



## UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

### ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

#### MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES MENCIÓN: GESTIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

*Resolución: RPC-SE-01-No.016-2020*

#### PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

<b>Título del proyecto:</b>
Medidor electrónico de agua residencial con comunicación LPWAN y aplicación IoT.
<b>Línea de Investigación:</b>
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable.
<b>Campo amplio de conocimiento:</b>
Tecnologías de la información y la Comunicación (TIC).
<b>Autor/a:</b>
Angel Fernando Cárdenas Quinapaxi
<b>Tutor/a:</b>
Wilmer Fabian Albarracín Guarochoico

Quito – Ecuador

2022

## APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabian Albarracín Guarochico con C.I: 171334115-2 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: MEDIDOR ELECTRÓNICO DE AGUA RESIDENCIAL CON COMUNICACIÓN LPWAN Y APLICACIÓN IOT.

Elaborado por: Angel Fernando Cárdenas Quinapaxi con C.I: 172189451-5, estudiante de la Maestría: TELECOMUNICACIONES, mención: GESTIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 10 de septiembre de 2022

---

**Firma**

## DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Angel Fernando Cárdenas Quinapaxi con C.I: 172189451-5, autor/a del proyecto de titulación denominado: MEDIDOR ELECTRÓNICO DE AGUA RESIDENCIAL CON COMUNICACIÓN LPWAN Y APLICACIÓN IOT. Previo a la obtención del título de Magister en Telecomunicaciones, mención Gestión de las Telecomunicaciones.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 10 de septiembre de 2022

**Firma**

## Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE .....	iii
Tabla de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de figuras .....	vii
INFORMACIÓN GENERAL .....	1
Contextualización del tema .....	1
Problema de investigación .....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	3
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	4
1.2. Proceso investigativo metodológico.....	5
Metodología de la Investigación. ....	5
Recolección de información .....	6
Análisis y Procesamiento de los datos.....	6
Desarrollo del Sistema .....	6
CAPÍTULO II: PROPUESTA .....	8
2.1. Fundamentos teóricos aplicados.....	8
Introducción.....	8
Definición de IoT .....	8
Dispositivos utilizados en IoT .....	9
Redes de Área amplia y baja potencia (LPWAN) .....	10
Tecnologías LoRa y LoRaWAN .....	11
Medidor de Agua.....	12
Sensores de flujo y caudal de Agua .....	14
Sensores de flujo compatibles para Arduino.....	15
Sensor FS300A.....	15
Sensor YF-S201 .....	16
Sensor FS400A.....	16
Sensor YF-S401 .....	17
Electroválvula.....	18
Tarjeta HELTEC LoRa 32 WiFi BLE 868-915 MHz.....	19
Plataforma IoT.....	21

Aplicación Móvil .....	24
2.2. Descripción de la propuesta .....	25
DISEÑO DEL PROYECTO .....	26
Diseño electrónico .....	26
Diseño de la estructura de protección de los equipos.....	31
Programación del dispositivo .....	32
Aplicación Móvil .....	34
2.3. Validación de la propuesta .....	37
2.4. Matriz de articulación de la propuesta .....	39
IMPLEMENTACIÓN .....	41
Montaje del prototipo.....	41
2.5. Análisis de Resultados .....	44
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	50
ANEXO 1 .....	50
ANEXO 2 .....	51
ANEXO 3 .....	52
ANEXO 4.....	53
ANEXO 5 .....	56
ANEXO 6.....	57

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros LoRaWAN .....	11
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones técnicas de la Electroválvula .....	19
<b>Tabla 3.</b> Descripción del perfil de los validadores .....	37
<b>Tabla 4.</b> Escala de evaluación 1 .....	38
<b>Tabla 5.</b> Escala de evaluación 2 .....	38
<b>Tabla 6.</b> Escala de evaluación 3 .....	38
<b>Tabla 7.</b> Matriz de articulación.....	39
<b>Tabla 8.</b> Cálculo del error absoluto .....	45

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Dispositivos IoT .....	9
<b>Figura 2.</b> Redes LPWAN.....	10
<b>Figura 3.</b> Medidor de Agua Potable .....	12
<b>Figura 4.</b> Medidor Gaoxiang Smart .....	13
<b>Figura 5.</b> Instrumento de medición para domicilios.....	13
<b>Figura 6.</b> Medidor de agua MC100.....	14
<b>Figura 9.</b> Sensor FS300A.....	16
<b>Figura 8.</b> Sensor YF-S201.....	16
<b>Figura 10.</b> Sensor FS400A.....	17
<b>Figura 7.</b> Sensor YF-S401.....	17
<b>Figura 11.</b> Electroválvula solenoide .....	18
<b>Figura 12.</b> Tarjeta HELTEC LoRa 32 WiFi BLE 868-915 MHz.....	20
<b>Figura 13.</b> Características eléctricas tarjeta Heltec LoRa.....	20
<b>Figura 14.</b> Parámetros eléctricos tarjeta Heltec LoRa .....	20
<b>Figura 15.</b> Diagrama de pines tarjeta Heltec LoRa .....	21
<b>Figura 16.</b> Características de Thingier.io .....	22
<b>Figura 17.</b> Pantalla inicio de Thingier.io .....	22
<b>Figura 18.</b> Conectividad de la Plataforma Thingier.io .....	23
<b>Figura 19.</b> Visualización de resultados Thingier.io .....	23
<b>Figura 20.</b> Funcionalidades de RemoteXY .....	24
<b>Figura 21.</b> Diagrama de bloques del proyecto desarrollado.....	26
<b>Figura 22.</b> Software Proteus.....	27
<b>Figura 23.</b> Módulo LoRa .....	27
<b>Figura 24.</b> Representación módulo LoRa en Proteus .....	28
<b>Figura 25.</b> Diseño final del módulo LoRa.....	28
<b>Figura 26.</b> Medición de módulo LoRa.....	29
<b>Figura 27.</b> Diseño final en Proteus del módulo LoRa.....	29
<b>Figura 28.</b> Diseño electrónico del prototipo.....	30
<b>Figura 29.</b> Placa electrónica PCB .....	30
<b>Figura 30.</b> Carcasa de protección .....	31
<b>Figura 31.</b> Disposición de elementos .....	31
<b>Figura 32.</b> Librerías de programación .....	32
<b>Figura 33.</b> Variables de entrada de datos.....	32
<b>Figura 34.</b> Conexión a la placa Heltec LoRa .....	33
<b>Figura 35.</b> Programación - Conexión a RemoteXY.....	33
<b>Figura 36.</b> Configuración de Remote XY.....	34
<b>Figura 37.</b> Parámetros de configuración de RemoteXY .....	35
<b>Figura 38.</b> Aplicación RemoteXY .....	35
<b>Figura 39.</b> Placa electrónica PCB .....	41
<b>Figura 40.</b> Disposición de elementos electrónicos .....	41
<b>Figura 41.</b> Soldadura de los dispositivos electrónicos.....	42
<b>Figura 42.</b> Disposición final de la placa electrónica.....	42
<b>Figura 43.</b> Montaje del prototipo.....	43
<b>Figura 44.</b> Montaje final del prototipo .....	43
<b>Figura 45.</b> Aplicación móvil .....	44
<b>Figura 46.</b> Base de datos - Plataforma IoT.....	44

## INFORMACIÓN GENERAL

### Contextualización del tema

El agua en la actualidad se ha convertido en un elemento esencial en el adelanto sostenible, además es fundamental para el desarrollo socioeconómico del mundo, la energía, la producción de varios alimentos, ecosistemas y para la supervivencia de los seres vivos. Muchas entidades solicitan crear conciencia en la población sobre la disminución del uso inadecuado del agua, a través de estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se pronostica que para 2030 un gran porcentaje de personas se desplazarán en búsqueda de este recurso básico debido a la insuficiente cantidad existente en los lugares que habitan actualmente.

Gran parte de la población ecuatoriana hace un uso inadecuado del agua potable, fugas en las tuberías, dejar la llave abierta; son las principales causas que producen un consumo desmedido del líquido vital, el cual solo se ve reflejado al momento de recibir la factura mensual del consumo emitido por las empresas de agua potable.

El internet de las cosas (IoT), en la actualidad permite que los dispositivos electrónicos adquieran propiedades de interacción y procesamiento con el exterior, pudiendo recibir datos con el fin de formar un ambiente inteligente. Estas funcionalidades hacen del IoT una herramienta esencial que brinda a las personas a desarrollar de mejor manera las diversas actividades que realizan en la cotidianidad.

El Big data, es el punto de inicio del IoT, debido a su alta capacidad de adquisición, almacenamiento, filtración y procesamiento de datos en los servidores presentes en la nube. Su facilidad de conexión con otros dispositivos permite la creación de áreas inteligentes en donde toda la información recopilada y posteriormente procesada den como resultado un servicio óptimo y oportuno para mejorar la calidad de vida de la sociedad. (Munera Sánchez, 2018)

El objetivo fundamental del presente proyecto es brindar y almacenar datos precisos del consumo de agua de forma diaria, semanal o mensual a los usuarios y a las entidades gubernamentales o independientes, además, otorgar un sistema de monitoreo capaz de visualizar las lecturas y el costo total a pagar en tiempo real y de manera remota por parte de los usuario y operadores del sistema de agua potable.

El presente prototipo pretende ser presentado a las juntas de agua potable y municipios, los cuales deberán evaluar su funcionalidad con los entes y operarios encargados de la valoración



del consumo de agua para que el proceso sea adoptado, permitiendo de esta manera evitar el trabajo manual que se realiza en la actualidad.

### **Problema de investigación**

Las empresas municipales y juntas de agua potable en el sector rural y urbano utilizan medidores electromecánicos y recolectan las lecturas de los actuadores de manera manual y rudimentaria, este procedimiento presenta dificultades por el área a cubrir, tiempo de respuesta elevados, tomas de lectura erróneas y alto crecimiento poblacional en los diferentes sectores.

El presente proyecto tiene como finalidad implementar un prototipo que permita obtener los datos del consumo de agua potable en los domicilios en tiempo real y de forma remota, a través del uso de comunicaciones inalámbricas y electrónica digital. La aplicación de redes LPWAN en este proyecto hace que el prototipo transmita la información sin requerir una alta potencia en áreas de extensas y con línea de vista, permitiendo tener un proceso de recopilación de datos eficaz de los hogares seleccionados para la implementación del proyecto.

El principal aporte que brinda este proyecto es crear un prototipo que permita reunir y presentar en indicadores la información recabada en tiempo real y de manera remota, ofreciendo rapidez al momento de la toma de lecturas, lo que genera una disminución en los costos y un mayor desarrollo de la producción. Además, al ser un prototipo automatizado se reduce la mano de obra necesaria.

### **Objetivo general**

Desarrollar un medidor electrónico de agua residencial con comunicación LPWAN y aplicación IoT.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los problemas que se presentan en la instalación de dispositivos IoT.
- Diseñar el hardware y el software del sistema IoT, para la medición del caudal de agua que circula por el medidor.
- Crear un servidor web con base de datos para la recolección de la información emitida por el dispositivo IoT.

- Desarrollar un modelo que permita la transmisión de los parámetros del consumo de agua y la red que envíe la información para su posterior visualización.
- Realizar pruebas de funcionamiento y validación de los resultados del prototipo.

#### **Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:**

Los tiempos de respuesta elevados, la mala continuidad de los procesos, la recolección de lecturas de los actuadores de manera manual y rudimentaria y el área a cubrir; son las problemáticas que permiten el desarrollo de un prototipo, el cual a través de herramientas tecnológicas interconectadas facilitan la gestión y control del agua potable, para de esta manera tener una alta eficiencia de trabajo de los operarios, siendo un procedimiento rápido gracias al empleo del IoT.

Este proyecto facilita la tarea de recolección y visualización de la información del consumo de agua desde cualquier lugar y de manera inmediata, convirtiéndose en una alternativa idónea para mejorar los tiempos de ejecución en la recepción de los valores del consumo. Además, gracias al procesamiento, visualización y almacenamiento de la información en una base de datos permiten tener un sistema automatizado.

Los usuarios obtendrán el consumo diario, mensual y anual de su vivienda en tiempo real, lo cual permitirá tener una referencia del consumo que será comparado con la factura emitida a fin de mes, a su vez poder controlar de manera adecuada el uso del agua para de esta manera tener un ahorro en los gastos de los servicios básicos. Además, gracias a una aplicación web podrán observar desde cualquier punto el consumo.

