando en tiempo real las mediciones obtenidas.

2.7. Creación del archivo ejecutable de la aplicación de escritorio

Una vez finalizada con toda la programación requerida en cada una de las ventanas consideradas al momento de diseñar la aplicación de escritorio, se procede con la creación del archivo ejecutable .exe el cual tiene la finalidad de que cualquier usuario tenga accesibilidad a la aplicación sin la necesidad de poseer el software Matlab en sus ordenadores.

Para crear el ejecutable se procede de la siguiente manera:

Se ubica en la pestaña de Apps de Matlab para proceder con la búsqueda del icono de “Application Compiler” el cual la seleccionaremos.

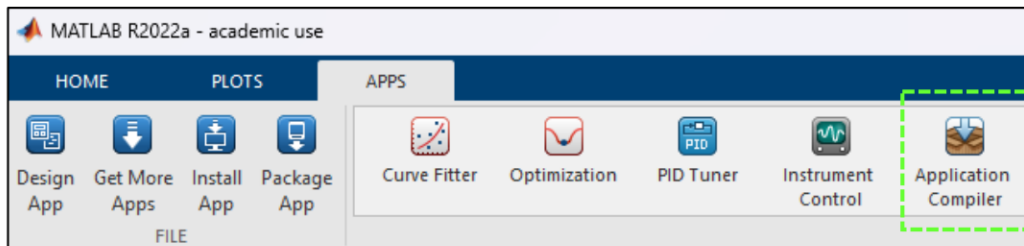


Figura 2.28. Aplicaciones de Matlab

En “Application Compiler” se procede con el llenado de todos los datos informativos que se requiere saber de la aplicación, además de una pequeña imagen referencial para la aplicación el cual se mostrara cada vez que se use la misma. Cabe señalar que no todos los datos se requieren ser llenados solo los más importantes.

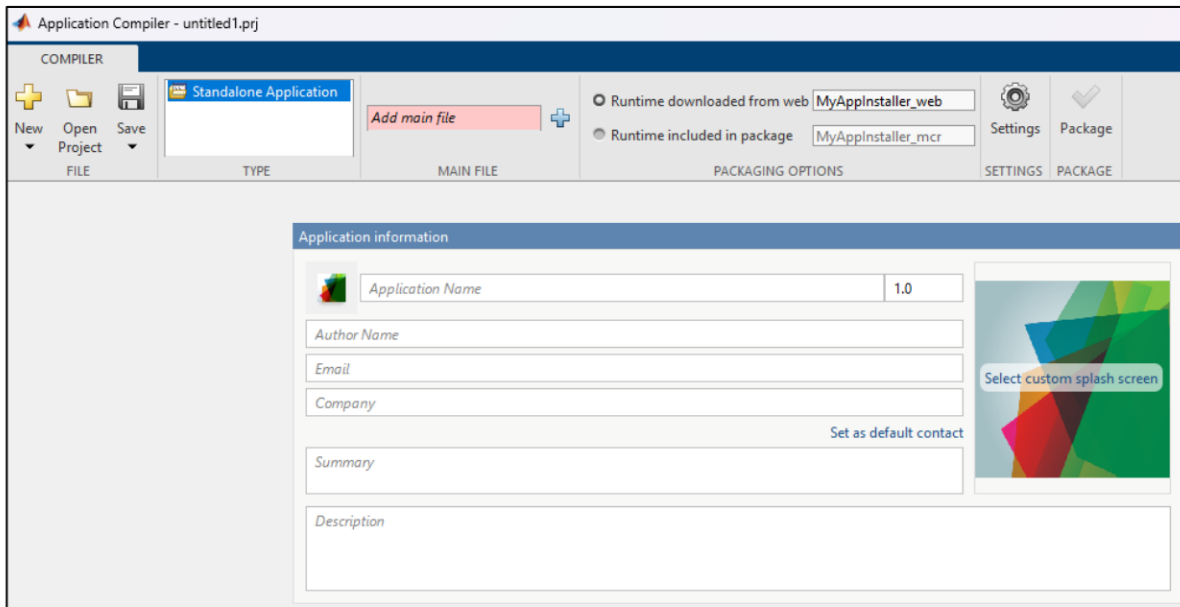


Figura 2.29. Application Compiler

Se procede con la selección de la ventana inicial de nuestra aplicación en el apartado “Add main file”, a raíz de esto aparecerán las demás ventanas, imágenes y datos que toda la aplicación requiere, se indica la opción de crear un archivo ejecutable para escritorio y no web y finalmente encapsulamos la aplicación mediante la selección del botón “Package” tal como se muestra en la figura 2.30

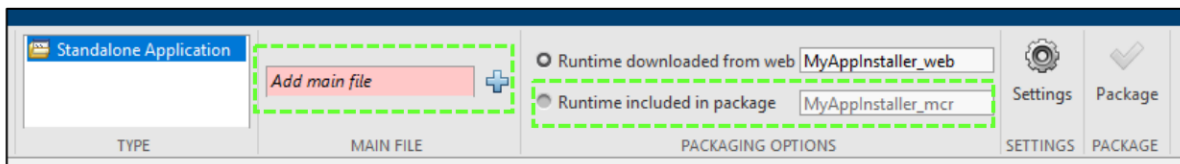


Figura 2.30. Apartado para crear el ejecutable

Una vez finalizado el empaquetado se procede a mostrar el archivo .exe desarrollado (Figura 2.31) el cual se la podrá instalar en cualquier ordenador para el libre uso de cualquier usuario.

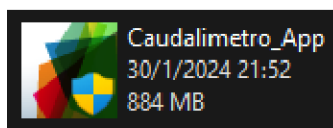


Figura 2.31. Archivo ejecutable (.exe)

2.7.1. Requerimientos mínimos del sistema

Para poder instalar la aplicación para el procesamiento de caudal se deberá considerar que el sistema tenga los siguientes requerimientos mínimos para un correcto funcionamiento del mismo.

- 1.05 KB de memoria
- Windows de 32 o 64 bits
- 4 GB de RAM
- Microsoft Excel Accesible

Una vez cumplido con las condiciones mínimas necesarias para el correcto funcionamiento se puede proceder con la descarga de la aplicación mediante el código QR proporcionado en la figura 2.32 o mediante el enlace mostrado a continuación.



Figura 2.32. Código QR del archivo ejecutable

Enlace: <https://1drv.ms/u/s!AiR5yVQEh9TugRlfCdLEIkTQfeY0?e=06LeZm>

3. 18PRUEBAS Y RESULTADOS

En la siguiente sección se mostrarán los resultados obtenidos mediante la implementación de ambos módulos desarrollados con anterioridad, además de las debidas pruebas de funcionamiento que se hicieron conjuntamente con la aplicación creada, con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del proyecto.

Para obtener los datos de caudal requeridos para la validación del proyecto se hizo el uso del laboratorio de hidráulica proporcionado por la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental el cual contiene un canal abierto de forma rectangular como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1. Canal Rectangular.

En este laboratorio para poder validar el caudal obtenido del canal hacen el uso de la ecuación 3.1, el cual es una expresión simplificada donde mediante un manómetro diferencial obtienen la diferencia de la altura del fluido producido entre sus tubos o conductos el cual es un parámetro importante usado en la expresión.

$$Q = 0.046 * \Delta h^{0.5}$$

Donde:

Δh variación de altura

Mediante los tubos mostrados en la Figura 3.2 se puede observar una diferencia entre las alturas de los fluidos del agua del canal y del mercurio del otro recipiente, esta diferencia de alturas ayuda a obtener el caudal necesario para validar los datos obtenidos por los módulos del proyecto.



Figura 3.2. Manómetro Diferencial

Por otro lado, el proyecto implementado hace el uso de las ecuaciones de Manning donde necesita de ciertos parámetros para la obtención del caudal de una manera más precisas considerando varios factores que el canal del laboratorio proporcionará mediante sus características físicas tal como se muestra en la figura 3.3.



Figura 3.3. Composición física del canal rectangular proporcionado

El ancho del canal se la obtiene mediante la medición del mismo de extremo a extremo, el coeficiente de Manning se considera de acuerdo a la tabla 2, donde el material del cual está construido el canal en este caso de vidrio - latón, y finalmente el canal está compuesto con bigas hidráulicas las cuales son para variar la inclinación de toda la estructura de tal manera que mediante el uso de una aplicación de celular se pudo obtener dicho parámetro obteniendo los siguientes factores para trabajar.

- Ancho canal 41.7 cm
- Coeficiente de Manning 0.009
- Inclinación $0^\circ \sim 1.6^\circ$

A partir de estas consideraciones se procede a mostrar y analizar los datos obtenidos tanto por la expresión simplificada dada por el laboratorio como por la expresión de Manning implementada en el proyecto, para diferentes tipos de inclinación con el fin de obtener un amplio campo de análisis partiendo de la variación de altura del manómetro diferencial y de la altura del fluido circulante en el canal.

3.1. Instalación de equipos y componentes

Para proceder con la obtención de los diferentes datos se procedió con la instalación de los diferentes equipos usados tal como se muestra en la figura 3.2.

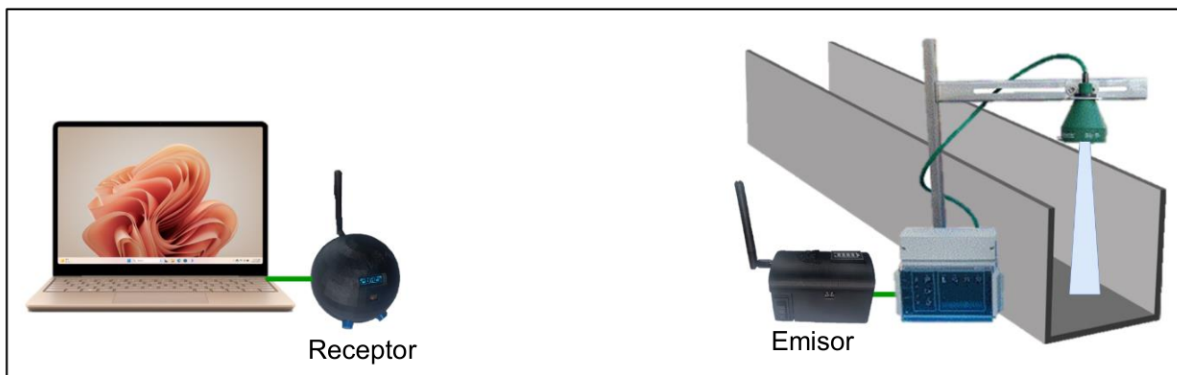


Figura 3.3. Instalación de equipos

Como se puede ver en la parte derecha de la imagen se puede apreciar como el equipo de obtención de datos, determina la altura del caudal dado en el canal rectangular mediante un sensor ultrasónico de caudal para posteriormente esa información ser enviada al módulo emisor conectada a su costado, este se encargará de enviar la información obtenida de manera inalámbrica.

Por el lado izquierdo de la figura 3.3 se encuentra el módulo receptor el cual obtiene los datos y se comunica con la aplicación generada en cualquier PC instalado para su posterior procesamiento.

3.2. Pruebas y resultados obtenidos mediante la aplicación

Para empezar con el uso de la aplicación procedemos a descargar el ejecutable .exe proporcionado en los diferentes enlaces y lo instalamos.

Una vez instalado la aplicación se abrirá la ventana de inicio donde se deberá colocar el puerto de comunicación dependiendo del ordenador utilizado. Posteriormente se abrirá la ventana de configuraciones donde se insertarán los parámetros de cálculo antes obtenidos para empezar con el procesamiento.