La utilización de un software y hardware libre permiten la interacción de los distintos bloques del sistema, además, los dispositivos electrónicos y tarjetas inteligentes son de fácil acceso en el mercado ecuatoriano para un eventual soporte técnico. El módulo IoT será implementado en el acceso de la acometida de agua potable y será de dimensiones que no afecten el ornamento de las viviendas.

## CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1. Contextualización general del estado del arte

El Internet, desde sus orígenes ha ocasionado que las personas alrededor del mundo cambien la manera de interactuar y relacionarse entre ellas. El Internet de las cosas gracias a sus características de conectividad en tiempo real y de forma remota, permite a las personas realizar sus actividades cotidianas de una manera distinta.

En relación con las fuentes bibliográficas revisadas, existen diversos trabajos de investigación en el ámbito de sistemas electrónicos de medición y monitoreo de consumo de agua potable, los cuales son citados a continuación:

En el proyecto realizado por Lissy Palacios y Flavio Trelles en el año 2018 titulado como Diseño de un prototipo de sistema SCADA para el monitoreo y control de consumo de agua en viviendas residenciales, presentado en la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, describe la utilización de un módulo SCADA que puede adquirir, gestionar y usar datos, los cuales junto a varios procedimientos permiten reducir tiempos en la adquisición de valores del consumo de agua de los distintos usuarios. (Palacios Ochoa & Trelles Cabrera, 2018)

Fátima Quishpe en su trabajo de cuarto nivel titulado, Diseño de un prototipo de sistemas SCADA para el monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua potable para la EP-EMAPAR, presentado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, describe el funcionamiento de un sistema SCADA que permite el monitoreo de los procesos y la selección de procesos que permitan la gestión y el control en el uso adecuado y eficiente del líquido vital, para evitar el desperdicio y fugas, reducir los costos de operación y mejorar la distribución igualitaria del agua potable. (Quishpe Estrada, 2017)

En el artículo presentado por Mduduzi Jhon Mudumbe en la Internacional *Conference on Industrial Informatics* en el año 2015 titulado, *Smart Water Meter System for User-Centric*, a través del estándar IEEE 802.15.4 integrado en ContikiOS LibCoAP (aplicación de código abierto), crea un módulo inteligente y firme que permita la presentación y el control del consumo de agua utilizando Pandora FMS a través de la web. (Mduduzi & Adnan , 2015)

Michael Freire en su proyecto de tesis presentado en la Universidad de las Américas en el año 2019 titulado, desarrollo de un dispositivo IoT para transmitir los parámetros de perforación en tiempo real utilizando LPWAN en un pozo petrolero, describe el uso de la tecnología LPWAN para el desarrollo de un modelo IoT que facilite la transferencia de la información mientras se perfora un pozo petrolero en tiempo real, los cuales serán procesados y visualizados en paneles

de lectura. El dispositivo almacena la información en una base de datos que estará disponible siempre y cuando tenga una conexión a internet. (Freire Tejada, 2019)

## **1.2. Proceso investigativo metodológico**

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación se necesita utilizar los datos o lecturas reflejados en la planilla del servicio de agua en una residencia; revisión Tesis existentes, recursos tecnológicos, Papers y textos impresos que se relacionan con el tema de investigación. También es necesario contar con el lugar en donde se realizará la instalación del prototipo junto con sus sistemas de monitoreo y la respectiva comparación con un medidor patrón de consumo de agua.

### **Metodología de la Investigación.**

El presente proyecto se efectuó con relación a los conocimientos pertenecientes a una investigación aplicada, en lo concerniente a los problemas del sector productivo y la sociedad. El consumo innecesario del agua potable y la necesidad de tener un control y monitoreo a distancia, permiten el desarrollo de un sistema electrónico IoT en base a un hardware y software libre, es así como se consideró algunos tipos de investigación entre los que se puede citar los siguientes:

Recolectar la información necesaria sobre el diseño de los módulos encargados de adquirir y monitorear los datos en tiempo real y de manera remota, hacen necesario la aplicación de una investigación bibliográfica documentada, en la cual se utiliza libros, documentos de sitios web, revistas tecnológicas y proyectos desarrollados dentro y fuera del país con un enfoque en la aplicación de los diversos sensores de caudal en sistemas IoT, así como también conocer una diversidad de procesos de monitoreo, interfaces HMI, dispositivos electrónicos y su programación.

También se utiliza la investigación de campo, la cual permite obtener las principales funcionalidades del prototipo a ser diseñado, siendo estas, la recolección de la información, procesamiento de los datos y la validación del sistema en funcionamiento.

La investigación experimental es utilizada en el diseño de los circuitos electrónicos necesarios para los diversos elementos del prototipo, así como también en la etapa de pruebas de funcionamiento para realizar la respectiva validación de los sistemas integrados y la comparación con un dispositivo patrón.

### **Recolección de información**

En la etapa de recolección de información se procederá a citar las fuentes bibliográficas consultadas, visita a repositorios universitarios, libros, Papers y publicaciones científicas indexadas. También, se visitó páginas web de las empresas municipales de agua potable y la recolección de las facturas mensuales del consumo de agua de algunos usuarios.

### **Análisis y Procesamiento de los datos**

Para cumplir con el análisis y el respectivo procesamiento de los datos e información recolectada se procede de la siguiente manera:

- Organizar y examinar todos los documentos de la investigación realizada.
- Analizar las posibles soluciones a través de un análisis de resultados.
- Determinar la mejor solución para el respectivo desarrollo del prototipo a implementarse.
- Presentación de la propuesta con su respectiva solución del problema.

### **Desarrollo del Sistema**

Para la implementación del módulo IoT se procede con las siguientes acciones:

- Investigar y documentar los distintos mecanismos de control del consumo de agua potable presentes en el mercado actual.
- Identificar los principales parámetros a considerar en el cálculo del consumo de agua potable en los domicilios.
- Determinar las distintas tecnologías inalámbricas presentes en el diseño e implementación de módulos IoT que permitan tener un control adecuado del consumo de agua en una determinada residencia.
- Ventajas y desventajas de las tecnologías inalámbricas a utilizar.
- Selección de los diferentes dispositivos electrónicos a utilizar para el desarrollo del prototipo a implementarse.
- Ejecutar las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico de medición y su comparación con un elemento de medición patrón
- Calcular el porcentaje de error del prototipo realizado

- Determinar y corregir las fallas de funcionamiento
- Analizar los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO II: PROPUESTA**

### **2.1. Fundamentos teóricos aplicados**

#### **Introducción**

En la actualidad el avance de la tecnología nos permite mejorar y optimizar las actividades que comúnmente se realizan de forma remota, lo que ocasiona que las personas vayan solventando sus necesidades a través del uso de herramientas tecnológicas inteligentes. El IoT es una de las tecnologías que hoy en día se encuentra aplicándose en gran parte del mundo, permitir que los dispositivos se conecten a distancia y tiempo real es la principal característica; la versatilidad y una interfaz amigable con los usuarios hacen que el IoT sea implementado en distintos campos de trabajo.

El crecimiento poblacional y la expansión territorial han hecho que las autoridades de gobierno y empresas independientes realicen esfuerzos para dotar de insumos que aseguren una adecuada calidad de vida de los habitantes. Un servicio básico que se ha convertido en indispensable y al cual la mayoría de la sociedad tiene acceso, es el agua potable. El control y administración de este recurso es responsabilidad de empresas propias de cada sector.

Dentro de las actividades que realizan los administradores, es el control del consumo mensual de cada usuario, siendo una tarea que en la mayoría de los casos es realizada de forma manual lo que puede ocasionar que los datos recolectados se alejen de la realidad. El presente proyecto tiene como finalidad realizar una aplicación IoT que permita visualizar y controlar los datos del consumo mensual de agua potable de cada vivienda en tiempo real, para de esta manera obtener un trabajo rápido y eficaz.

#### **Definición de IoT**

El internet de las cosas permite que los distintos sistemas y dispositivos electrónicos presentes en diversos ambientes alrededor del mundo tengan la capacidad de comunicarse de manera remota e interactuar con otros elementos. Los cuales combinados con las nuevas tecnologías otorgan una alta conectividad permitiendo el intercambio de información valiosa y de gran utilidad para el desarrollo de procesos y aplicaciones que aportan al crecimiento general de la sociedad. (Munera Sanchez, 2018)

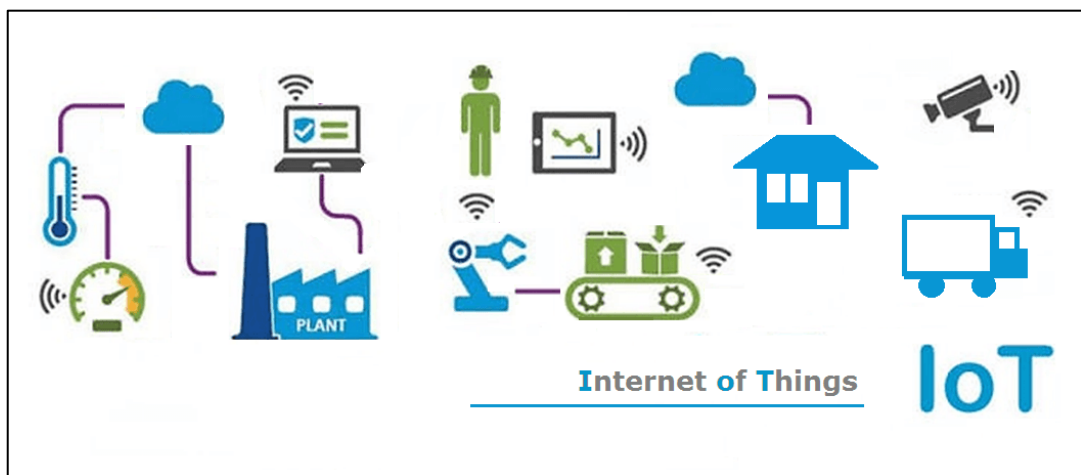
La escalabilidad y convergencia con distintos sistemas operativos hacen que el IoT tome un progreso exponencial desde sus inicios, permitir que los sistemas tengan una conexión y

transmisión de la información desde diferentes lugares y a cualquier hora es uno de los principales objetivos de esta tecnología. De manera técnica se puede decir que el IoT integra una gran variedad de sensores y elementos a través del Internet mediante la utilización de redes alámbricas e inalámbricas, permitiendo que los sistemas sean fuentes de información que contribuyan al desarrollo de negocios, procesos de manufactura, agricultura, medicina, energía y aplicaciones móviles necesarias para la humanidad. (Munera Sanchez, 2018)

### Dispositivos utilizados en IoT

Se pueden distinguir tres tipos de dispositivos utilizados en IoT, los cuales se presentan a continuación:

- Módulos que soportan 8 bits, por lo general son elementos pequeños que no poseen un sistema operativo, como ejemplo tenemos la tarjeta Arduino Uno.
- Sistemas que transmiten 32 bits, son elementos que viene acompañados de un Router pequeño, poseen chips ARM y Atheros. Por ejemplo, podemos mencionar Arduino Yun y Arduino Zero
- Elementos de 32 y 64 bits, dispositivos que poseen un sistema operativo completo capaz de interactuar con Linux, Android y Windows. Además, permite la creación de una interfaz para la comunicación con aplicaciones móviles desde un teléfono inteligente. Por ejemplo, Raspberry Pi Beagle Bone. (Munera Sanchez, 2018) (Electronics, 2021)



**Figura 1.** Dispositivos IoT

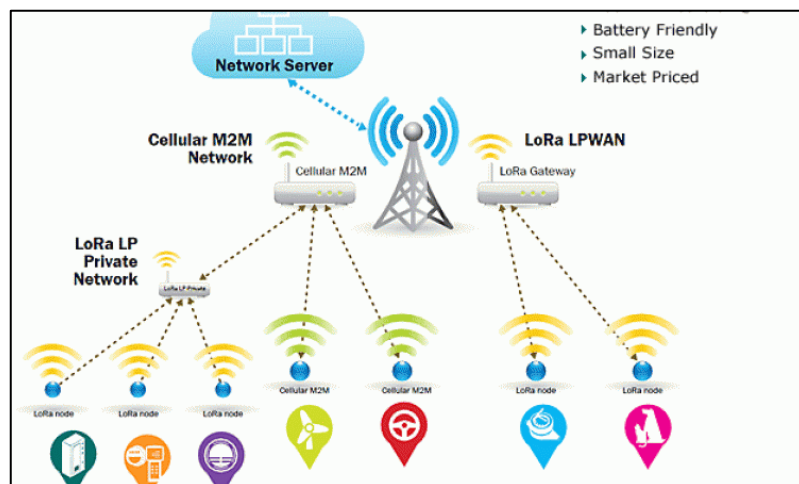
**Fuente:** (Electronics, 2021)



## Redes de Área amplia y baja potencia (LPWAN)

LPWAN, es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la transmisión de información entre un dispositivo y una estación base ubicada a cientos de metros o kilómetros de distancia sin la necesidad de ocupar un consumo alto de energía. (Arduino, 2018) (Bernardi, Sanjay E, & Kenneth , 2017)

Gracias a la transmisión de pequeñas cantidades de información a grandes distancias, las redes LPWAN son idóneas para el uso del Internet de las cosas, su bajo ancho de banda necesario para la transmisión de los datos procesados permite que LPWAN sea una tecnología superior en comparación a Bluetooth. Se espera que para 2023 las sistemas IoT combinados con LPWAN superen los 1500 millones de conexiones emparejando la comunicación M2M, y superándola en el año 2024. Entre los principales elementos que se benefician con la utilización de las redes LPWAN son los sensores, sistemas de teledetección, gestión de redes, hogares inteligentes entre otros. (Pethuru & Anupama C. , 2017)



**Figura 2.** Redes LPWAN

**Fuente:** (Arduino, 2018)

Las tecnologías diferenciadas hacen que LPWAN brinde servicios tanto en el espectro licenciado como en el no licenciado, es así como en el espectro licenciado y de uso exclusivo podemos citar las tecnologías NB-IoT y LTE-M, que son operadas por las grandes multinacionales de Telecomunicaciones. Mientras que LoRaWAN y Sigfox son las tecnologías utilizadas en el espectro no licenciado, permitiendo un alto despliegue gracias a su bajo costo al momento de su implementación.

Entre las aplicaciones que se pueden desarrollar con LPWAN tenemos:

- Aplicaciones necesarias para la implementación de sistemas de comunicación celular en edificios y ciudades inteligentes, sistemas de iluminación y sistemas GPS; para lo cual es necesario realizar una conexión fija con una densidad que no supere el límite permitido.
- Implementación de sistemas agroindustriales inteligentes, detección de gas, son las aplicaciones que se puede citar puesto que se consideran sistemas de alto procesamiento de información y alimentación con baterías independientes. (Arduino, 2018)

### Tecnologías LoRa y LoRaWAN

La tecnología LoRa (Long Range) desarrollada por las empresas Semtech y un aporte de Alianza LoRa permite cubrir redes de área extensa, esto gracias a la arquitectura de red implementada en la parte superior de la capa física de LoRa, es así como surge la tecnología no licenciada LoRaWAN. Los sistemas LoRaWAN permiten la implementación de módulos IoT de manera regional, nacional y global que superan los 10 años de funcionamiento conectados a una batería, además poseen funcionalidades específicas como son la movilidad, localización y una comunicación bidireccional para el control y procesamiento de la información. (Yubero, 2020)

La transmisión de pequeñas cantidades de información desde grandes distancias con un ancho de banda aceptable permite que el tráfico de los datos sea iniciado desde el elemento base o a su vez desde una estación remota. (Galinina O, 2018) (Yubero, 2020)

**Tabla 1.** *Parámetros LoRaWAN*

DR	Configuración	Velocidad física de bits (bit / s)	Sensibilidad de receptor (dBm)	Distancia (Km)
0	SF12/125 kHz	250	-137	0-2
1	SF11/125 kHz	440	-134.5	2-4
2	SF10/125 kHz	980	-132	4-6
3	SF9/125 kHz	1760	-129	6-8
4	SF8/125 kHz	3125	-126	8-10
5	SF7/125 kHz	5470	-123	10+

En la tabla 1, se observa la velocidad de transmisión, la sensibilidad del receptor y la distancia que cubre la tecnología LoRaWAN en las distintas configuraciones de sus canales de comunicación.

### **Medidor de Agua**

Es la herramienta necesaria para el registro y control de la cantidad de agua que circula a través de un conducto, este artefacto ofrece el suministro de agua a las distintas residencias, empresas y sistemas agroindustriales presentes en una determinada ciudad, además es indispensable en la etapa de facturación del consumo del servicio básico. Mes a mes las empresas reguladoras recopilan los datos que este instrumento presenta, realizando una diferencia entre la lectura anterior y la actual para determinar el costo a pagar por parte de los usuarios. (Laboratorio, 2020)

Un medidor de agua posee dos partes principales, una manecilla y dispositivo contador, los cuales combinados permiten el registrar el consumo de agua en litros por metro cúbico. En la figura 3 se observa la disposición física de un medidor de agua, posee una numeración de color rojo y negro, siendo los números rojos los necesarios para la etapa de facturación.



**Figura 3.** Medidor de Agua Potable

**Fuente:** (Laboratorio, 2020)

Dentro de los tipos de medidores de agua existientemente en el mercado ecuatoriano podemos citar los siguientes:

### **Medidor de agua Gaoxiang prepago Smart**

El medidor Gaoxiang, presentado en la figura 4, está compuesto por un módulo microchip, válvulas de control automático, una pantalla LCD que permite la visualización del consumo de agua y lector de tarjetas IC y RF que permiten tener un sistema de gestión de contabilidad del servicio. (China, 2020)



**Figura 4.** Medidor Gaoxiang Smart

**Fuente:** (China, 2020)

### **Medidor de agua para domicilios**

Los medidores de agua potable utilizados en la mayoría de los hogares permiten medir, controlar el consumo del servicio a través de la memorización de los valores del volumen de agua que atraviesa por la tubería de conexión. Su estructura puede ser observada en la figura 5.



**Figura 5.** Instrumento de medición para domicilios

**Fuente:** (IQSAC, 2020)

### **Medidor de agua MC100**

Este medidor posee un accesorio electrónico que permite la transformación a un medidor de agua electrónico con las funciones de control y monitoreo a distancia, el lector del medidor admite una conexión inalámbrica que se puede comunicar a través de un puerto USB a una computadora. El fácil control, la recopilación y el procesamiento de los datos son las principales

ventajas que el software instalado posee, accediendo a tener un enfoque adecuado de los distintos parámetros que actúan en el proceso de medición del consumo de agua. En la figura 6 se observa la disposición física del medidor. (MICRONTN, 2018)



**Figura 6.** Medidor de agua MC100

**Fuente:** (MICRONTN, 2018)

### **Sensores de flujo y caudal de Agua**

El sensor de flujo es un instrumento instalado en una tubería de agua que detecta cuando un líquido está circulando a través de él, pero a su vez no permite la obtención de una medida del flujo que transita, para conocer la medida es necesario la instalación de un caudalímetro. El caudal es el valor del fluido que circula en una unidad de tiempo, el caudal que atraviesa un determinado conducto puede ser determinado mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Q = A * \bar{v}$$

Donde:

$Q$ , caudal expresado en metros cúbicos por segundo.

$A$ , área a cubrir expresada en metros cuadrados

$\bar{v}$ , velocidad lineal promedio expresada en metros por segundo.

Si un fluido circula con una velocidad uniforme ( $V$ ) a través una determinada área ( $A$ ), y forman una perpendicular entre si con un ángulo ( $\theta$ ), el flujo se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\phi = A * V \cos \theta$$

Al momento de formar una perpendicular, el valor  $\theta = 0$ , es decir que el  $\cos \theta = 1$ , por lo tanto, el valor del flujo se calcula a través de la siguiente formula:

$$\phi = A * V$$

Si se tiene que el área sujeta a prueba no es plana y la velocidad del fluido no sea uniforme, es necesario el uso de la siguiente integral para el cálculo del flujo:

$$\phi = \iint v S dS$$

Siendo  $dS$  el vector superficie, que se calcula de la siguiente manera:

$$dS = \mathbf{n} dA$$

Siendo,  $dA$  una unidad diferencial del área, mientras que  $\mathbf{n}$  refleja el valor del vector resultante a la superficie normal.

Dado una superficie ( $S$ ) que posee un valor de volumen ( $V$ ), mediante la aplicación de un teorema de divergencia, se puede determinar que el flujo que circula por una determinada área es equivalente a la integral divergente de la velocidad ( $v$ ) en dicho volumen ( $V$ ).

$$\iint v * S dS = \iiint (\nabla * v) dV$$

Si se utiliza el caudal en ciencias de la ingeniería, se puede definir al caudal como la cantidad de fluido que atraviesa un sistema en un determinado periodo de tiempo expresada en unidades de volumen por tiempo.

## **Sensores de flujo compatibles para Arduino**

### **Sensor FS300A**

El dispositivo sensor FS300A posee un diámetro de tubería correspondiente a  $\frac{3}{4}$ ", posee un caudalímetro electrónico tipo turbina, es de gran utilidad para obtener la medición del caudal de agua, combustibles, bebidas y líquido de mediana viscosidad. Permite la conexión con sistemas Raspberry Pi, sistemas PLC y varios módulos Arduino, observar figura 7. (MECHATRONICS, 2021)



**Figura 7.** Sensor FS300A

**Fuente:** (MECHATRONICS, 2021)

### Sensor YF-S201

Dispositivo construido sobre una base de plástico duradero, permite la conexión de tuberías con un diámetro de  $\frac{1}{2}$ ". Está constituido por un elemento rotor, un molino de viento ligado a un imán y un elemento magnético de efecto Hall. Gracias al efecto de cada una de las vueltas del molino de viento se tiene impulsos de salida de valor proporcional a la velocidad de flujo, el sensor se presenta de manera física en la figura 8. (MECHATRONICS, 2021)



**Figura 7.** Sensor YF-S201

**Fuente:** (MECHATRONICS, 2021)

### Sensor FS400A

El módulo FS400A es insertado en una tubería de 1" de diámetro por donde circula agua o líquidos, con el fin de determinar el valor del caudal o volumen. En la salida, el sensor envía pulsos de manera proporcional a la frecuencia del flujo del líquido, se procede al registro y

conteo de los pulsos enviados para de esta manera determinar el valor del volumen del líquido que circula, así como también la cantidad del caudal en un determinado intervalo de tiempo. El sensor es mostrado en la figura 9. (MECHATRONICS, 2021)

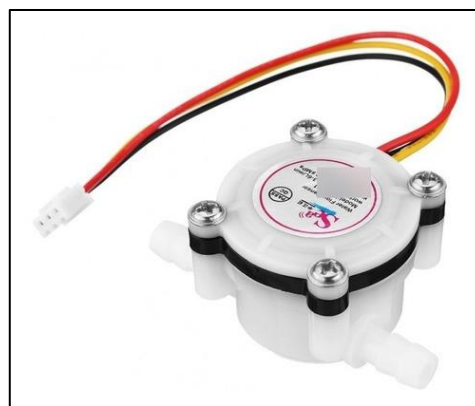


**Figura 9.** Sensor FS400A

**Fuente:** (MECHATRONICS, 2021)

### **Sensor YF-S401**

El módulo YF-S401 permite obtener la medición del flujo de caudal que circula a través de su tubería, está realizado en base a una aleación de plástico duradero, sus partes constituyentes el cuerpo del elemento, un rotor y el dispositivo de efecto Hall. La circulación del fluido permite que el rotor magnético gire, las rotaciones varían de acuerdo con la velocidad de flujo del líquido; las dos acciones antes mencionadas hacen que el dispositivo de efecto Hall entregue una señal digital en la salida del módulo, la presentación física del sensor se observa en la figura 10. (e-LABSHOP, 2020)



**Figura 10.** Sensor YF-S401

**Fuente:** (e-LABSHOP, 2020)



## **Electroválvula**

Las electroválvulas son módulos electromecánicos que son utilizados para el control de la cantidad de flujo que circulan a través de un conductor, son aplicadas en distintos ámbitos industriales de manera puntual en los procesos que utilizan materiales líquidos en sus procesos de manufactura, también se las utiliza en los procesos de sistemas de riego.