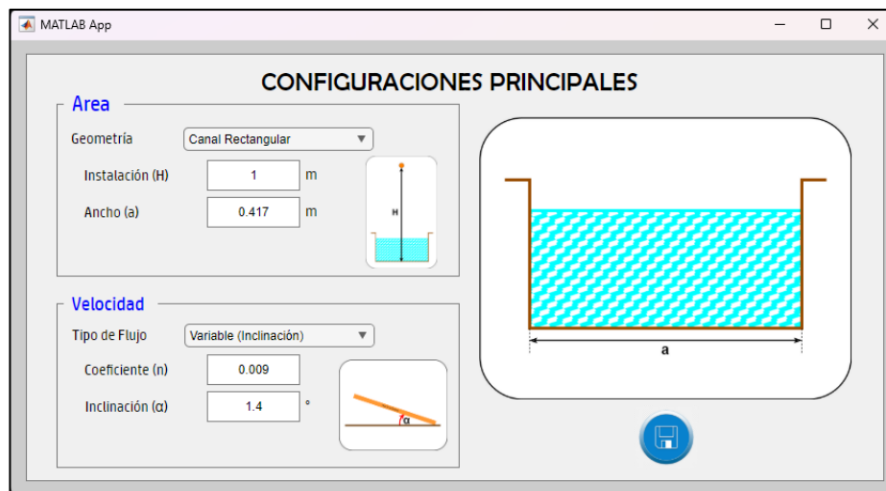


Figura 3.4. Configuraciones de cálculo para una inclinación de 1.4°

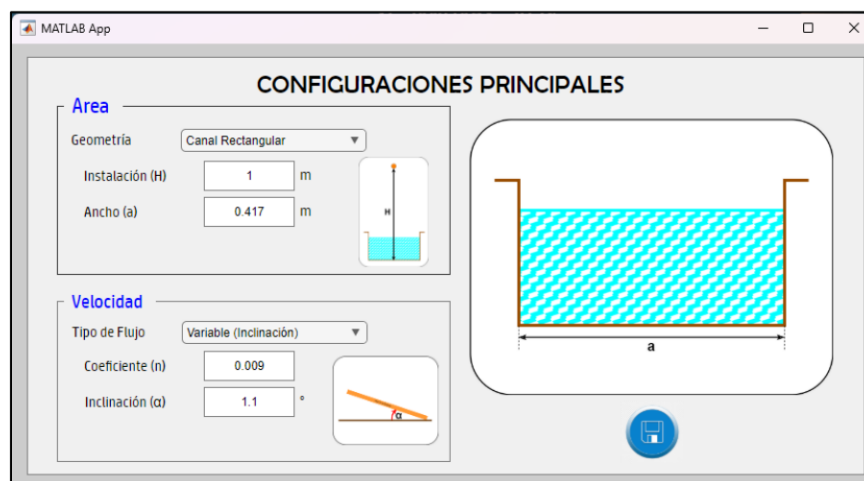


Figura 3.5. Configuraciones de cálculo para una inclinación de 1.1°

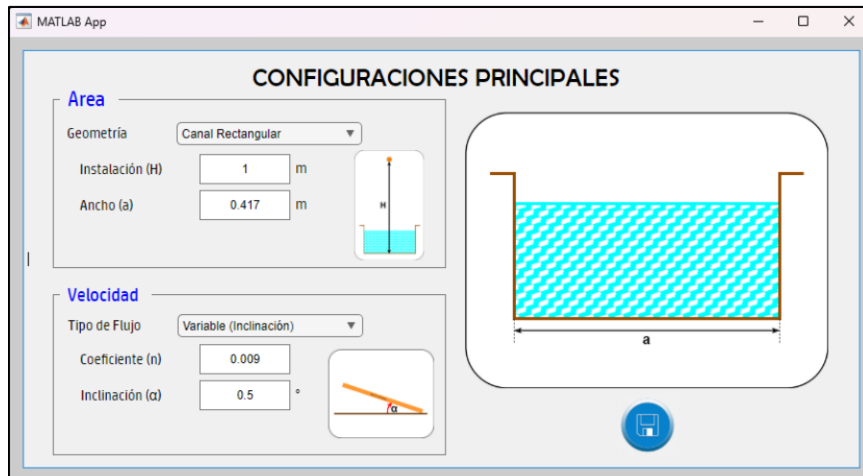


Figura 3.6. Configuraciones de cálculo para una inclinación de 0.5°

Para este caso se trabajó con tres tipos de ángulos de inclinación diferentes donde se considera una inclinación máxima de 1.4° (Figura 3.4), una inclinación media de 1.1° (Figura 3.5) y una inclinación de canal mínima 0.5° (Figura 3.6) para la obtención de los diferentes datos de caudal y velocidad.

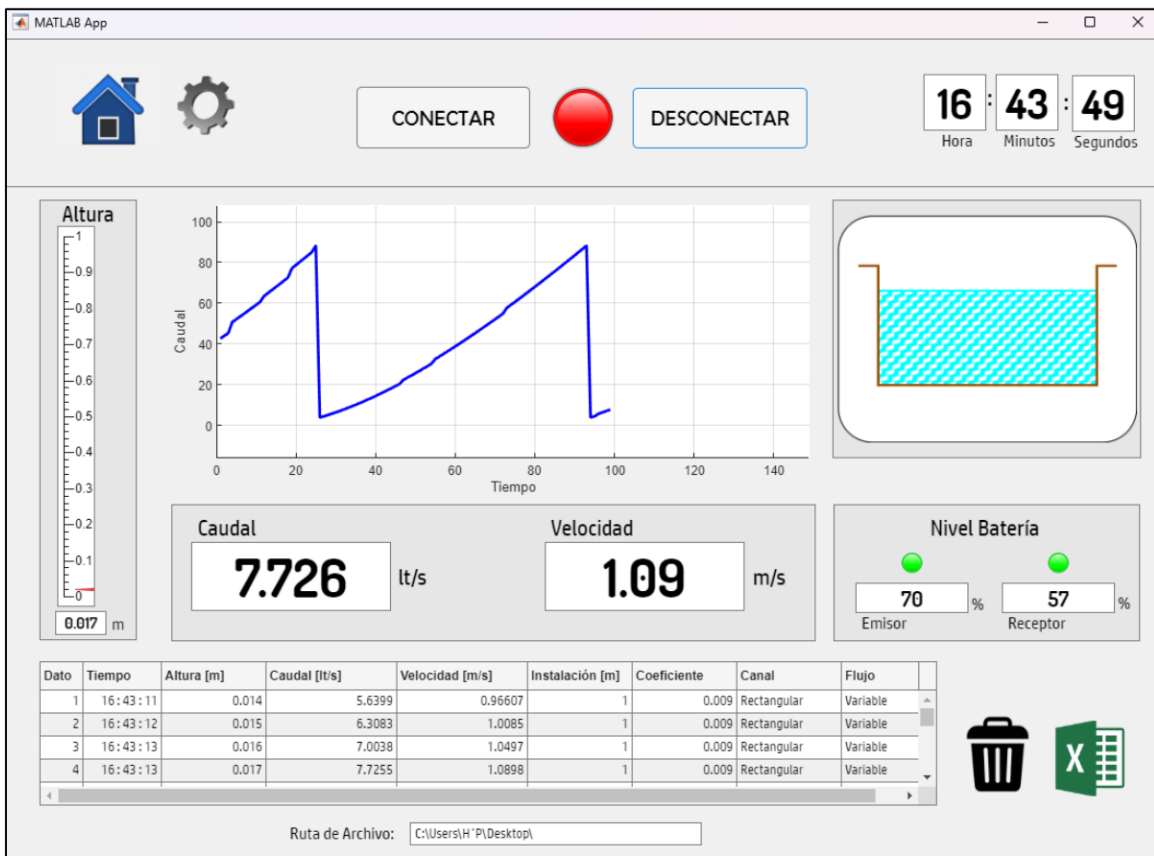


Figura 3.7. Datos obtenidos ante una inclinación de 1.4°

Y finalmente se da paso a la ventana principal donde sucede el procesamiento de datos para la obtención tanto de caudal como de velocidad del fluido del canal a partir de la altura tomada por parte del sensor ultrasónico de caudal adicionando información que puede resultar de utilidad como es el tipo de canal con el que se está trabajando o el tipo de flujo del sistema.

Para este caso se procedió a variar la altura del nivel del agua al mismo tiempo que la aplicación se encargaba de tomar una gran cantidad de datos (Anexo 2) para una inclinación de 1.1° , donde se pudo apreciar que se pudo capturar datos a partir de los 1.1 cm de altura hasta un máximo de 8.1 cm de alto del canal. Mediante la aplicación se puede observar en la figura 3.7 la gráfica donde indica como el caudal ha ido comportándose en este proceso, y se puede apreciar como este incremente casi linealmente a la par con la altura del caudal.

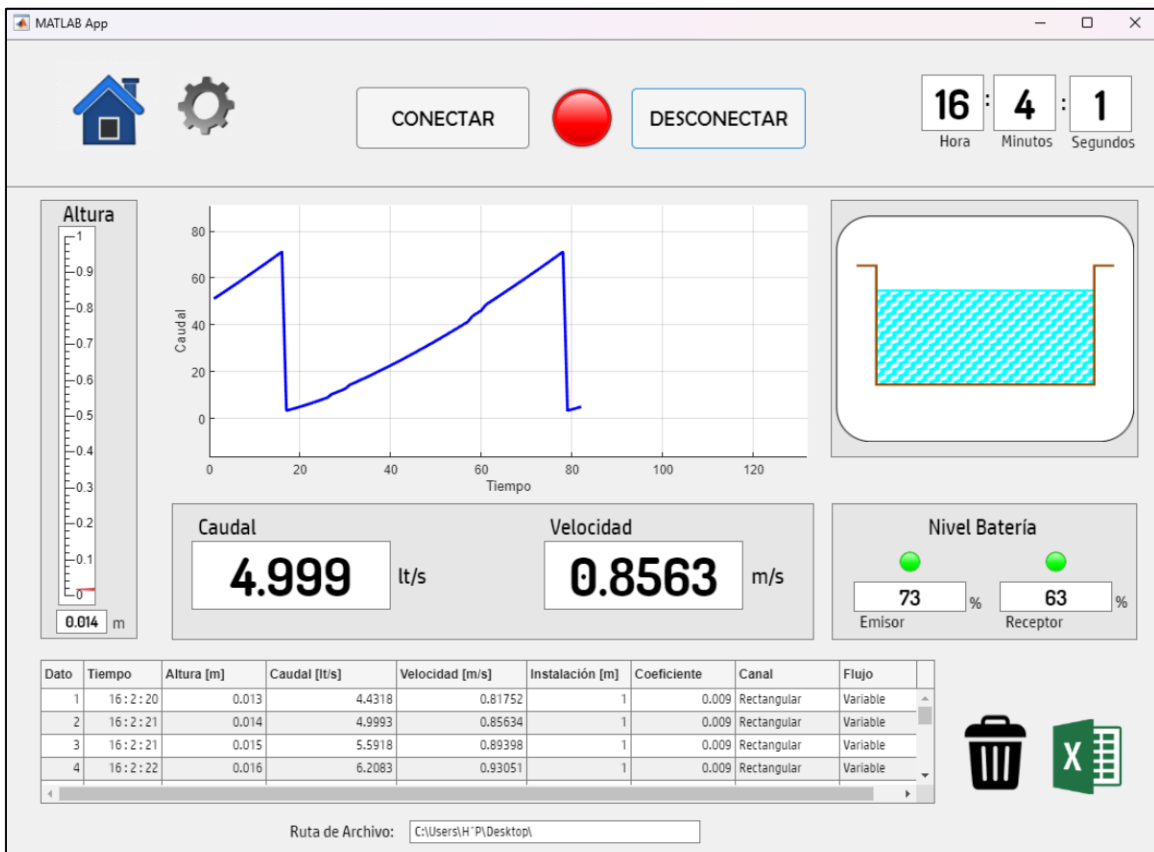


Figura 3.8. Datos obtenidos ante una inclinación de 1.1°

Para este caso se procedió de la misma manera para mediante una inclinación de 1.1° , la aplicación logro tomar una gran cantidad de datos (Anexo 3), donde se pudo apreciar que

en este caso la altura del caudal varía desde los 1.3 cm de altura hasta un máximo de 7.5 cm de alto del canal. Mediante la aplicación se puede observar en la figura 3.8 la gráfica donde indica que tiene el mismo comportamiento que el caso anterior.