La característica principal de este elemento es la facilidad de adaptación a través de controladores especializados necesarios para la automatización de los procesos industriales y domésticos. También son conocidas como válvulas solenoides, puesto que entran en funcionamiento a través de la activación de una bobina solenoide, que es de forma cilíndrica y que posee un conductor enrollado el cual produce un campo magnético, en la figura 11 se presenta de manera física la electroválvula solenoide. (TECmikro, 2021)



**Figura 8.** Electroválvula solenoide

**Fuente:** Autor

## **Funcionamiento**

Para que el dispositivo tenga un flujo de circulación, el elemento solenoide envía una señal eléctrica a la electroválvula, permitiendo que la bobina interna permanezca imantada y el émbolo sea levantado, posteriormente los líquidos circulan por la válvula hasta llegar a la cámara superior.

Las acciones antes mencionadas permiten la entrada y salida de los líquidos con una adecuada presión, de acuerdo con las señales eléctricas enviadas por le solenoide. (TECmikro, 2021)

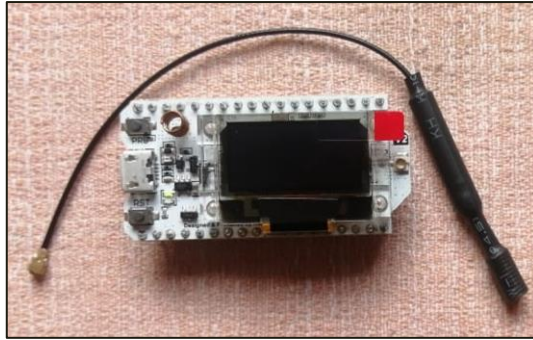
**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de la Electroválvula

<b>Diámetro de entrada y salida</b>	1/2"
<b>Flujo</b>	5 litros/min a 0.2 MPa (29 psi)
<b>Estado</b>	NC Normalmente cerrado
<b>Temperatura de trabajo</b>	hasta 90 grados Celsius
<b>Presión de trabajo</b>	0.02 MPa-0.8 MPa (3-116 psi)
<b>Dimensiones</b>	90x50x60mm (LxWxH)
<b>Voltaje</b>	12VCD / 110VCA / 220VCA
<b>Corriente</b>	250mA@12V / 30mA@110V / 15mA@220V
<b>Vida útil</b>	Mas de 1.000.000 de ciclos
<b>Material del cuerpo de la válvula</b>	PP Plástico
<b>Material de la bobina</b>	Bronce
<b>Aplicación</b>	control de flujo de agua/aire

### **Tarjeta HELTEC LoRa 32 WiFi BLE 868-915 MHz**

WiFi LoRa 32 es una placa de desarrollo IoT clásica diseñada y producida por *Heltec Automation (TM)*, es un producto altamente integrado basado en ESP32 + SX127x, posee funciones de conectividad WiFi, BLE, LoRa, también sistema de administración de batería Li-Po, para la visualización de los datos posee unja pantalla OLED de 0,96". Este dispositivo es utilizado en las aplicaciones de: ciudades inteligentes, granjas inteligentes, hogares inteligentes y fabricantes de IoT.

La antena tiene ganancia de 3dBi, potencia máxima de 10W y la impedancia de entrada es de 50  $\Omega$ , USB CP2102 a chip serial y se puede utilizar con el entorno de desarrollo Arduino. La principal característica es la gestión de carga y descarga de la batería incorporada, además de la protección ante sobrecargas, cantidad de energía de la fuente de alimentación y el sistema de automatización capaz de permitir el cambio del régimen de baterías o una interfaz USB. En la figura 12 se observa el dispositivo HELTEC. (AUTOMATION, 2021)



**Figura 9.** Tarjeta HELTEC LoRa 32 WiFi BLE 868-915 MHz

Fuente: Autor

En la figura 13 se observa las características eléctricas de la tarjeta HELTEC LoRa.

Electrical Features	Condition	Minimum	Typica	Maximum
Power Supply	USB powered ( $\geq 500\text{mA}$ )	4.7V	5V	6V
	Lithium powered ( $\geq 250\text{mA}$ )	3.3V	3.7V	4.2V
	3.3V (pin) powered ( $\geq 150\text{mA}$ )	2.7V	3.3V	3.5V
	5V (pin) powered ( $\geq 500\text{mA}$ )	4.7V	5V	6V
Power Consumption(mA)	WiFi Scan		115mA	
	WiFi AP		135mA	
	LoRa 10dB output		50mA	
	LoRa 12dB output		60mA	
	LoRa 15dB output		110mA	
	LoRa 20dB output		130mA	
Output	3.3V pin output			500mA
	5V pin output (USB powered only)		Equal to the input current	
	External device power control (Vext 3.3V)			350mA

**Figura 10.** Características eléctricas tarjeta Heltec LoRa

Fuente: (AUTOMATION, 2021)

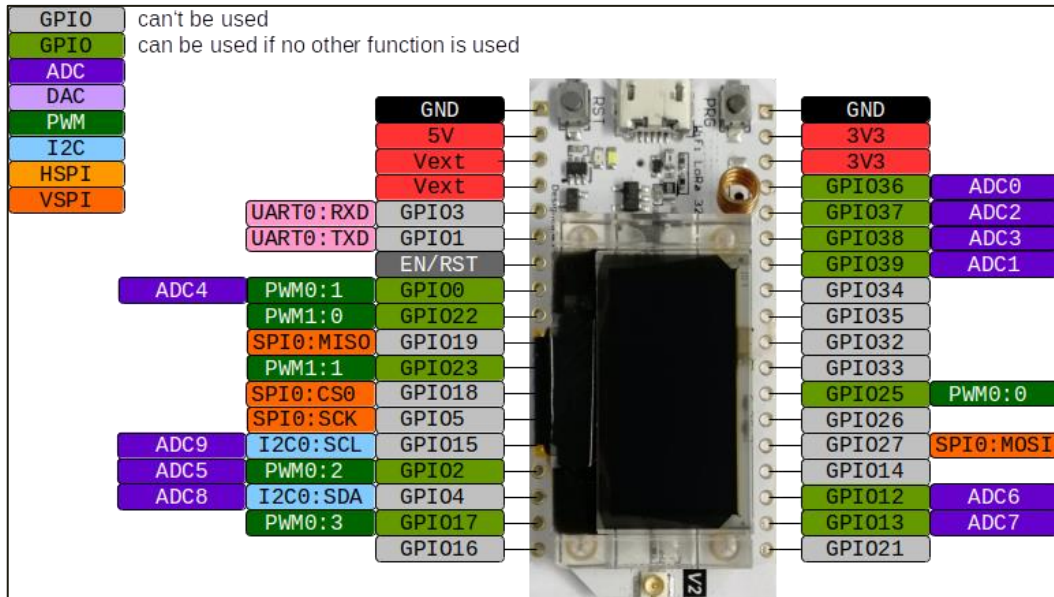
En la figura 14 se presenta los parámetros eléctricos de la tarjeta HELTEC LoRa.

Resource	Parameter
Master Chip	ESP32(240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS)
Wireless Communication	Wi-Fi
	Bluetooth
LoRa Chip	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
LoRaWAN Area	Node-to-node communication or LoRaWAN
	hardware version
	Support frequency
	LF
	HF
	EU433
	CN470
IN865	
EU868	
US915	
AU915	
KR920	
AS923	
LoRa Maximum Output Power	19dB $\pm$ 1dB
Hardware Resource	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1; 12-bits ADC input x 18; 8-bits DAC output x 2; GPIO x 22, GPI x 6
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH
RAM	520KB internal SRAM
Interface	Micro USB x 1; LoRa Antenna interface(IPEX) x 1; 18 x 2.54 pin x 2
Maximum Size (Including protruding parts such as switch and battery compartment)	51 x 25.5 x 10.6 mm
USB to Serial Chip	CP2102
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)
Solar Energy	x
Battery Detection Circuit	$\checkmark$
External Device Power Control (Vext)	$\checkmark$
Low Power	Deep Sleep 800 $\mu$ A
Display Size	0.96-inch OLED
Working Temperature	-40~80 $^{\circ}$ C

**Figura 11.** Parámetros eléctricos tarjeta Heltec LoRa

Fuente: (AUTOMATION, 2021)

En la figura 15 se presenta el diagrama de pines de la tarjeta HELTEC LoRa 32 WiFi BLE 868-915 MHz.



**Figura 12.** Diagrama de pines tarjeta Heltec LoRa

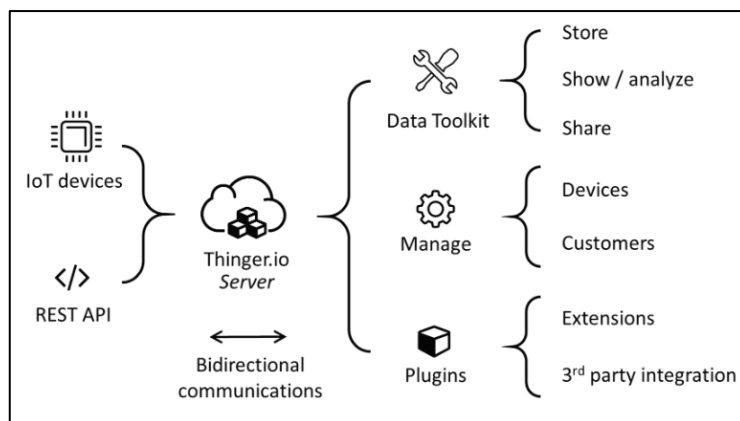
**Fuente:** (AUTOMATION, 2021)

### Plataforma IoT

La plataforma para la ejecución y recepción de la información es Thingier.io. Thingier.io es una plataforma IoT en la nube que posee todas las herramientas aplicables para la creación de prototipos, administración y escalamiento de productos interconectados de manera fácil y sencilla. (Thingier.io, 2021)

### Características.

Thingier.io está conformado por dos productos principales, un Backend que es el servidor IoT real y un Frontend basado en la web que permite que los trabajos realizados pueden ser usados desde una PC hasta en un teléfono inteligente. En la figura 16 se puede apreciar las principales características de la plataforma IoT. (Thingier.io, 2021)



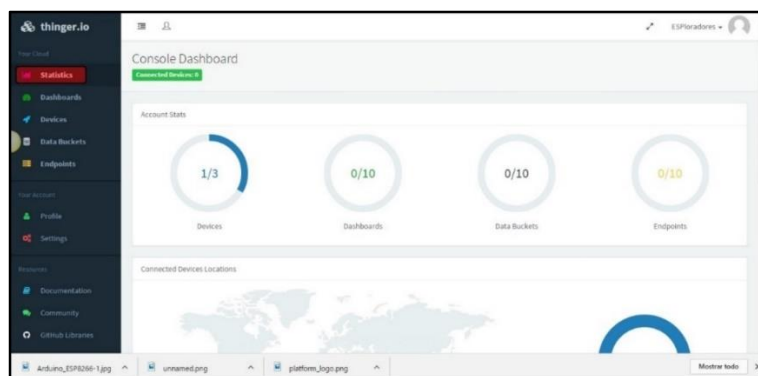
**Figura 13.** Características de Thinger.io

**Fuente:** (Thinger.io, 2021)

La plataforma es totalmente compatible con cualquier dispositivo, crea comunicaciones bidireccionales con dispositivos Linux, Arduino, Raspberry Pi, MQTT, además ofrece la interconexión con nuevas tecnologías como Sixfox, LoRaWAN entre otras API de internet.

Thinger.io permite almacenar los datos IoT de forma eficiente, asequible y escalable en tiempo real. Presenta los datos en múltiples widgets, es decir, series de tiempo, gráficos de anillos, indicadores y representaciones graficas personalizadas. Además, permite a los usuarios personalizar logotipos, colores y dominios web que deseen.

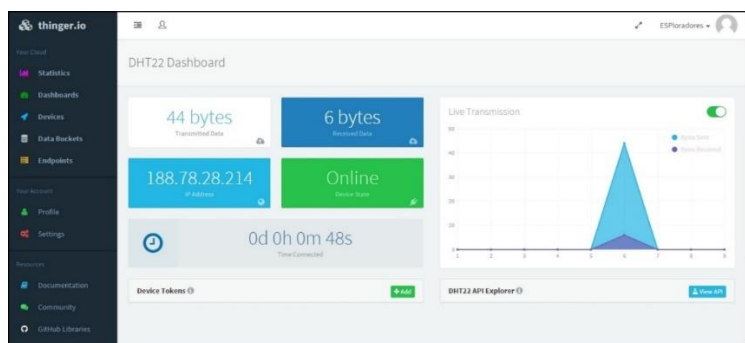
Para empezar a trabajar en la plataforma IoT se ingresa los datos de usuario y contraseña en el Sign up, confirmamos la contraseña, recibimos un correo de confirmación y se puede empezar a trabajar en ella. En la figura 17 se presenta la interfaz gráfica de inicio de Thinger.io. (Thinger.io, 2021)



**Figura 14.** Pantalla inicio de Thinger.io

**Fuente:** (Thinger.io, 2021)

El siguiente paso es desarrollar la conexión y almacenamiento de datos a través de la configuración de los paneles de control, base de datos y presentación de la información de acuerdo con la información enviada por los distintos sensores y dispositivos conectados por el usuario. En la figura 18 se aprecia la pantalla de Thinger.io con la visualización de la información recibida. (Thinger.io, 2021)



**Figura 15.** Conectividad de la Plataforma Thinger.io

**Fuente:** (Thinger.io, 2021)

Thinger.io ofrece a los usuarios la opción de monitorización de datos, la cual se presenta a través de una pantalla grafica donde se visualizan los datos seleccionados, así como también el periodo de tiempo, gráficos de barra y pasteles, localización del dispositivo, reloj y los valores presentados en texto y numéricos. En la figura 19 se presenta la pantalla grafica de resultados que thinger.io posee. (Thinger.io, 2021)



**Figura 16.** Visualización de resultados Thinger.io

**Fuente:** (Thinger.io, 2021)

## Aplicación Móvil

La plataforma utilizada para el desarrollo de la App Móvil es RemoteXY, permite la creación y utilización de una interfaz gráfica de usuario móvil que facilita el control de las placas controladoras desde un teléfono inteligente. El sistema posee dos elementos importantes: (RemoteXY, 2021)

- Un editor de interfaces, presente en el sitio web remotoxy.com.
- Una aplicación móvil RemoteXY que permite la conexión con el dispositivo móvil, descarga gratuita.

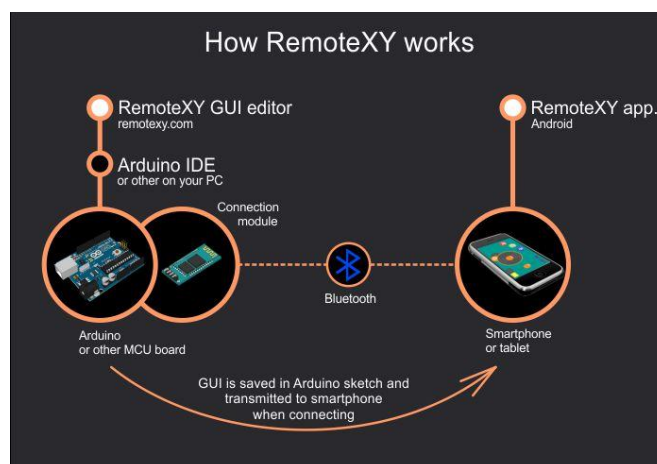
Las principales características que posee esta plataforma son:

- La estructura de la interfaz se almacena en el controlador.
- Una aplicación móvil puede administrar todos sus dispositivos, el número de dispositivos conectados no está limitado.

La plataforma es compatible con placas Arduino UNO, MEGA, Nano, Micro, tableros ESP8266, ESP32, ChipKIT UNO32, ChipKIT Uc32, ChipKIT Max32. (RemoteXY, 2021)

Los módulos de conexión soportados son: Bluetooth HC-05, HC-06, Bluetooth BLHM-10, ESP8266 como modem, EthernetW5100.

RemoteXY permite conectarse al Internet sobre servidor en la nube, cliente WiFi y punto de acceso, Bluetooth, Ethernet por IP o URL, USB OTG. En la figura 20 se presenta las funcionalidades de Remote XY. (RemoteXY, 2021)



**Figura 17.** Funcionalidades de RemoteXY

**Fuente:** (RemoteXY, 2021)

RemoteXY desarrolla cualquier interfaz gráfica de gestión, utilizando elementos de control, visualización y decoración de la interfaz gracias al editor de línea presente en el sitio web de la plataforma.

El código fuente suministra una estructura que permite la interacción entre el programa, la pantalla y los controles administrados. (RemoteXY, 2021)

## **2.2. Descripción de la propuesta**

En la mayoría de los municipios y juntas de agua potable, los procedimientos de medición y gestión del consumo de agua potable son realizados de manera manual a través de la visita de los operarios a las diferentes residencias que pertenecen a una red; las lecturas tomadas son comparadas con un calendario de medición presente en su edificio matriz. Realizan la visita a cada domicilio de los usuarios, acceden al medidor de agua para tomar la lectura de los valores, este proceso es realizado de manera periódica en un intervalo de 30 días, dichas lecturas son procesadas para el posterior análisis y emisión de la factura mensual.

El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar un prototipo electrónico con aplicación IoT que permita la toma de lecturas del consumo de agua potable de manera precisa y en tiempo real, así como también la capacidad de que los valores del consumo puedan ser visualizados tanto por los usuarios en una pantalla LCD como por los operadores de las empresas de Agua Potable a través del uso de una base datos que servirá para obtener el valor monetario a cancelar en la factura mensual del servicio básico.

### **a. Estructura general**

Los requisitos para desarrollar un sistema IoT encargado de monitorear y controlar el consumo de agua potable son los siguientes:

- Gestionar y monitorear el consumo del líquido vital en tiempo real.
- Almacenar los valores de consumo de agua en una base de datos.
- Visualizar los valores del consumo de agua potable en una pantalla LCD y mediante una aplicación web.
- Cálculo y visualización del consumo mensual del servicio básico.



En la figura 21 se puede apreciar un diagrama de bloques que representa las etapas en las que se divide el proyecto. En la primera etapa, el proceso de recolección de datos lo lleva a cabo el sensor de flujo de agua, el cual envía pulsos eléctricos que se utilizan para procesar información y almacenarla en una base de datos, la segunda etapa consiste en la utilización de un servidor local que trabaja con una base de datos la misma que de forma inalámbrica se enlaza con la tercera etapa que es la encargada de permitir la visualización de los datos en tiempo real mediante el uso de una pantalla LCD en la que se refleja la cantidad de agua utilizada en metros cúbicos y su valor monetario. Todos los datos recolectados serán almacenados en una base de datos y serán actualizados de forma periódica.

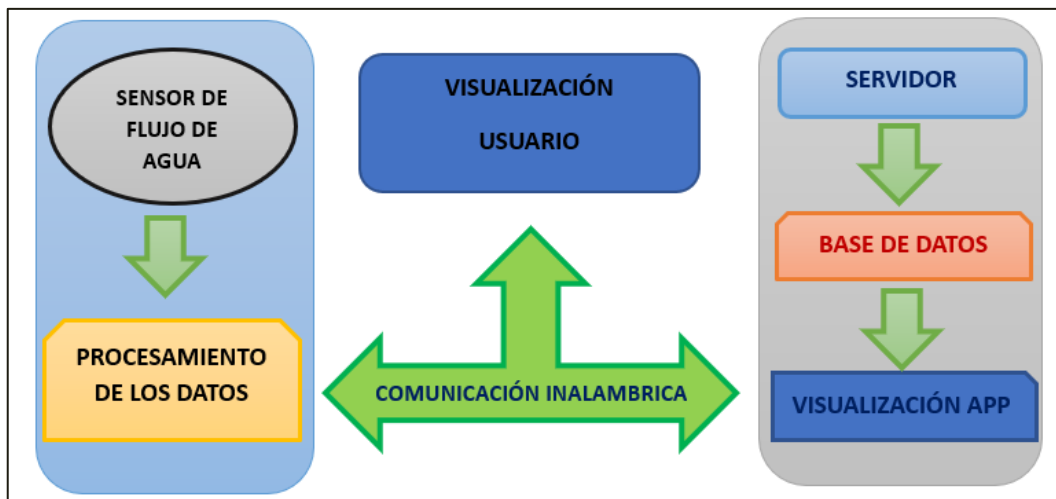


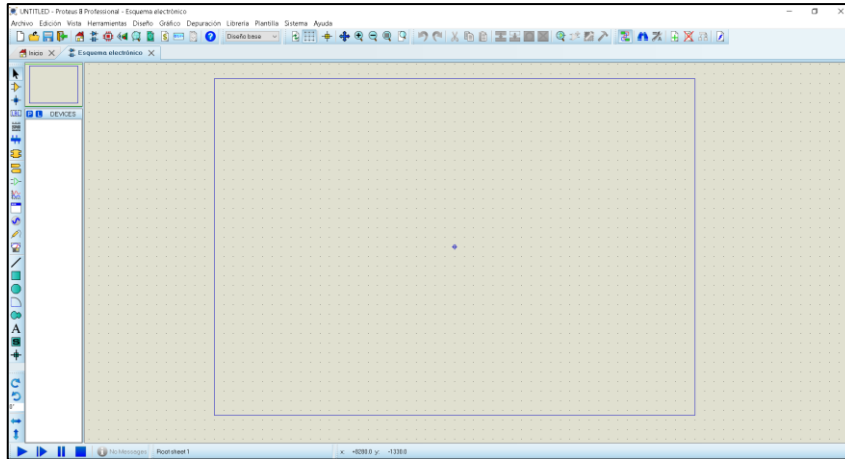
Figura 18. Diagrama de bloques del proyecto desarrollado

Fuente: Autor

## DISEÑO DEL PROYECTO

### Diseño electrónico

Para el diseño electrónico y la construcción de los circuitos impresos (placas PCB), se utiliza el software Proteus – Ares con licencian educativa, gracias a los aplicativos que posee este software se realiza el diseño esquemático de los circuitos para de esta manera tener una representación en 3D de la distribución de manera física de los dispositivos electrónicos a utilizar en el desarrollo del proyecto. En la figura 22 se observa la pantalla principal del software Proteus.

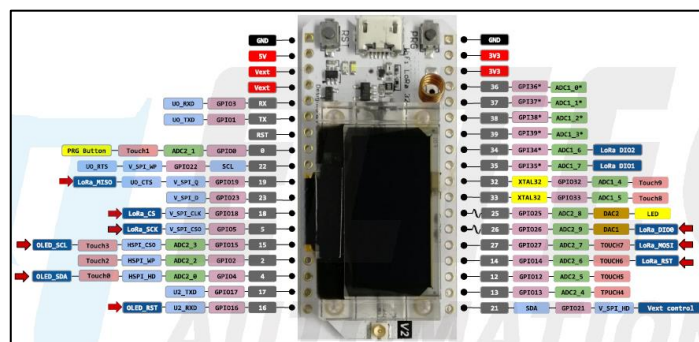


**Figura 19.** Software Proteus

**Fuente:** Autor

Sin embargo, Proteus no posee la interfaz gráfica necesaria para el módulo LoRa 32 WiFi, tarjeta utilizada para la implementación del prototipo, por lo cual es necesario crear y dimensionar el cuerpo del positivo a través de sus mediadas reales tomadas del datasheet.

Para el proceso de creación del cuerpo del dispositivo electrónico, es necesario identificar la disposición de los pines, el módulo LoRa 32 Heltec está constituido por 36 pines, tal como se aprecia en la figura 23.

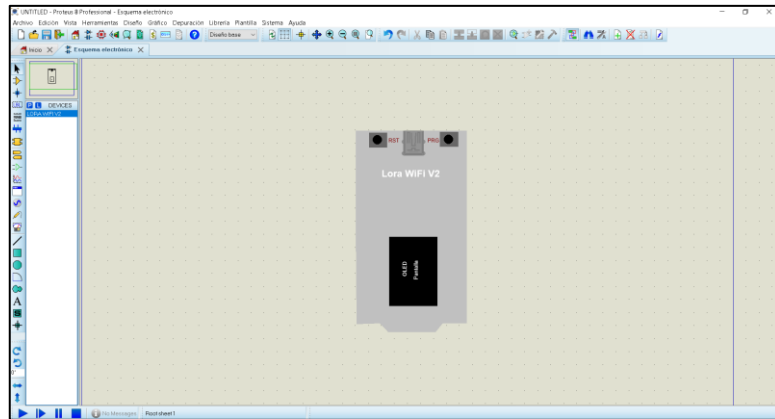


**Figura 20.** Módulo LoRa

**Fuente:** (AUTOMATION, 2021)

Una vez reconocida la distribución de los pines en el módulo LoRa 32 Heltec se procede a generar una grafica visual similar que se parezca a la realidad a través de la utilización de rectángulos de diferente tamaño y colores, con este proceso se tiene una mejor identificación de los pines a utilizar para la conexión de la fuente de alimentación y los sensores adicionales.