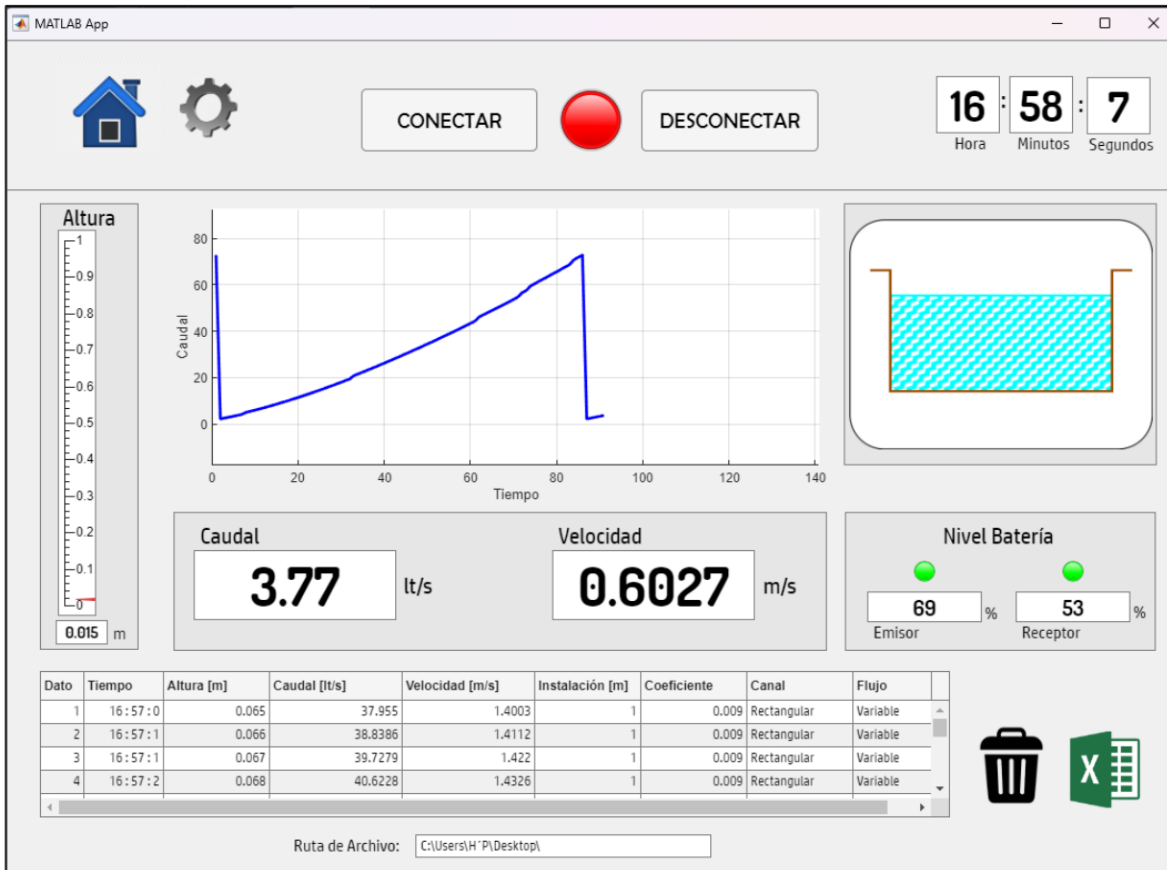


Figura 3.9. Datos obtenidos ante una inclinación de 0.5°

Finalmente se obtuvo una serie de datos (Anexo 4) para una inclinación de 0.5° , donde se pudo apreciar que se pudo capturar datos a partir de los 1.1 cm de altura hasta un máximo de 10.1 cm de alto del canal. Mediante la aplicación se puede observar en la figura 3.9 la gráfica donde indica que tiene el mismo comportamiento que los anteriores casos.

Para cada una de las inclinaciones tomadas en cuenta se puede apreciar que es limitada la toma de datos, esto se debe a que el manómetro diferencial cuenta con un rango de medida no tan amplio. Los cuales se debe tener muy en cuenta para poder realizar los cálculos pertinentes para la validación de los resultados.

3.3. Análisis y validación de resultados

Para validar los resultados obtenidos mediante la aplicación, con los datos calculados en el laboratorio se procede ante cada nivel de agua tomar la altura del caudal del líquido mediante el equipo proporcionado por el laboratorio el cual se puede apreciar en la figura 3.10 y también la diferencia de alturas entre los fluidos dado en el manómetro diferencial.



Figura 3.10. Medidor de nivel

Una vez obtenido la altura del caudal se procede a buscar dicho valor en las tablas de Excel obtenidos por parte de la aplicación (Anexos 2, 3, 4) y verificar si el caudal obtenido por parte de la aplicación y del obtenido por parte del laboratorio son idénticos.

Para visualizar mejor estos resultados se desglosó dicha información en las siguientes tablas las cuales muestran de mejor manera los resultados obtenidos y la comparación entre ellos, además de mostrar el error relativo considerando el caudal obtenido por el laboratorio como el valor real y el caudal obtenido mediante el proyecto como el valor medido.

Cabe señalar que ambas expresiones dan como resultados de caudal en unidades de m^3/s y por ser un sistema con dimensiones muy pequeñas los resultados serán convertidos a unidades de lt/s para una mejor visualización de los diferentes resultados.

Tabla 7. Datos obtenidos ante una inclinación de 1.4° del canal

Variación altura (m)	Altura caudal (m)	Caudal laboratorio (lt/s)	Caudal Proyecto (lt/s)	Error Relativo (%)
0.015	0.013	5.633	4.999	11.26
0.013	0.013	5.244	4.999	4.67
0.033	0.018	8.356	8.472	1.39
0.075	0.024	12.597	13.448	6.76
0.175	0.030	19.243	19.178	0.34
0.228	0.033	21.964	22.294	1.50
0.350	0.040	27.214	30.141	10.76
0.585	0.047	35.183	38.712	10.03
1.180	0.061	49.968	57.693	15.46
1.400	0.066	54.427	64.986	19.40
1.700	0.070	59.976	70.994	18.37
2.200	0.078	68.229	83.436	22.29

Para este caso se puede observar que los caudales obtenidos mediante ambos métodos mostrados en la tabla 7 son casi idénticos, el porcentaje de error va aumentando levemente a medida que la altura del caudal es mayor sin embargo el promedio de error es tan solo del 7.47% de error entre todos los datos calculados.

Tabla 8. Datos obtenidos ante una inclinación de 1.1° del canal

Variación altura (m)	Altura caudal (m)	Caudal laboratorio (lt/s)	Caudal Proyecto (lt/s)	Error Relativo [%]
0.013	0.014	5.244	4.999	4.67
0.035	0.020	8.605	8.899	3.42
0.058	0.023	11.078	11.136	0.52
0.103	0.030	14.763	17.000	15.15
0.210	0.034	21.079	20.713	1.74
0.375	0.042	28.169	28.826	2.33
0.482	0.047	31.936	34.315	7.45
0.590	0.050	35.333	37.748	6.83

0.820	0.056	41.654	44.903	7.80
1.110	0.062	48.464	52.415	8.15
1.410	0.068	54.622	60.251	10.31
1.630	0.071	58.728	64.28	9.45

Para los datos obtenidos mediante una inclinación de 1.1° del canal se puede observar que los datos de la tabla 8 tienen un porcentaje de error relativo mejor en comparación al caso anterior, ya que estos tienden a ser más homogéneos y con un error relativo promedio del 5.42% y con un comportamiento similar donde el error aumenta a medida que el nivel del caudal aumenta.

Tabla 9. Datos obtenidos ante una inclinación de 0.5° del canal

Variación altura (m)	Altura caudal (m)	Caudal laboratorio (lt/s)	Caudal Proyecto (lt/s)	Error Relativo [%]
0.010	0.015	4.600	3.770	18.04
0.070	0.028	12.170	10.274	15.58
0.190	0.039	20.051	17.315	13.65
0.365	0.050	27.791	25.450	8.42
0.790	0.067	40.885	39.727	2.83
0.830	0.069	41.908	41.523	0.92
1.300	0.082	52.448	53.700	2.39
1.700	0.090	59.976	61.587	2.69
2.060	0.096	66.022	67.677	2.51

Finalmente, para una inclinación de 0.5° se puede ver en la tabla 9 que los datos de caudal obtenidos son muy variados ya que a cierta altura el error porcentual relativo es muy alto y en otros tienden a ser casi nulas donde da como resultado un error promedio del 5.76%.

Debido a estas variaciones se procede a graficar dichos caudales obtenidos comparándolas entre ambos métodos para un mejor análisis de su comportamiento en el momento de la toma de información.

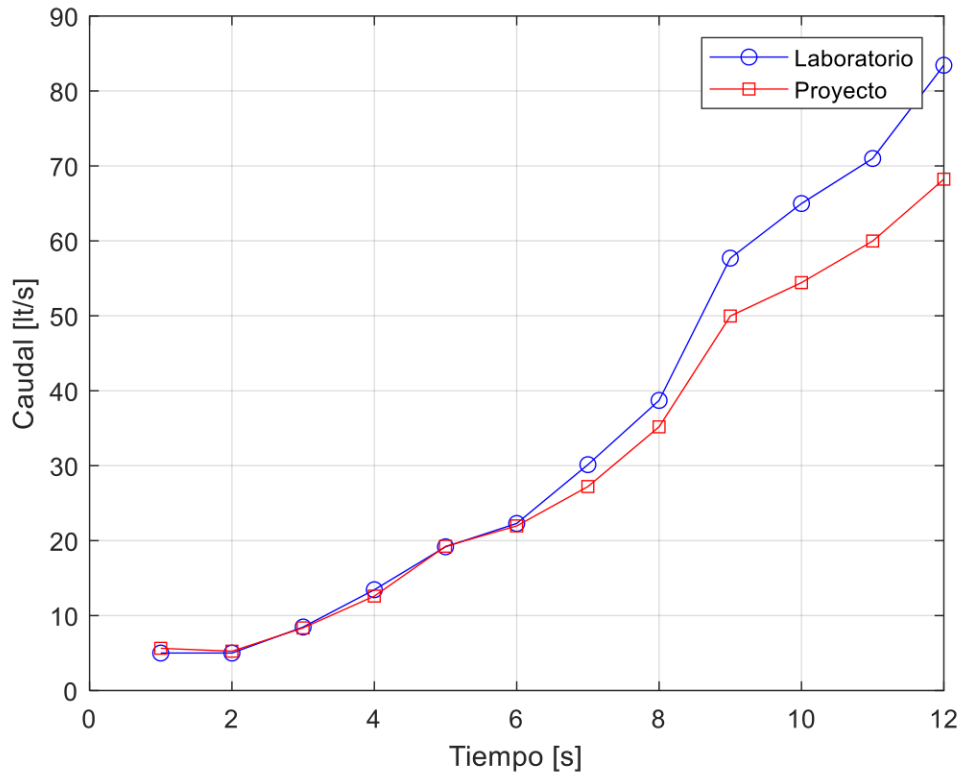


Figura 3.11. Comparativa de caudales obtenidos a una inclinación del 1.4°.