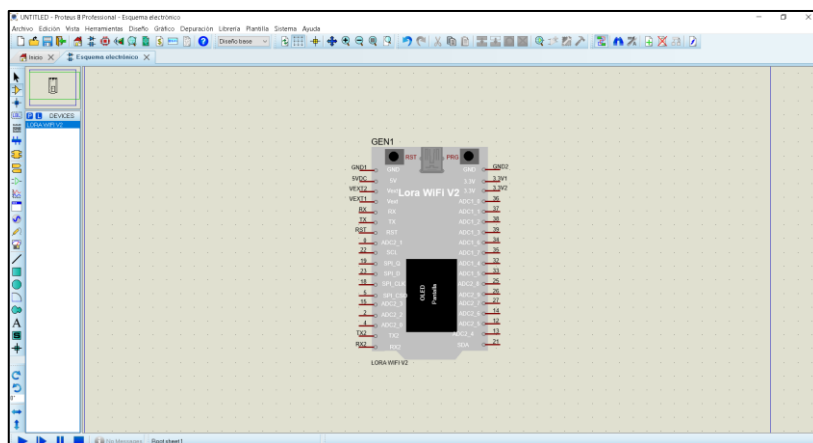
En la figura 24 se observa la representación final del módulo LoRa 32 con sus pulsadores de Reset y programación, así como también su pantalla de visualización.



**Figura 21.** Representación módulo LoRa en Proteus

**Fuente:** Autor

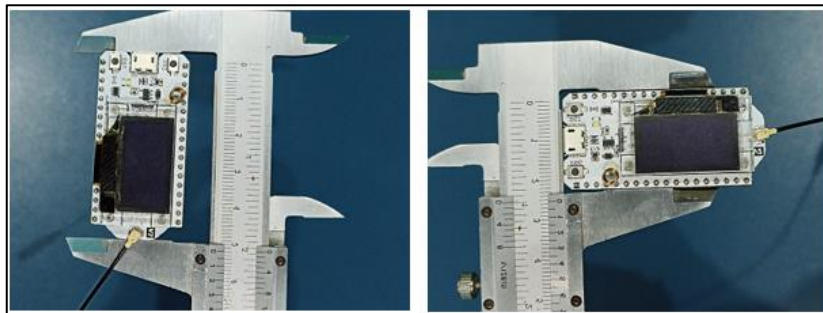
De acuerdo con el esquema presentado por el fabricante, es necesario ubicar 36 pines sobre el dibujo presentado en la figura 24. Se recomienda configurar de manera correcta los pines del dispositivo, nombres, numeración y tipo de pin (entrada, salida, pasivo, Bidireccional). Como parte final del diseño del módulo LoRa se procede a ubicar las etiquetas en cada uno de los pines para de esta manera tener una mejor distribución al momento de realizar las conexiones de los sensores, para la creación del elemento electrónico se utiliza el comando *Make Device*. En la figura 25 se observa el diseño esquemático final del módulo LoRa 32 Heltec.



**Figura 22.** Diseño final del módulo LoRa

**Fuente:** Autor

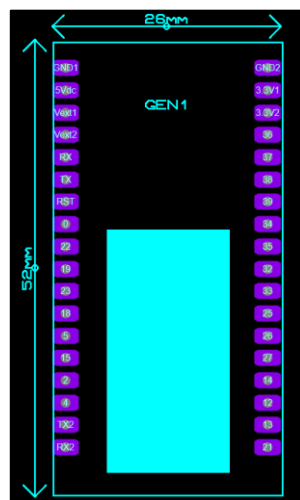
Una vez realizado el boceto del módulo se continua con la representación física del módulo LoRa para el posterior diseño de la placa PCB. Con la utilización de un calibrador se procede a obtener las dimensiones tanto de ancho como de largo, siendo estas 26x52 cm. El proceso de medición se observa en la figura 26.



**Figura 23.** Medición de módulo LoRa

**Fuente:** Autor

Con las medidas físicas obtenidas se procede a dibujar el dispositivo electrónico en Proteus, dentro de un rectángulo de 26 x 52 cm se colocan 36 pads separados entre si con una medida de 2.5 mm. Además, se coloca un rectángulo en la ubicación de la pantalla de visualización para de esta manera tener una orientación correcta del módulo cuando se contine con el diseño de las PCB. En la figura 27 se observa la representación física con las medidas reales del módulo LoRa.



**Figura 24.** Diseño final en Proteus del módulo LoRa

**Fuente:** Autor

En referencia a los dispositivos electrónicos seleccionados para el desarrollo del proyecto, se procede a realizar el esquema completo de simulación en el software Proteus, tal como se aprecia en la figura 28.

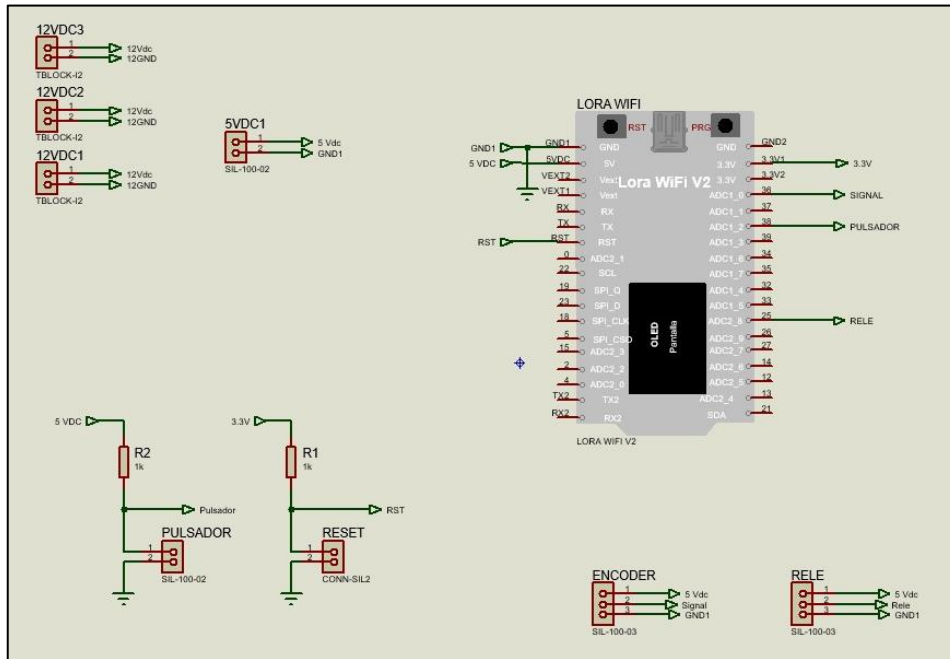


Figura 25. Diseño electrónico del prototipo

Fuente: Autor

Para tener una correcta distribución y ubicación de los dispositivos electrónicos del prototipo se procede al diseño de la placa electrónica PCB, como se observa en la figura 29.

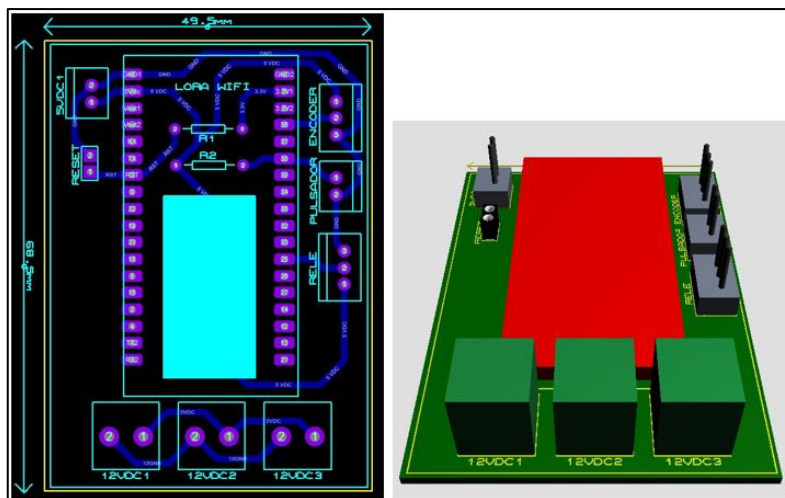
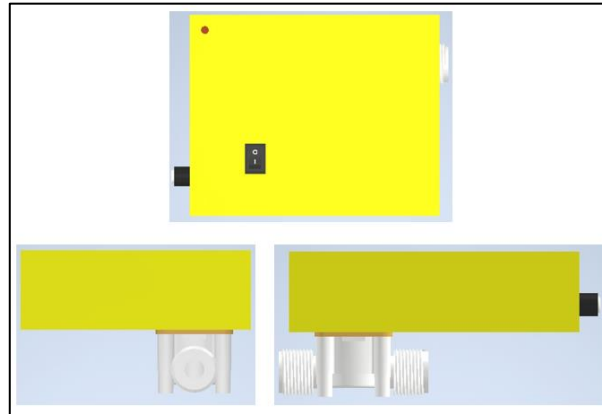


Figura 26. Placa electrónica PCB

Fuente: Autor

### Diseño de la estructura de protección de los equipos.

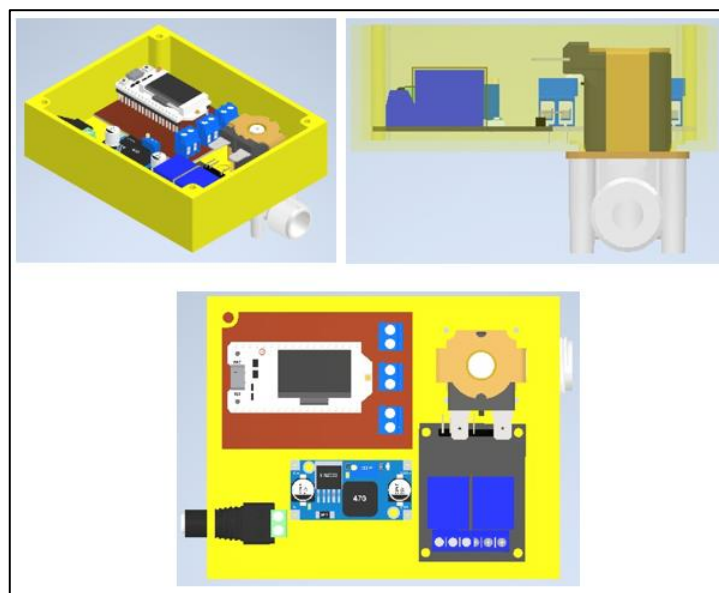
Para la ubicación de la placa PCB y los conectores de los sensores del prototipo se desarrolló una estructura plástica que servirá como alojamiento del circuito electrónico y permitirá tener una protección y una correcta visualización de los datos obtenidos del consumo de agua potable, en la figura 30 se observa el diseño en 3D.



**Figura 27.** Carcasa de protección

Fuente: Autor

En la figura 31 se observa la ubicación de la placa PCB y la distribución de los dispositivos funcionales del prototipo.



**Figura 28.** Disposición de elementos

Fuente: Autor

## Programación del dispositivo

Para iniciar con la fase de programación del prototipo es necesario la declaración de las librerías necesarias para la conexión de los distintos dispositivos, en la figura 32 se aprecia las librerías de la tarjeta ESP LoRa, la conexión a la plataforma Thingier.io y la conectividad de la aplicación RemoteXY.

```
// RemoteXY select connection mode and include library
#define REMOTEXY_MODE__ESP32CORE_WIFI_CLOUD
#include "heltec.h"
#include <ThingierESP32.h>

#include <WiFi.h>
#include <RemoteXY.h>

//Variables para el monitoreo en thingier.io
#define THINGER_SERIAL_DEBUG
#define USERNAME "Acardenas"
#define DEVICE_ID "Lora_ESP_32"
#define DEVICE_CREDENTIAL "UB@cN8HIudyaYKwC"

// RemoteXY connection settings
#define REMOTEXY_WIFI_SSID "INNOMECCBVISION"
#define REMOTEXY_WIFI_PASSWORD "0503593691"
#define REMOTEXY_CLOUD_SERVER "cloud.remotexy.com"
#define REMOTEXY_CLOUD_PORT 6376
#define REMOTEXY_CLOUD_TOKEN "48b8f5170543d0a3c5ac28afecd89d13"
```

Figura 29. Librerías de programación

Fuente: Autor

En la figura 33 se presenta las variables de entrada, que son el sensor de caudal y la activación de una electroválvula.

```
// input variables
uint8_t Electrovalvula; // =1 if switch ON and =0 if OFF

// output variables
float CAUDAL;
float CAUDAL_num; // from 0 to 100
char text_1[11]; // string UTF8 end zero

// other variable
uint8_t connect_flag; // =1 if wire connected, else =0
```

Figura 30. Variables de entrada de datos

Fuente: Autor

En la figura 34 se observa la programación necesaria para que los datos ingresados sean procesados y enviados a la placa Heltec ESP 32.

```

// función a ejecutarse en cada interrupción
void pulso ()
{
  Contador++;
}

long funcion(void)
{
  long cantidad;
  Contador = 0;
  interrupts();
  delay(100); //Se inician las interrupciones y se cuentan los pulsos
  noInterrupts();//se suspenden las interrupciones
  cantidad = 10 * Contador; // pulsos por segundo
  return cantidad;
}

void imprimir() {
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 0, "Caudalímetro");
  Heltec.display->drawString(0, 10, "Caudal (lt/min): ");
  Heltec.display->drawString(85, 10, String(Calc));
  Heltec.display->drawString(0, 20, "Mensual (lt/min): ");
  Heltec.display->drawString(85, 20, String(hist));
  Heltec.display->display();
}

```

**Figura 31.** Conexión a la placa Heltec LoRa

**Fuente:** Autor

Finalmente se realiza el procesamiento de la información para su posterior almacenamiento en la base de datos, cálculos de litros/min que circulan por el sensor de caudal y la conexión a la aplicación RemoteXY para realizar el control a distancia y en tiempo real, en la figura 35 se presenta la programación mencionada.

```

void setup()
{
  RemoteXY_Init ();
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(36, pulso, RISING); // inicializamos las interrupciones
  pinMode(25, OUTPUT);

  Heltec.display->init();
  Heltec.display->flipScreenVertically();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->drawString(0, 0, "Iniciando!");
  Heltec.display->display();
  delay(1000);
  Serial.begin(115200);

  thing["Caudal"] >> outputValue(Calc);
  thing["Historial"] >> outputValue(hist);

  // TODO you setup code
}

void loop()
{
  float frecuencia = funcion(); //frecuencia de los pulsos
  float Caudal = frecuencia / 7.5; //calculamos el caudal en L/m
  Calc = Caudal;
  hist = hist + Calc;
  imprimir();
  RemoteXY_Handler ();
  RemoteXY.CAUDAL = Calc;
  RemoteXY.CAUDAL_num = Calc;
  Serial.print (Calc, DEC);
  Serial.println (" Litros/min\r\n");
}

```

**Figura 32.** Programación - Conexión a RemoteXY

**Fuente:** Autor



### Aplicación Móvil

Las funcionalidades brindadas por el software RemoteXY permiten el desarrollo de una aplicación amigable y de fácil uso para los usuarios y para las personas encargadas de llevar el control y monitoreo del consumo de agua potable. RemoteXY permite la compatibilidad con los distintos sistemas Android presentes en la actualidad.

Para la presentación de los datos se establecen *getters*, que son los métodos necesarios para la extracción de los valores medidos por el sensor de caudal. En lo concerniente a la gráfica del consumo de agua la programación realizada permite el acceso a la base de datos de la plataforma Thinger.io para su posterior extracción de la información para ser presentada en una gráfica con un intervalo de tiempo determinado.

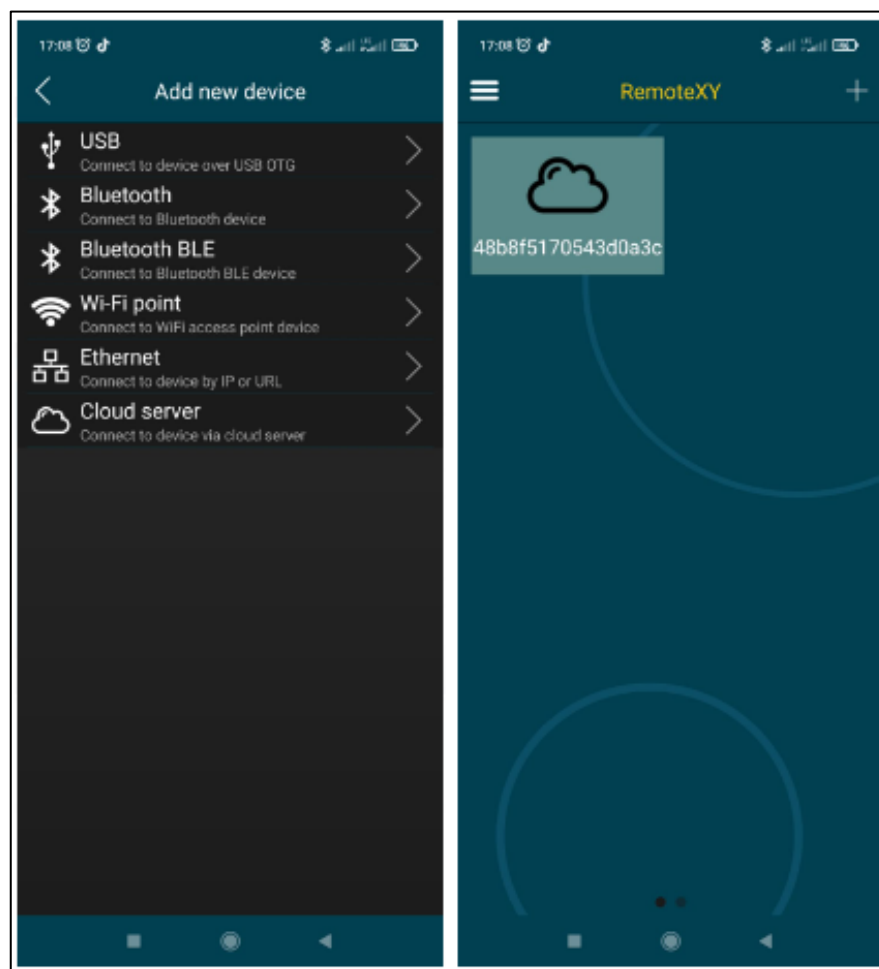
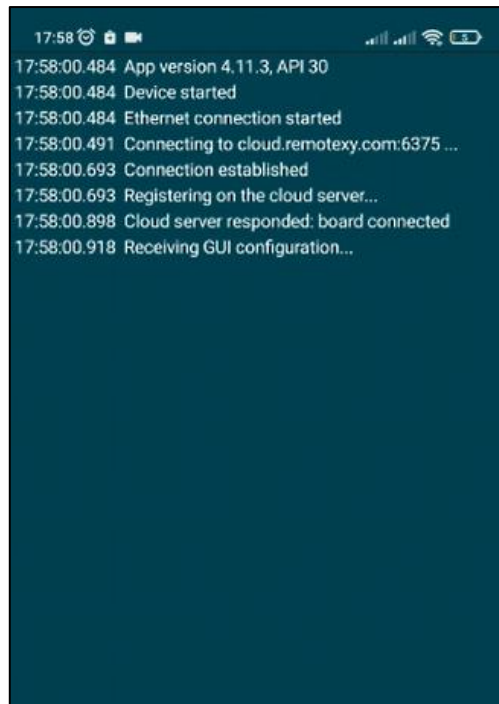


Figura 33. Configuración de Remote XY

Fuente: Autor

En la figura 37 se muestra algunos de los parámetros configurados en el sistema RemoteXY.



**Figura 34.** Parámetros de configuración de RemoteXY

**Fuente:** Autor

Además de la programación para la pantalla de presentación, la aplicación se encuentra diseñada para presentar tres actividades, tal como se aprecia en la figura 38:

- La grafica de los valores del consumo de agua.
- Presentar los valores en metros cúbicos del consumo.
- Presentación del costo aproximado a cancelar.



**Figura 35.** Aplicación RemoteXY

**Fuente:** Autor

## **b. Explicación del aporte**

El Internet de las cosas y el desarrollo de aplicaciones web son tecnologías que se encuentran en un alto despliegue a nivel mundial y con excelente aceptación por parte de los usuarios y las industrias gracias al procesamiento de la información, facilidad de control y monitoreo en tiempo real y acceso remoto, por tal motivo se procede a enumerar los aportes utilizados en la implementación del presente proyecto:

- La automatización y monitoreo remoto son tópicos que se dan a conocer entre los profesionales de las telecomunicaciones y áreas afines, puesto que juegan un papel importante en la integración de la domótica. En el presente proyecto se muestran los beneficios del uso del internet de las cosas aplicado en el control del consumo de agua potable.
- La integración de dispositivos electrónicos a través de una programación y su posterior procesamiento de los valores obtenidos, son los principios por utilizar para el desarrollo de la aplicación IoT.
- Utilizar una comunicación inalámbrica que permita la transmisión de información de los valores procesados, para su posterior almacenamiento en una base de datos.
- Simular la parte funcional del sistema usando un software libre permite validar el trabajo realizado, para de esta manera realizar las comparaciones y correctivos necesarios antes de que el prototipo sea presentado.
- Realizar un cuadro comparativo entre los valores obtenidos por el medidor de agua tradicional y el medidor IoT implementado, es el proceso que permite determinar si el sistema cumple con las expectativas presentadas en el alcance del proyecto.

## **c. Estrategias y/o técnicas**

Las principales estrategias y técnicas empleadas para el desarrollo de un Medidor electrónico de agua residencial con comunicación LPWAN y aplicación IoT, podemos citar las siguientes:

- Investigar y conocer la información necesaria, datos técnicos, conceptos, aplicaciones, ventajas y desventajas del Internet de las Cosas, de fuentes bibliográficas, revistas tecnológicas, Papers y sitios webs de alto nivel para de esta manera realizar el correcto desarrollo del tema propuesto, tanto de la parte documental como experimental.

- Identificar el problema y la solución que se pretende ofrecer con el desarrollo del proyecto.
- Poseer las herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo del sistema propuesto, Proteus – ARES, Arduino, base de datos, comunicaciones inalámbricas y redes de computadoras; tópicos que son utilizados en el diseño y construcción del sistema IoT, los mismos que permiten entender de manera correcta el funcionamiento de cada etapa del proyecto y sus posteriores beneficios.
- Tener el conocimiento adecuado sobre la configuración y programación de los distintos dispositivos electrónicos utilizados en el desarrollo del proyecto para lograr una correcta integración de las etapas de diseño y lograr los objetivos planteados.
- Interpretar de manera correcta los valores obtenidos por el prototipo en la etapa de pruebas de funcionamiento, para de esta manera realizar los correctivos necesarios para que el dispositivo sea presentado.

### 2.3. Validación de la propuesta

En la siguiente tabla presenta información detallada de los actores seleccionados para la validación del proyecto desarrollado.

**Tabla 3.** Descripción del perfil de los validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Freddy Eduardo León Cruz	14	Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones – Magister en Administración con Mención en Marketing	Gerente de Preventa – Ingeniero de Proyectos
Oscar Andrés Piedra Chillagana	6	Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control – Magister en Telemática	Ingeniero de Proyectos
Jaime Eduardo Aragundi Aldaz	12	Ingeniero Informático – Mención Redes de Información	Ingeniero de Proyectos

Tabla 4. Escala de evaluación 1

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica				X	
Factibilidad				X	
Pertinencia				X	

Tabla 5. Escala de evaluación 2

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica				X	
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Tabla 6. Escala de evaluación 3

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica				X	
Factibilidad				X	
Pertinencia				X	

## 2.4. Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

**Tabla 7.** Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
<b>1</b>	Planteamiento del problema y presentación de la solución	1.1. Toma de decisiones para la presentación del problema y planteamiento de la solución 1.2. Revisión de proyectos anteriores 1.3. Propuesta a desarrollar	Proyectos de Telecomunicaciones Sistemas IoT	Investigación bibliográfica, tesis anteriores, observación de campo y documental
<b>2</b>	Definición de la tecnología y elementos necesarios para el desarrollo del proyecto	2.1. Investigación de los elementos a utilizar 2.2. Tablas comparativas de elementos 2.3. Selección de los dispositivos a utilizar 2.4. Análisis de costos y factibilidad 2.5. Toma de decisiones en base a funcionalidades y beneficios.	Internet de las Cosas Comunicaciones Inalámbricas Visión por Computador Sensores de Caudal	Investigación bibliográfica, Investigación en la WEB, documentos físicos, tesis anteriores, Papers y revistas tecnológicas
<b>3</b>	Diseño y simulación del proyecto	2.1. Tarjeta electrónica basada en microcontrolador LoRa ESP 32 2.2. Circuito electrónico de potencia 2.3. Sensores de flujo y caudal 2.4. Comunicación WiFi 2.5 Aplicación de Lenguaje C	Programación de microcontroladores Lenguaje C, ID Arduino Aplicaciones de diseño de circuitos electrónicos (Proteus, Isis, Ares), AutoCAD.	Investigación descriptiva y explicativa

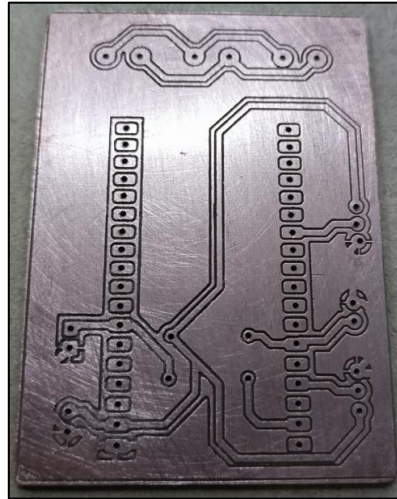
4	Implementación del proyecto	3.1. Antenas, transmisores y receptores de comunicaciones 3.2. Aplicaciones de programación y bases de datos 3.3. Control de motores y electroválvulas. 3.4. Instalaciones eléctricas de control y comunicaciones inalámbricas.	Instalaciones electrónicas, soldadura blanda Sistemas de comunicaciones inalámbricas Desarrollo de bases de datos Protocolos de comunicación	Análisis de Resultados, investigación explicativa, control de procesos y toma de decisiones, Conclusiones y Recomendaciones
---	-----------------------------	--	---	---

**Fuente:** Elaboración propia

## IMPLEMENTACIÓN

### Montaje del prototipo

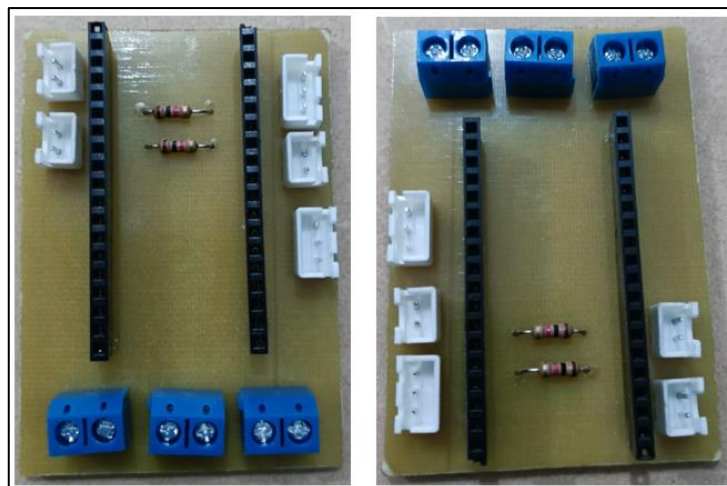
La impresión de la placa electrónica PCB se realizó en una baquelita de cobre, en la cual los dispositivos electrónicos son distribuidos de forma ordenada para su posterior proceso de soldadura, ver figura 39.



**Figura 36.** Placa electrónica PCB

**Fuente:** Autor

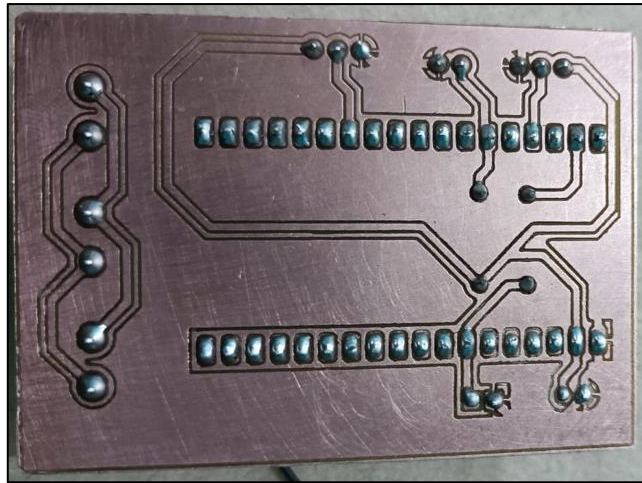
Luego del proceso de impresión de la PCB, se procede con la perforación, ubicación y soldadura de los dispositivos electrónicos, tal como se observa en la figura 40 y 41.



**Figura 37.** Disposición de elementos electrónicos

**Fuente:** Autor

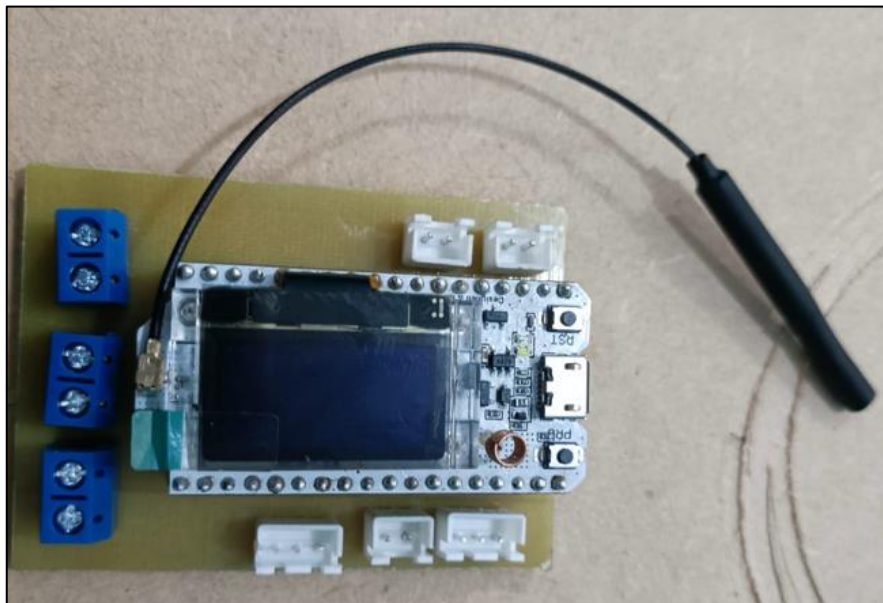




**Figura 38.** Soldadura de los dispositivos electrónicos

**Fuente:** Autor

En la figura 42, se observa la distribución final de los dispositivos electrónicos, tarjeta LoRa 32 Heltec, puertos para los sensores y elementos de control.



**Figura 39.** Disposición final de la placa electrónica

**Fuente:** Autor

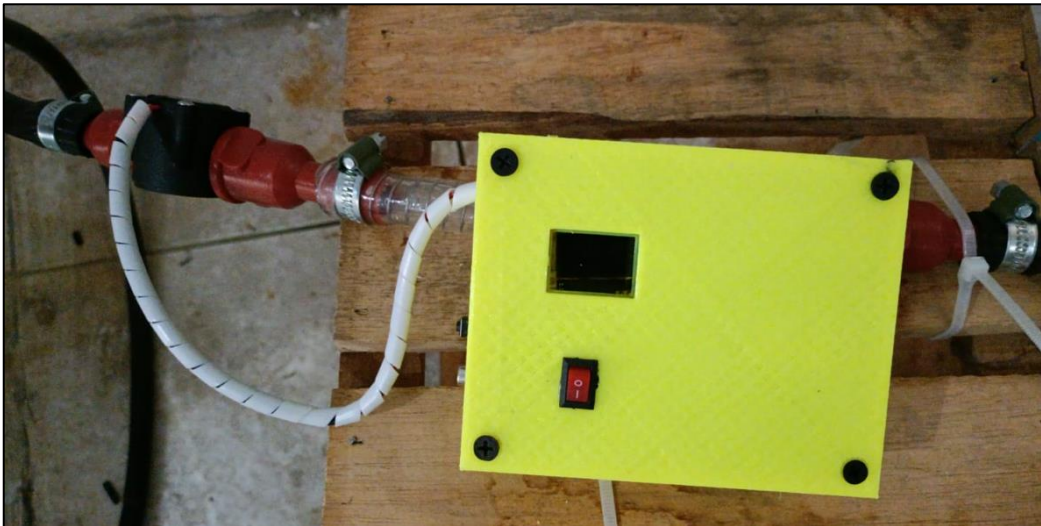
Una vez ensamblado el circuito impreso, continuamos con la ubicación de los elementos electrónicos en la estructura de protección, en la figura 43, se observan la disposición de la PCB, electroválvula y los elementos de conexión del sensor del caudal.



**Figura 40.** Montaje del prototipo

**Fuente:** Autor

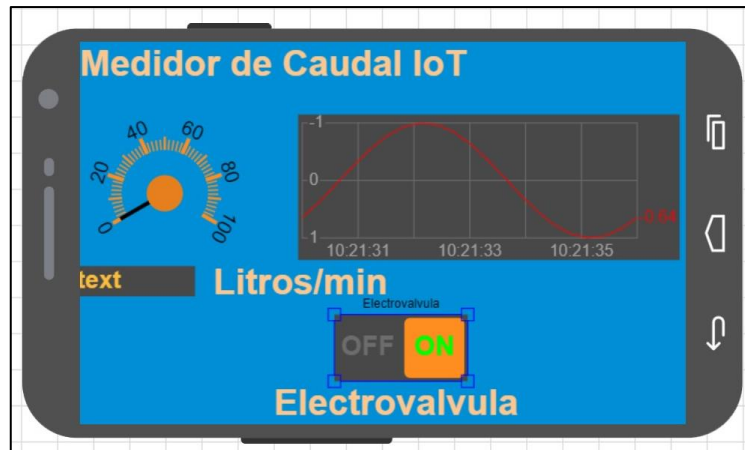
En la figura 44 se observa la presentación final del medidor de agua potable incluyendo la estructura de protección que deja a la vista la pantalla OLED de la tarjeta LoRa en donde se reflejarán los datos procesados.



**Figura 41.** Montaje final del prototipo

**Fuente:** Autor

Una de las propiedades del prototipo es la visualización de los datos medidos en un teléfono inteligente, a través de una aplicación móvil. La información presentada será: la medición de los litros por minuto consumidos, una gráfica del consumo en un día, y los valores aproximados a cancelar. Esto se observa en la figura 45.



**Figura 42.** Aplicación móvil

**Fuente:** Autor

Otra de las funcionalidad del proyecto es el almacenamiento de los datos obtenidos del medidor de Agua en una base de datos, en la figura 46 se presenta los valores medidos por el sensor en la pantalla de la plataforma IoT thinger.io, los mismos que serán equivalentes a los presentados en la App móvil.



**Figura 43.** Base de datos - Plataforma IoT

**Fuente:** Autor

## 2.5. Análisis de Resultados

El cálculo del error absoluto permite hacer una tabulación de resultados entre los valores reales y los valores medios con el prototipo, para de esta manera poder medir con exactitud el funcionamiento del dispositivo implementado.

$$Error (\%) = |Valor_{real} - Valor_{medido}|$$

Para utilizar la formula antes mencionada, el valor medido es el registrado por el dispositivo, mientras que el valor real se obtuvo de los datos emitidos en la factura del pago del servicio básico, en la tabla se muestra los valores tomados en las pruebas de funcionamiento.

**Tabla 8.** Cálculo del error absoluto

VIVIENDA	VALOR REAL ( $m^3$ )	VALOR MEDIDO ( $m^3$ )	ERROR ABSOLUTO
Consumo Junio	15	14.75	0.25
Consumo Julio	22	21.46	0.54
Consumo