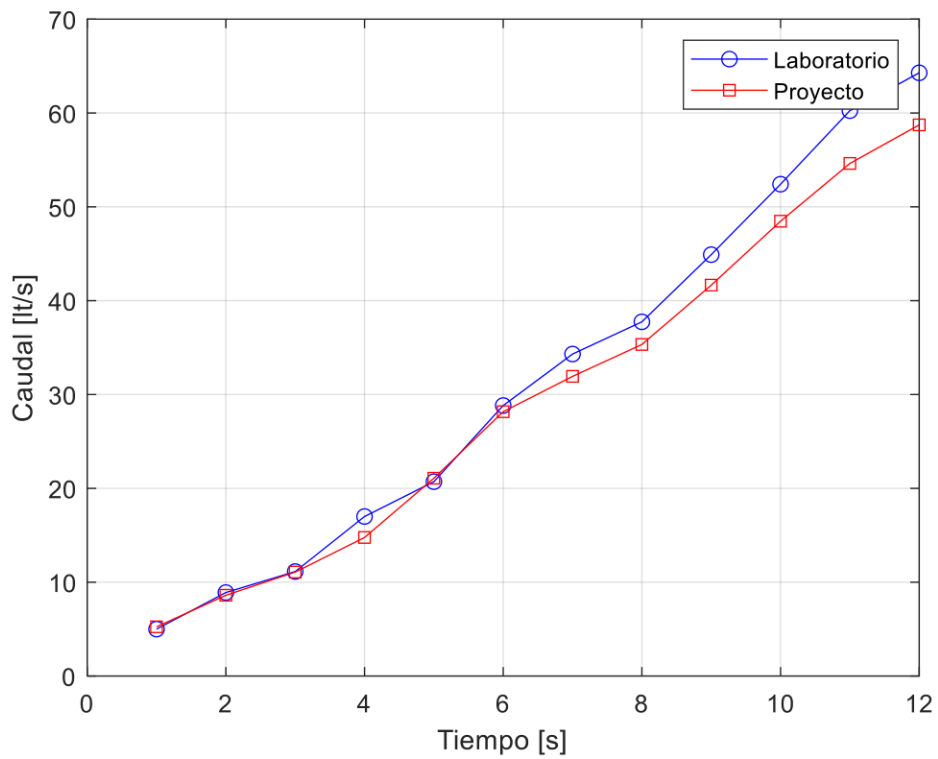


Figura 3.12. Comparativa de caudales obtenidos a una inclinación del 1.1°.

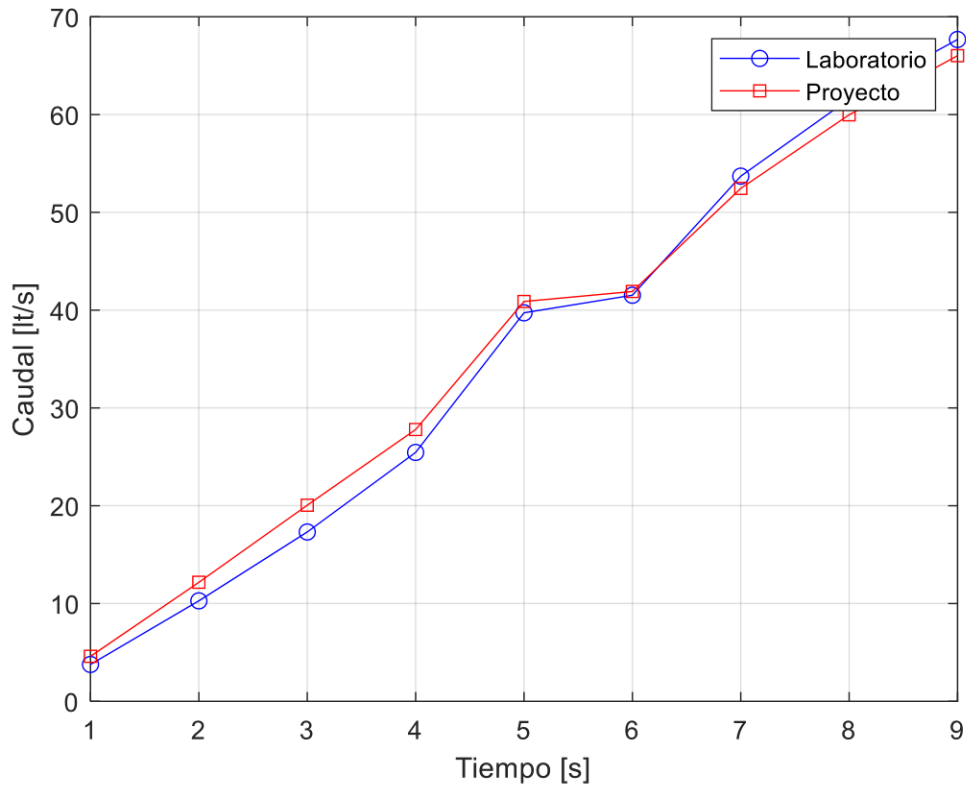


Figura 3.13. Comparativa de caudales obtenidos a una inclinación del 0.5° .

Se puede observar mediante las figuras 3.11, 3.12, 3.13 que, mediante la comparación entre los caudales obtenidos tanto por la expresión simplificada del laboratorio como las ecuaciones de Manning, los resultados obtenidos crecen de manera lineal con ciertas variaciones (errores) en algunos puntos. Sin embargo, la curva obtenida mediante los resultados por parte de la expresión simplificada del laboratorio tiende a crecer levemente a medida que la altura del nivel del agua también crece en los tres casos. Esto se da debido a que mientras más grande sea el nivel del agua en el canal, la diferencia de alturas entre los líquidos del manómetro diferencial será mucho mayor de tal manera que sobrepasa el rango de medida obteniendo datos inexactos en esos puntos.

Por lo que a medidas de nivel menores los datos obtenidos coinciden con errores porcentuales muy pequeños, validando de esta manera los resultados obtenidos por parte del proyecto y para niveles de caudal mayores los resultados vendrían a ser más exactos en comparación a los obtenidos por la expresión simplificada dada, siendo una buena opción que el proyecto pueda ser aplicado en el laboratorio.

3.4. Pruebas de duración de energía de los módulos

Para realizar estas pruebas se puso en funcionamiento ambos módulos al mismo tiempo a cierto nivel de energía con su carga máxima, donde se midió el tiempo que había tomado en llegar a cierto porcentaje de batería como se mostrara en la siguiente tabla.

Tabla 10. Porcentaje de energía de ambos módulos

Tiempo (min)	Emisor (%)	Receptor (%)
0	92	98
18	88	94
39	87	91
65	85	89
85	84	89
110	84	88
180	81	82
223	79	78
255	77	72
295	75	66
313	67	48
383	66	22
393	65	15
403	65	6
413	65	3
460	60	0

Mediante los datos de energía obtenidos en la tabla 10, se puede observar como el módulo receptor puede durar de 7 a 8 horas seguidas de funcionamiento continuo ya sea conectado o no a un ordenador externo, sin embargo, el módulo emisor en este tiempo apenas ha usado el 60% de su energía total ya que se estima que pueda alcanzar a funcionar de hasta 24 horas continuas a partir de los datos tomados.

Esto tiene sentido debido a que se lo implemento de esa manera, pues el módulo emisor se diseñó con la menor cantidad de elementos electrónicos posibles, haciendo que se

reduzca lo que más se pueda el consumo de energía y funcione continuamente en la recolección de datos de manera continua.

El módulo receptor de datos funciona adecuadamente en ese lapso de tiempo, sin embargo, por la cantidad de indicadores que este posee tiene que ser cargado en cada cierto tiempo si se lo amerita. Sin embargo, la carga de los módulos son de corto tiempo ya que en 30 minutos de carga podrían llegar a su máxima capacidad.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante módulos de transmisión por radiofrecuencia se logró transmitir información de manera inalámbrica adecuadamente ya que se llegó a considerar parámetros de construcción ideales para este tipo de módulos, logrando de esta manera el funcionamiento óptimo de estos dispositivos electrónico.
- Se logró implementar un sistema de transmisión inalámbrica eficiente a distancias grandes de hasta 300 metros al aire libre, donde evita lo menos posible la pérdida de información por parte de obstáculos físicos que pudiesen existir en el ambiente o lugar de trabajo.
- Se pudo diseñar dos módulos de transmisión con dimensiones muy reducidas y con un costo de implementación muy bajo, de fácil instalación y uso.
- Se logró implementar una aplicación computacional que usa los modelos matemáticos de Manning para obtener resultados de caudal más exactos, ya que estos modelos consideran parámetros característicos del sistema.
- Mediante pruebas realizadas en un canal real se pudo comprobar la veracidad de los resultados obtenidos y el óptimo funcionamiento de los equipos y aplicación desarrollada.

4.2. Recomendaciones

- Para lograr una transmisión de datos adecuada y sin pérdidas de información se recomienda evitar interferencias de objetos físicos que puede haber en el lugar de trabajo.
- Antes de utilizar los módulos de transmisión o la aplicación desarrolladas, se recomienda leer detenidamente el manual de usuario proporcionada en el trabajo escrito.
- Al momento de ingresar los parámetros necesarios en la aplicación para la medición del caudal se recomienda utilizar datos muy precisos para la obtención de resultados más exactos.
- En este trabajo se presentó una aplicación que funciona sin la necesidad del uso recursivo del internet, sin embargo, se recomienda perfeccionarlo hasta el punto de llegar a funcionar tanto con o sin el uso de este recurso, de tal manera que la aplicación sea eficaz para todo tipo de ambiente de trabajo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «GUIAREDES.pdf». Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.fcca.umich.mx/coordinaciones/ceneval/archivos/2013_guias/INFOR/GUIAREDES.pdf
- [2] «Medios transmision». Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>
- [3] «Transmisión de datos a través de redes inalámbricas - Disete». Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://disete.com/transmision-de-datos-a-traves-de-redes-inalambricas/>
- [4] «Red Inalámbrica - Qué es, tipos, ventajas, desventajas y ejemplos», <https://concepto.de/>. Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/red-inalambrica/>
- [5] «Transmisiones Inalámbricas | Universidad del Azuay». Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/interfaz/trans_inalambricas
- [6] «capitulo1.pdf». Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf
- [7] «Arduino NRF24 example 2019 library range». Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.electrionoobs.com/eng_arduino_tut95.php
- [8] «Módulo RF 2.4GHz - NRF24L01+PA+LNA con Antena», Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido: 31 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/113-modulo-rf-nrf24l01-pa-lna-antena.html>
- [9] «Arduino HC12 example 2019 library range». Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.electrionoobs.com/eng_arduino_tut96.php
- [10] «HC-12», Sigma Electrónica. Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/hc-12/>
- [11] «Arduino LoRa radio example 2019 library range». Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.electrionoobs.com/eng_arduino_tut97.php
- [12] «Módulo de radio LoRa de alcance ultralargo: RF1276». Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.appconwireless.com/showpro.php?id=94&gclid=CjwKCAiAqNSsBhAvEiwAn_tmXtg5qGI5AT5bmG7Ub-NQyV6w0FzDQpVQsNH9wZMEAoVb0-WAIZTKExoCCskQAvD_BwE#

- [13] «Arduino CC1101 radio example 2019 library range». Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
http://www.electrooobs.com/eng_arduino_tut98.php
- [14] «Módulo Emisor Inalámbrico CC1101 con Antena», VLC Components s.l. Accedido: 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://solectroshop.com/es/modulos-rf-radio/1197-modulo-emisor-inalambrico-cc1101-con-antena.html>
- [15] «Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf>
- [16] «Capitulo5.pdf». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3435/Capitulo5.pdf>
- [17] YOURNAME, «FORMULA DE MANNING». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cuevadelcivil.com/2011/05/formula-de-manning.html>
- [18] «ARDUINO», Blog de Tecnologías. Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>
- [19] «Módulo Regulador AMS1117 3.3V», Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://naylampmechatronics.com/fuentes-y-reguladores/166-modulo-regulador-ams1117-33v.html>
- [20] «Batería de litio 18650 recargable, 3.7V, 4000 mA», Sumador. Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sumador.com/products/bateria-de-litio-18650-3-7v-2600-mah>
- [21] «2 Modulos De Carga Mrb045 Baterías Li-ion Li-po 2s, 3s, 4s - U\$S 6,5». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-768817236-2-modulos-de-carga-mrb045-baterias-li-ion-li-po-2s-3s-4s-_JM
- [22] «Módulo Indicador de Carga de Batería de 8.4V (2S)», SANDORBOTICS. Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://sandorobotics.com/producto/iclp-2s/>

- [23] «Pantalla OLED 128x32 - Ja-Bots», Todo lo que necesites en robótica de competencia. Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ja-bots.com/producto/pantalla-oled-128x32/>
- [24] DEVSIA, «Módulo DS1307 Reloj De Tiempo Real Con I2C». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://electronicathido.com/detallesProducto.php?id=bEdMZkw4TXNtamY3Qzh0ekZRbHFLUT09>
- [25] B. Toromoreno y G. Fernando, «Diseño de un sistema de monitorización para una planta de tratamiento y distribución de agua potable como parte de un sistema SCADA en la ciudad de Cuenca».
- [26] «Desarrollar apps mediante App Designer - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/matlab/app-designer.html>
- [27] «Desarrollo De Aplicaciones Web Vs. Aplicaciones De Escritorio | Codster». Accedido: 4 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://codster.io/blog/desarrollo-de-aplicaciones-web-vs-escritorio/>

ANEXOS

1. Manual de Usuario

A continuación, se dará a conocer los pasos que se deberán seguir para poder utilizar correctamente ambos módulos transmisores además de la aplicación desarrollada, por lo que antes de entrar en contacto con los equipos se recomienda leer y seguir cada uno de los pasos indicados de manera ordenada.

Descripción general de los componentes del proyecto.

El presente proyecto se compone de tres partes fundamentales los cuales cumplen un rol fundamental cada uno de ellos, los cuales se detallarán rápidamente.

- **Modulo emisor**

Se encarga de adquirir los datos de altura del sistema de adquisición por parte del sensor ultrasónico de caudal, el cual es enviado de manera inalámbrica al otro modulo receptor además del nivel de energía que este tiene.

- **Modulo receptor**

Este módulo se encarga de recibir los datos de altura transmitidos y los muestra mediante la pantalla oled, además se encarga de mostrar los niveles de energía de ambos módulos de manera porcentual para un mejor monitoreo de los mismos.

Cuenta con periféricos de interacción como son botones para la navegación entre ventanas y el guardado de datos. Además de un periférico para la comunicación con la aplicación de escritorio.

- **Aplicación de escritorio**

La aplicación tiene conexión directa con el módulo receptor para obtener la información de altura del fluido del canal y proceder con los cálculos pertinentes para la obtención del caudal y velocidad dependiendo de las condiciones del sistema en el que se va a trabajar.

Uso del módulo emisor

En la figura A1.1 se mostrará las partes que constituyen el módulo emisor, indicando tanto los periféricos de entrada como de salida.

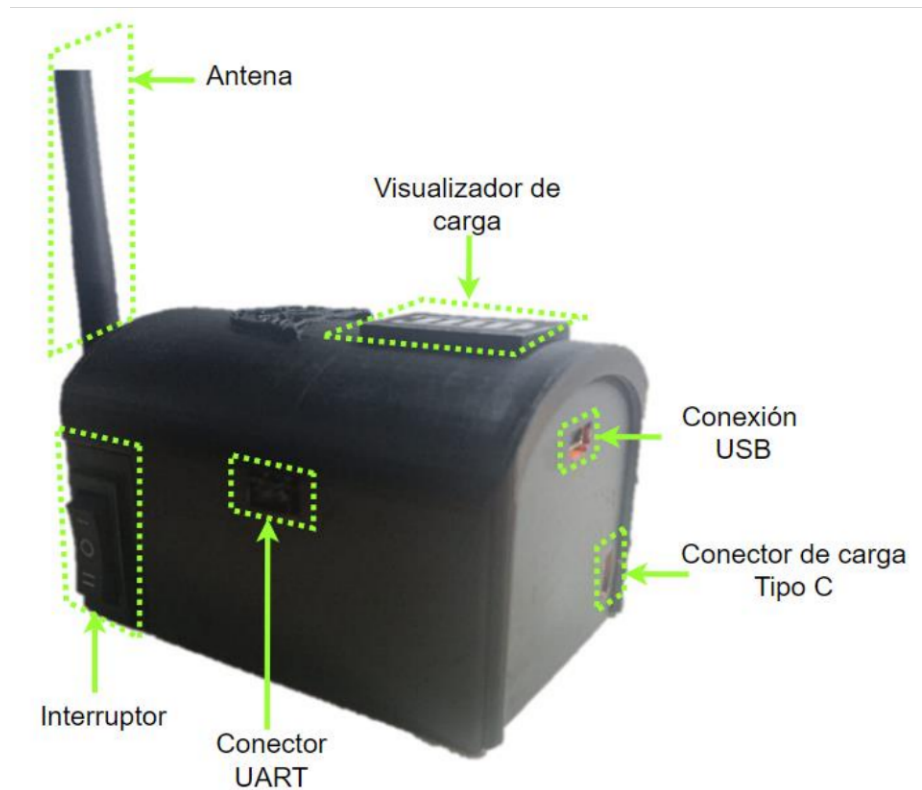


Figura A1.1. Partes constitutivas del módulo emisor.

Para el funcionamiento de este módulo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Colocar la antena enrollándola en su totalidad, presionándola levemente y colocándola con una inclinación hacia arriba.
2. Conectar el cable para recepción de datos en el conector UART de tal manera que se acoplen las hendiduras correctamente y de la misma manera en el otro extremo.
3. Accionar el interruptor de tres posiciones hacia arriba, de tal manera que se mantenga presionado el símbolo I (modo alimentación).

Si en el visualizador de carga las barras leds iluminadas es solamente una, entonces se debe proceder a cargar el módulo de la siguiente manera.

1. Accionar el interruptor de tres posiciones hacia abajo, de tal manera que se mantenga presionada el símbolo II (modo carga).

2. En el conector de carga utilizar un cargador tipo C de 5V y un mínimo de 1A de carga.

Si se requiere realizar alguna alteración en la programación del microcontrolador del módulo se puede seguir los siguientes pasos.

1. Desacoplar el conector UART y luego de haber programado el microcontrolador volverlos a conectar.
2. Conectar el conector USB al ordenador del cual se va a programar el microcontrolador.

Si ha terminado con el uso del módulo se debe seguir los siguientes pasos

1. Accionar el interruptor de tres posiciones hacia el centro (símbolo O), de tal manera que no se quede presionada para ningún modo.
2. Desacoplar todos los periféricos de conexión dependiendo del caso en el que se encuentre.
3. Desenrollar la antena y guardarla de manera erguida en el maletín del módulo.

Advertencias y consideraciones adicionales

- En todo momento se debe tener en cuenta la ubicación de la antena ya que, al ser un dispositivo pequeño, puede llegarse a perder con facilidad.
- Al momento de cargar el módulo este se empezará a calentar, sin embargo, no hay de qué preocuparse ya que cuenta con los disipadores y protectores adecuados al caso.
- Si se olvida visualizar la carga en plenos uso, no es de preocupación ya que hay un buzzer que sonara cuando la batería del módulo esta baja.
- Tratar de colocar el módulo en un lugar estable y de libre disipación para sus ondas electromagnéticas.
- Evitar los movimientos bruscos con el módulo en mano ya que es un instrumento sensible.

Uso del módulo receptor

En la figura A1.2 se mostrará las partes que constituyen el módulo receptor, indicando tanto los periféricos de entrada como de salida.

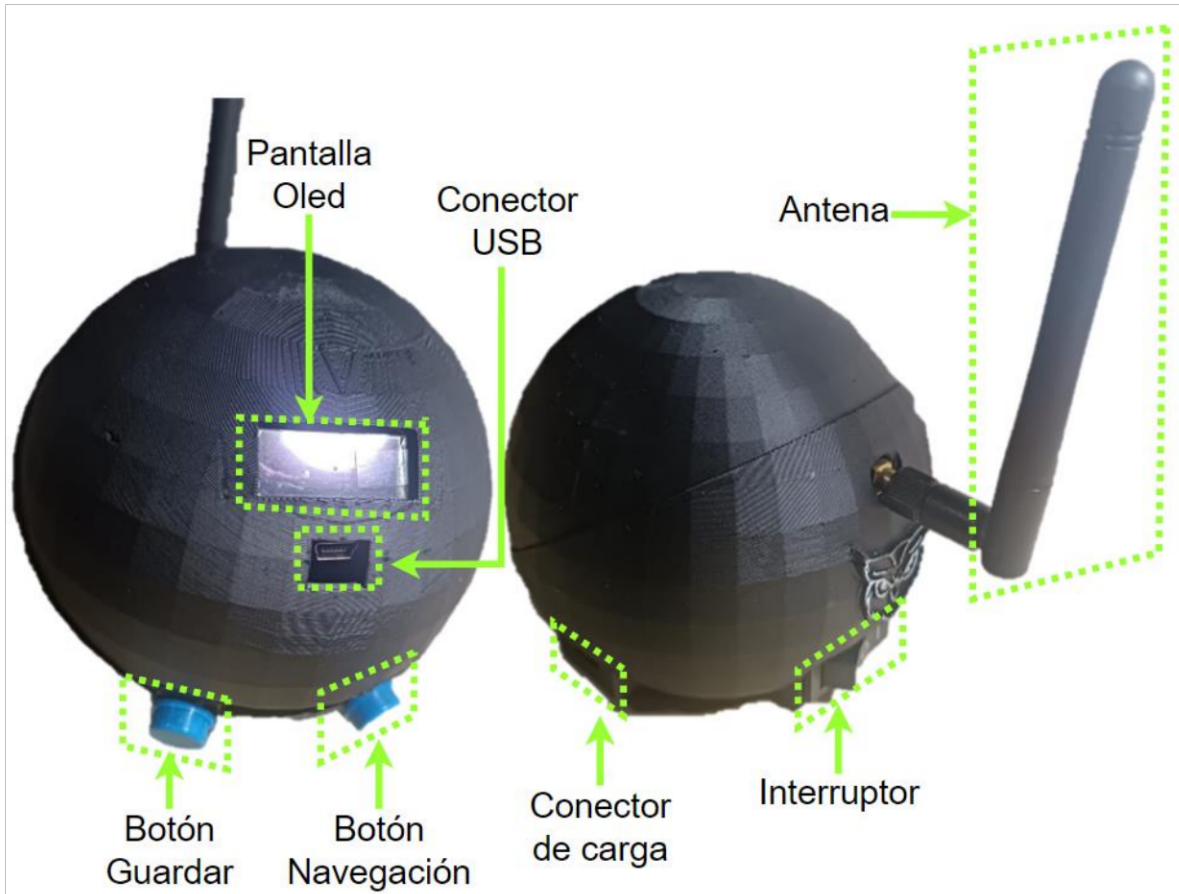


Figura A1.2. Partes constitutivas del módulo receptor.

Para el funcionamiento de este módulo se debe proceder con los siguientes pasos.

1. Colocar la antena enrollándola en su totalidad, presionándola levemente y colocándola con una inclinación hacia arriba.
2. Accionar el interruptor de tres posiciones ubicado en la parte posterior hacia la derecha, de tal manera que se mantenga presionado el símbolo II (modo alimentación).

Una vez encendido el módulo se mostrará una ventana de saludo inicial el cual se mantendrá hasta que el módulo emisor haya sido encendido con anterioridad para empezar con la transmisión.

Si la luz inferior se enciende, es un indicativo de que se está recibiendo datos y se podrá proceder a navegar entre las diferentes ventanas con el botón de navegación.

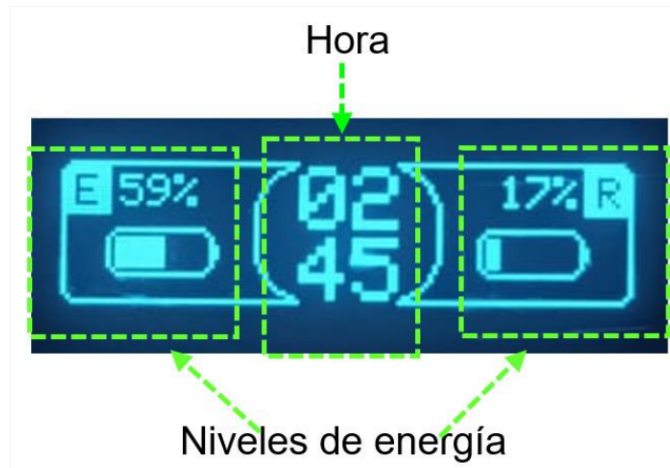


Figura A1.3. Ventana inicial del módulo receptor.

Como ventana inicial a mostrarse será la de los niveles de voltaje como se indica en la figura A1.3, en el cual podrá monitorizar los niveles de energía tanto del módulo emisor como receptor en manera porcentual al mismo tiempo.

Si se presiona el botón de navegación se pasará a la siguiente ventana como se muestra en la figura A1.4, en el cual se mostrará la altura recibida por parte de la transmisión y además dará a conocer ciertos avisos importantes para el usuario



Figura A1.4. Ventana secundaria del módulo receptor.

En la parte derecha de la ventana se podrán evidenciar dos iconos los cuales el de la parte inferior indicara si se ha hecho conexión o no con la aplicación de escritorio y el icono de la parte superior indicara que los niveles energía están bajos tanto del emisor (Figura A1. 5.a), receptor (Figura A1.5.b) o puede ser el caso de que ambos módulos están bajos de energía (Figura A1.5.c).

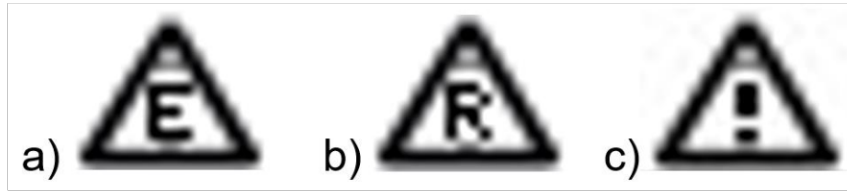


Figura A1.5. Avisos para los niveles de energía.

Si es el caso de que los niveles de energía del módulo receptor están bajos se procederá a cargar el mismo de la siguiente manera:

1. Accionar el interruptor de tres posiciones ubicado en la parte posterior hacia la izquierda, de tal manera que se mantenga presionada el símbolo I (modo carga).
2. En el conector de carga utilizar un cargador tipo C de 5V y un mínimo de 1A de carga.

Si ha terminado con el uso del módulo se debe seguir los siguientes pasos

1. Accionar el interruptor de tres posiciones hacia el centro (símbolo O), de tal manera que no se quede presionada para ningún modo.
2. Desacoplar todos los periféricos de conexión dependiendo del caso en el que se encuentre.
3. Desenrollar la antena y guardarla de manera erguida en el maletín del módulo.

Finalmente, si se requiere hacer conexión con la aplicación de escritorio se deberá conectar mediante el conector USB del módulo al ordenador donde la aplicación ya se encuentre instalado.

Advertencias y consideraciones adicionales

- De igual manera se deberá tener muy en cuenta la ubicación de la antena ya que, al ser un dispositivo pequeño, puede llegarse a perder con facilidad.
- Al momento de cargar el módulo también se empezará a calentar, sin embargo, no hay de qué preocuparse ya que cuenta con los disipadores y protectores adecuados al caso.
- Para la carga del módulo se debe dejar conectado la alimentación por alrededor de 30 minutos aproximadamente, ya que para ese entonces puede que se haya cargado por completo.
- Si se olvida visualizar la carga en plenos uso, no es de preocupación ya que hay un buzzer que sonara cuando la batería del módulo esta baja.

- Evitar los movimientos bruscos con el módulo en mano ya que es un instrumento sensible.
- Al momento de querer realizar conexión con la aplicación de escritorio se recomienda el uso de un cable largo y flexible para un mejor desenvolvimiento en el lugar de trabajo.
- Cuando se realiza conexión con la aplicación el módulo se reiniciará automáticamente y eso es normal.

Instalación y uso de la aplicación de escritorio

Para acceder a la aplicación desarrollada para este proyecto debe acudir a los diferentes enlaces dados anteriormente donde al obtener el archivo ejecutable .exe se procede con la instalación de la siguiente manera

1. Clic derecho en el archivo y lo ejecutamos como administrador

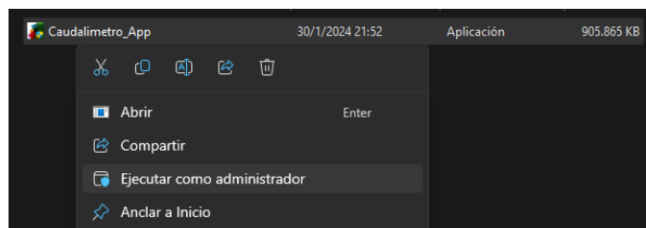


Figura A1.6. Instalación de la aplicación

2. Luego de aceptar los cambios que la aplicación requiera, se abrirá una ventana donde pedirá al usuario la ubicación donde guste instalar la aplicación (es recomendable cambia la ubicación que viene por defecto), y luego presionamos “next” para ir a la siguiente ventana.

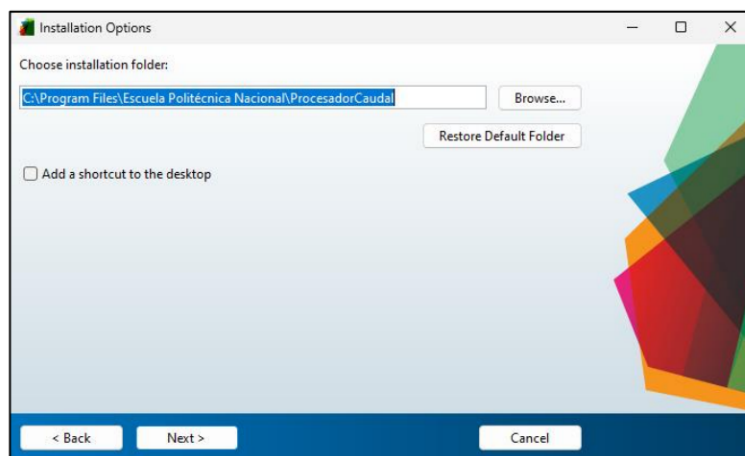


Figura A1.7. Ubicación de la instalación.

Cabe indicar que debe seleccionar la pestaña de “Add a shortcut to the desktop” para crear un icono de acceso directo en el escritorio.

3. Finalmente aparecerá una ventana indicando cierta información poco relevante de la aplicación, donde simplemente al presionar en “Next” empezará con la instalación de la aplicación.

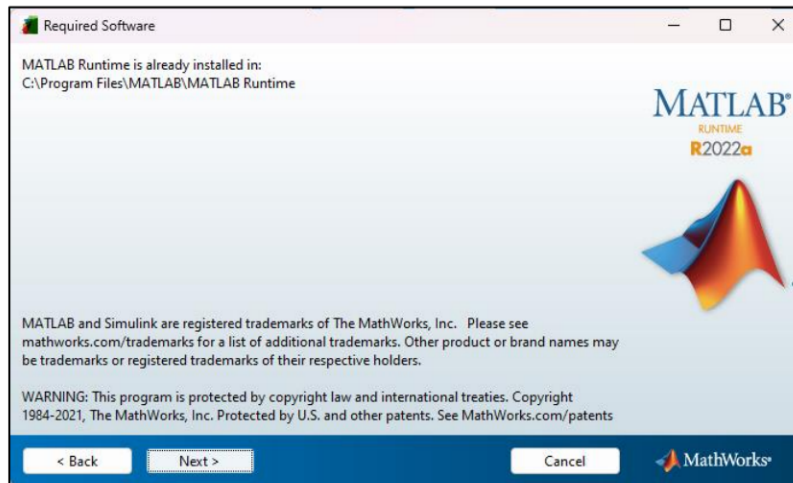


Figura A1.8. Información de la aplicación proporcionada.

4. Una vez finalizada la instalación en el ordenador del usuario, se podrá ejecutar el icono creado en el escritorio para empezar a usar la aplicación
Inicialmente se abrirá una pequeña ventana (Figura A1.9) que indicará al usuario insertar el puerto de comunicación que el módulo receptor está siendo utilizado, el puerto debe ser ingresado de la misma manera que se indica en la ventana de lo contrario la aplicación no podrá continuar con su funcionamiento.
5. Luego de ingresar el puerto de comunicación correcto se seleccionará el botón “Iniciar” para pasar a la siguiente ventana.

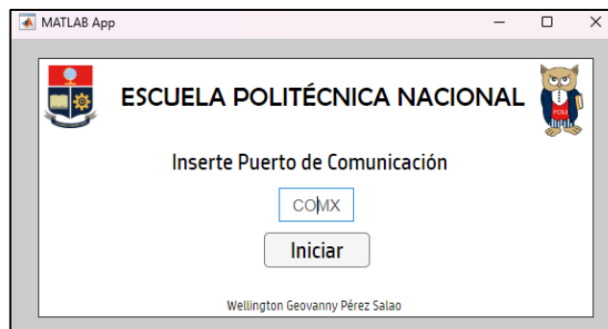


Figura A1.9. Ventana inicial de la aplicación.

6. En la ventana de configuraciones (Figura A1.10) se deberá seleccionar el tipo de geometría del canal o ducto, el tipo de flujo del sistema y finalmente llenar todos los parámetros que son necesarios dependiendo el caso.

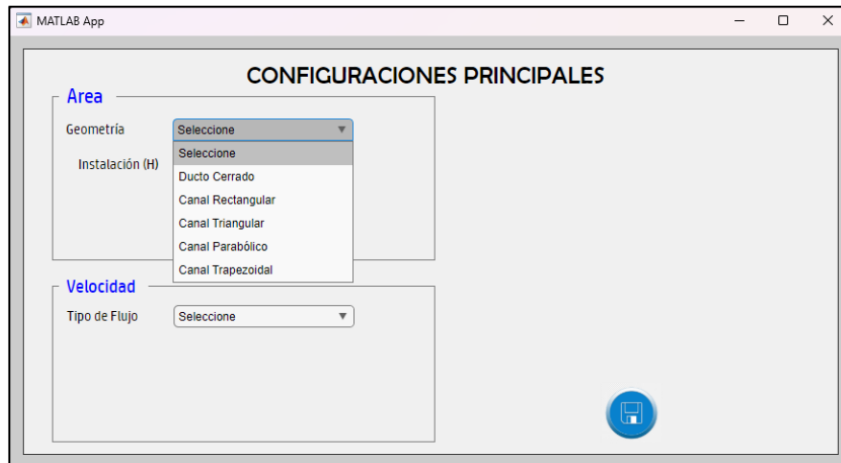


Figura A1.10. Ventana de configuraciones de la aplicación.

7. Luego de haber llenado todos los parámetros requeridos para realizar los cálculos presionamos el icono de guardar y continuamos con la siguiente ventana.

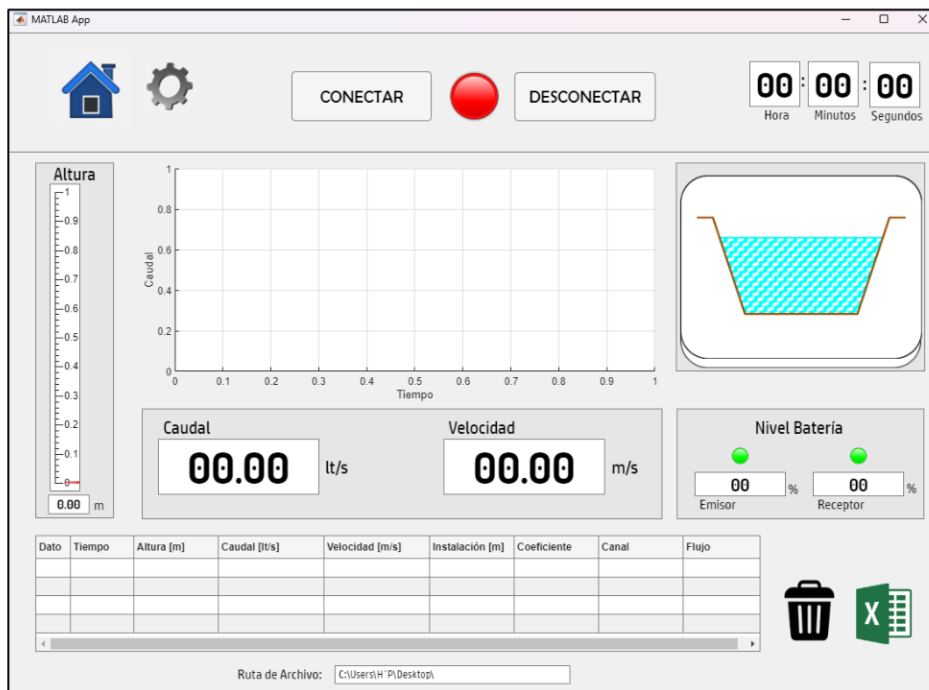


Figura A1.11. Ventana principal de la aplicación.

8. En la ventana principal (Figura A1.11) para empezar a visualizar los resultados presionamos el botón de “Conectar” y si requiere realizar alguna modificación en los

parámetros de cálculo debemos presionar el botón de “Desconectar” para detener la simulación y modificar los parámetros

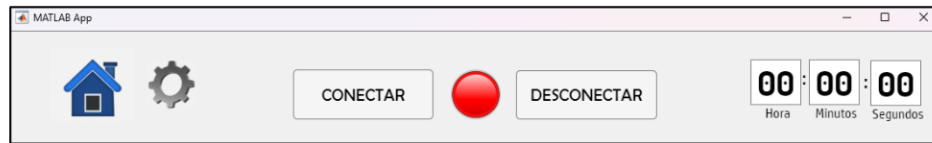


Figura A1.12. Botones de navegación.

Esta ventana (Figura A1.12) cuenta con botones para conectarse y desconectarse del módulo, además de iconos para realizar algún cambio de configuración y otro icono para regresar a la ventana inicial para hacer el cambio del puerto de comunicación si así se lo requiera.

En la parte inferior de la ventana (Figura A1.13) se muestran los datos que el usuario ha guardado al momento de pulsar el botón de guardar en el módulo receptor

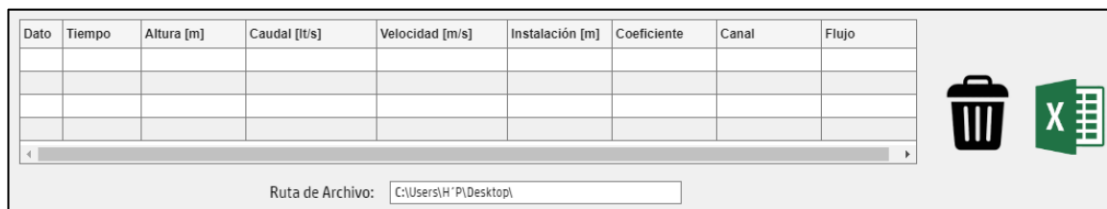


Figura A1.13. Guardado y exportación de datos.

Si se quiere borrar los datos guardados se debe presionar el icono de borrar y si se desea exportar los datos guardado se debe primeramente escribir la ubicación donde el archivo se guardará y posteriormente pulsar el icono de Excel para exportar todos los datos en una tabla de Excel.

Advertencias y consideraciones adicionales

- Si el usuario no conoce el puerto de comunicación del módulo receptor, en el buscador de Windows ingresamos “Administrador de dispositivos” se abrirá una ventana con varios dispositivos del ordenador (Figura A1.14), seleccionaremos la opción de puertos y ahí se encontrará el puerto que está siendo utilizado.

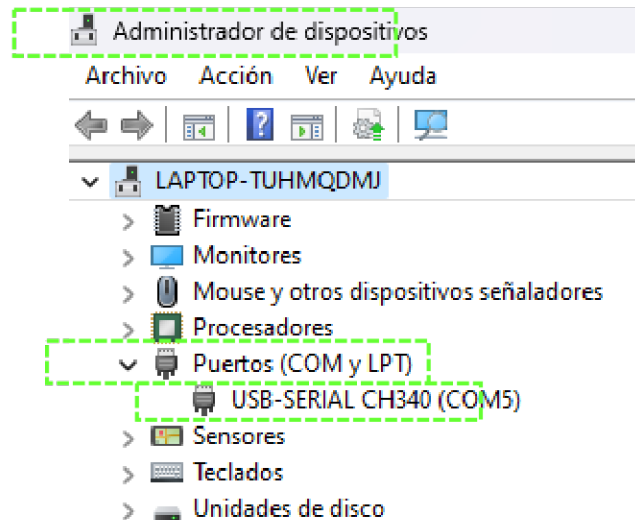


Figura A1.14. Identificación de número de puerto utilizado

- Si el puerto ingresado no es el correcto no se podrá acceder a la siguiente ventana y se mostrará el siguiente mensaje (Figura A1.15) hasta que se ingrese el correcto.

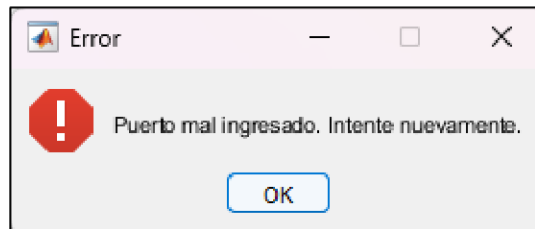


Figura A1.15. Aviso de puerto mal ingresado

- En la ventana de configuraciones se mostrarán imágenes que servirán como referencia para el ingreso de algún parámetro para un mejor entendimiento por parte del usuario.
- Si el usuario no conoce el coeficiente de Manning a utilizar, puede hacer el uso de la tabla 2 donde existen diferentes coeficientes dependiendo del material que está constituido el ducto o canal.
- Para exportar los datos guardados en un archivo Excel es recomendable que la dirección donde se requiera guardar, sea en el escritorio principal del usuario para encontrar fácilmente el archivo.
- Si se desea guardar el archivo en algún otro lugar es recomendable copiar la dirección exacta del lugar ya que, si la aplicación no encuentra dicha ubicación lo indicara mediante un mensaje de aviso que el archivo no fue exportado. De lo contrario también se indicará con otro mensaje tal cual se indica en las figuras A1.16 y A1.17

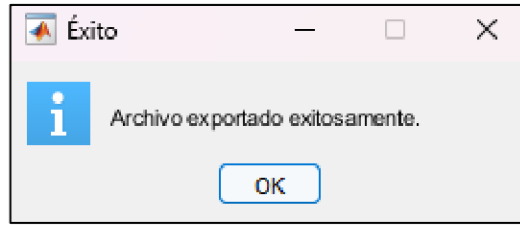


Figura A1.16. Aviso datos exportados exitosamente.

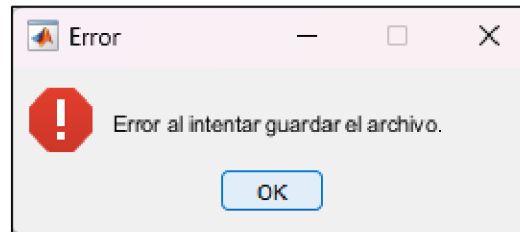


Figura A1.17. Aviso de error al exportar los datos.

2. Datos de una inclinación del 1.4°

Dato	Tiempo	Altura (m)	Caudal (lt/s)	Velocidad (m/s)	Instalación (m)	Coficiente	Tipo de canal	Tipo de flujo
1	16 : 43 : 11	0.011	3.8075	0.8300	1	0.009	Rectangular	Variable
2	16 : 43 : 11	0.012	4.3884	0.8769	1	0.009	Rectangular	Variable
3	16 : 43 : 11	0.014	5.6399	0.9660	1	0.009	Rectangular	Variable
4	16 : 43 : 12	0.015	6.3083	1.0085	1	0.009	Rectangular	Variable
5	16 : 43 : 13	0.016	7.0038	1.0497	1	0.009	Rectangular	Variable
6	16 : 43 : 13	0.017	7.7255	1.0898	1	0.009	Rectangular	Variable
7	16 : 43 : 14	0.018	8.4727	1.1288	1	0.009	Rectangular	Variable
8	16 : 43 : 14	0.019	9.2444	1.1668	1	0.009	Rectangular	Variable
9	16 : 43 : 15	0.020	10.0401	1.2038	1	0.009	Rectangular	Variable
10	16 : 43 : 15	0.021	10.8590	1.2400	1	0.009	Rectangular	Variable
11	16 : 43 : 16	0.022	11.7004	1.2754	1	0.009	Rectangular	Variable
12	16 : 43 : 16	0.023	12.5639	1.3100	1	0.009	Rectangular	Variable
13	16 : 43 : 17	0.024	13.4488	1.3438	1	0.009	Rectangular	Variable
14	16 : 43 : 17	0.025	14.3545	1.3769	1	0.009	Rectangular	Variable
15	16 : 43 : 18	0.026	15.2806	1.4094	1	0.009	Rectangular	Variable
16	16 : 43 : 18	0.027	16.2265	1.4412	1	0.009	Rectangular	Variable
17	16 : 43 : 19	0.028	17.1918	1.4724	1	0.009	Rectangular	Variable
18	16 : 43 : 20	0.029	18.1761	1.5030	1	0.009	Rectangular	Variable
19	16 : 43 : 20	0.030	19.1788	1.5331	1	0.009	Rectangular	Variable
20	16 : 43 : 21	0.031	20.1997	1.5626	1	0.009	Rectangular	Variable
21	16 : 43 : 22	0.034	23.3670	1.6481	1	0.009	Rectangular	Variable
22	16 : 43 : 22	0.035	24.4564	1.6757	1	0.009	Rectangular	Variable
23	16 : 43 : 23	0.036	25.5621	1.7028	1	0.009	Rectangular	Variable
24	16 : 43 : 23	0.037	26.6838	1.7295	1	0.009	Rectangular	Variable
25	16 : 43 : 24	0.038	27.8210	1.7557	1	0.009	Rectangular	Variable
26	16 : 43 : 24	0.039	28.9736	1.7816	1	0.009	Rectangular	Variable
27	16 : 43 : 25	0.040	30.1412	1.8070	1	0.009	Rectangular	Variable
28	16 : 43 : 25	0.042	32.5204	1.8568	1	0.009	Rectangular	Variable

29	16 : 43 : 26	0.043	33.7314	1.8812	1	0.009	Rectangular	Variable
30	16 : 43 : 26	0.044	34.9563	1.9052	1	0.009	Rectangular	Variable
31	16 : 43 : 27	0.045	36.1949	1.9289	1	0.009	Rectangular	Variable
32	16 : 43 : 28	0.046	37.4470	1.9522	1	0.009	Rectangular	Variable
33	16 : 43 : 28	0.047	38.7122	1.9752	1	0.009	Rectangular	Variable
34	16 : 43 : 29	0.049	41.2814	2.0203	1	0.009	Rectangular	Variable
35	16 : 43 : 30	0.050	42.5848	2.0424	1	0.009	Rectangular	Variable
36	16 : 43 : 30	0.051	43.9006	2.0643	1	0.009	Rectangular	Variable
37	16 : 43 : 31	0.052	45.2285	2.0858	1	0.009	Rectangular	Variable
38	16 : 43 : 31	0.053	46.5683	2.1071	1	0.009	Rectangular	Variable
39	16 : 43 : 32	0.054	47.9198	2.1281	1	0.009	Rectangular	Variable
40	16 : 43 : 32	0.055	49.2829	2.1488	1	0.009	Rectangular	Variable
41	16 : 43 : 33	0.057	52.0428	2.1895	1	0.009	Rectangular	Variable
42	16 : 43 : 34	0.058	53.4393	2.2095	1	0.009	Rectangular	Variable
43	16 : 43 : 35	0.059	54.8466	2.2293	1	0.009	Rectangular	Variable
44	16 : 43 : 35	0.061	57.6929	2.2681	1	0.009	Rectangular	Variable
45	16 : 43 : 36	0.062	59.1316	2.2871	1	0.009	Rectangular	Variable
46	16 : 43 : 36	0.063	60.5805	2.3060	1	0.009	Rectangular	Variable

3. Datos de una inclinación del 1.1°

Dato	Tiempo	Altura (m)	Caudal (lt/s)	Velocidad (m/s)	Instalación (m)	Coefficiente	Tipo de canal	Tipo de flujo
1	16 : 2 : 20	0.013	4.4318	0.8175	1	0.009	Rectangular	Variable
2	16 : 2 : 21	0.014	4.9993	0.8563	1	0.009	Rectangular	Variable
3	16 : 2 : 21	0.015	5.5918	0.8939	1	0.009	Rectangular	Variable
4	16 : 2 : 22	0.016	6.2083	0.9305	1	0.009	Rectangular	Variable
5	16 : 2 : 22	0.017	6.8481	0.9660	1	0.009	Rectangular	Variable
6	16 : 2 : 23	0.018	7.5104	1.0006	1	0.009	Rectangular	Variable
7	16 : 2 : 23	0.019	8.1945	1.0343	1	0.009	Rectangular	Variable
8	16 : 2 : 24	0.020	8.8998	1.0671	1	0.009	Rectangular	Variable
9	16 : 2 : 24	0.021	9.6256	1.0992	1	0.009	Rectangular	Variable
10	16 : 2 : 25	0.022	10.3715	1.1305	1	0.009	Rectangular	Variable
11	16 : 2 : 25	0.023	11.1369	1.1612	1	0.009	Rectangular	Variable
12	16 : 2 : 26	0.025	12.7241	1.2205	1	0.009	Rectangular	Variable
13	16 : 2 : 27	0.026	13.545	1.2493	1	0.009	Rectangular	Variable
14	16 : 2 : 28	0.027	14.3835	1.2775	1	0.009	Rectangular	Variable
15	16 : 2 : 28	0.028	15.2392	1.3052	1	0.009	Rectangular	Variable
16	16 : 2 : 29	0.029	16.1117	1.3323	1	0.009	Rectangular	Variable
17	16 : 2 : 29	0.030	17.0005	1.3590	1	0.009	Rectangular	Variable
18	16 : 2 : 30	0.031	17.9054	1.3851	1	0.009	Rectangular	Variable
19	16 : 2 : 30	0.032	18.8260	1.4108	1	0.009	Rectangular	Variable
20	16 : 2 : 31	0.033	19.7620	1.4361	1	0.009	Rectangular	Variable
21	16 : 2 : 31	0.034	20.7130	1.4609	1	0.009	Rectangular	Variable
22	16 : 2 : 32	0.036	22.6588	1.5094	1	0.009	Rectangular	Variable
23	16 : 2 : 32	0.037	23.6531	1.5330	1	0.009	Rectangular	Variable
24	16 : 2 : 33	0.038	24.6612	1.5563	1	0.009	Rectangular	Variable
25	16 : 2 : 33	0.039	25.6829	1.5792	1	0.009	Rectangular	Variable
26	16 : 2 : 34	0.040	26.7179	1.6018	1	0.009	Rectangular	Variable
27	16 : 2 : 34	0.041	27.7659	1.6240	1	0.009	Rectangular	Variable
28	16 : 2 : 35	0.042	28.8268	1.6459	1	0.009	Rectangular	Variable

29	16 : 2 : 36	0.043	29.9002	1.6675	1	0.009	Rectangular	Variable
30	16 : 2 : 37	0.045	32.0840	1.7098	1	0.009	Rectangular	Variable
31	16 : 2 : 37	0.046	33.1938	1.7305	1	0.009	Rectangular	Variable
32	16 : 2 : 38	0.047	34.3153	1.7509	1	0.009	Rectangular	Variable
33	16 : 2 : 39	0.049	36.5927	1.7909	1	0.009	Rectangular	Variable
34	16 : 2 : 39	0.050	37.7481	1.8105	1	0.009	Rectangular	Variable
35	16 : 2 : 40	0.051	38.9145	1.8298	1	0.009	Rectangular	Variable
36	16 : 2 : 40	0.052	40.0916	1.8489	1	0.009	Rectangular	Variable
37	16 : 2 : 41	0.053	41.2792	1.8678	1	0.009	Rectangular	Variable
38	16 : 2 : 41	0.054	42.4772	1.8864	1	0.009	Rectangular	Variable
39	16 : 2 : 42	0.057	46.1319	1.9408	1	0.009	Rectangular	Variable
40	16 : 2 : 43	0.058	47.3698	1.9586	1	0.009	Rectangular	Variable
41	16 : 2 : 44	0.059	48.6172	1.9761	1	0.009	Rectangular	Variable
42	16 : 2 : 44	0.060	49.8741	1.9934	1	0.009	Rectangular	Variable
43	16 : 2 : 45	0.062	52.4156	2.0274	1	0.009	Rectangular	Variable
44	16 : 2 : 46	0.063	53.6999	2.0441	1	0.009	Rectangular	Variable
45	16 : 2 : 46	0.064	54.9931	2.0606	1	0.009	Rectangular	Variable
46	16 : 2 : 47	0.065	56.2950	2.0769	1	0.009	Rectangular	Variable

4. Datos de una inclinación del 0.5°

Dato	Tiempo	Altura (m)	Caudal (lt/s)	Velocidad (m/s)	Instalación (m)	Coefficiente	Tipo de canal	Tipo de flujo
1	16 : 57 : 19	0.011	2.2755	0.4960	1	0.009	Rectangular	Variable
2	16 : 57 : 20	0.012	2.6227	0.5241	1	0.009	Rectangular	Variable
3	16 : 57 : 21	0.014	3.3706	0.5773	1	0.009	Rectangular	Variable
4	16 : 57 : 21	0.015	3.7701	0.6027	1	0.009	Rectangular	Variable
5	16 : 57 : 22	0.016	4.1858	0.6273	1	0.009	Rectangular	Variable
6	16 : 57 : 22	0.018	5.0636	0.6746	1	0.009	Rectangular	Variable
7	16 : 57 : 23	0.019	5.5248	0.6973	1	0.009	Rectangular	Variable
8	16 : 57 : 23	0.020	6.0004	0.7194	1	0.009	Rectangular	Variable
9	16 : 57 : 24	0.021	6.4898	0.7410	1	0.009	Rectangular	Variable
10	16 : 57 : 24	0.022	6.9927	0.7622	1	0.009	Rectangular	Variable
11	16 : 57 : 25	0.023	7.5087	0.7828	1	0.009	Rectangular	Variable
12	16 : 57 : 25	0.024	8.0375	0.8031	1	0.009	Rectangular	Variable
13	16 : 57 : 26	0.025	8.5788	0.8229	1	0.009	Rectangular	Variable
14	16 : 57 : 26	0.026	9.1323	0.8423	1	0.009	Rectangular	Variable
15	16 : 57 : 27	0.027	9.6976	0.8613	1	0.009	Rectangular	Variable
16	16 : 57 : 27	0.028	10.2740	0.8799	1	0.009	Rectangular	Variable
17	16 : 57 : 28	0.029	10.8620	0.8982	1	0.009	Rectangular	Variable
18	16 : 57 : 29	0.030	11.4620	0.9162	1	0.009	Rectangular	Variable
19	16 : 57 : 29	0.031	12.0721	0.9338	1	0.009	Rectangular	Variable
20	16 : 57 : 30	0.032	12.6928	0.9512	1	0.009	Rectangular	Variable
21	16 : 57 : 30	0.033	13.3239	0.9682	1	0.009	Rectangular	Variable
22	16 : 57 : 31	0.034	13.9650	0.9849	1	0.009	Rectangular	Variable
23	16 : 57 : 31	0.035	14.6161	1.0014	1	0.009	Rectangular	Variable
24	16 : 57 : 32	0.036	15.2770	1.0176	1	0.009	Rectangular	Variable
25	16 : 57 : 32	0.037	15.9473	1.0336	1	0.009	Rectangular	Variable
26	16 : 57 : 33	0.038	16.6270	1.0493	1	0.009	Rectangular	Variable
27	16 : 57 : 33	0.039	17.3158	1.0647	1	0.009	Rectangular	Variable
28	16 : 57 : 34	0.040	18.0136	1.0800	1	0.009	Rectangular	Variable

29	16 : 57 : 34	0.041	18.7202	1.0949	1	0.009	Rectangular	Variable
30	16 : 57 : 35	0.042	19.4355	1.1097	1	0.009	Rectangular	Variable
31	16 : 57 : 36	0.044	20.8913	1.1386	1	0.009	Rectangular	Variable
32	16 : 57 : 36	0.045	21.6315	1.1528	1	0.009	Rectangular	Variable
33	16 : 57 : 37	0.046	22.3798	1.1667	1	0.009	Rectangular	Variable
34	16 : 57 : 37	0.047	23.1360	1.1805	1	0.009	Rectangular	Variable
35	16 : 57 : 38	0.048	23.8999	1.1940	1	0.009	Rectangular	Variable
36	16 : 57 : 38	0.049	24.6714	1.2074	1	0.009	Rectangular	Variable
37	16 : 57 : 39	0.050	25.4504	1.2206	1	0.009	Rectangular	Variable
38	16 : 57 : 39	0.051	26.2368	1.2337	1	0.009	Rectangular	Variable
39	16 : 57 : 40	0.052	27.0304	1.2466	1	0.009	Rectangular	Variable
40	16 : 57 : 40	0.053	27.8311	1.2593	1	0.009	Rectangular	Variable
41	16 : 57 : 41	0.054	28.6388	1.2718	1	0.009	Rectangular	Variable
42	16 : 57 : 41	0.055	29.4534	1.2842	1	0.009	Rectangular	Variable
43	16 : 57 : 42	0.056	30.2748	1.2965	1	0.009	Rectangular	Variable
44	16 : 57 : 42	0.057	31.1029	1.3085	1	0.009	Rectangular	Variable
45	16 : 57 : 43	0.058	31.9375	1.3205	1	0.009	Rectangular	Variable
46	16 : 57 : 44	0.059	32.7785	1.3323	1	0.009	Rectangular	Variable

5. Certificado de originalidad

TRABAJO(WELINTONG GEOVANY PEREZ SALAO)

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE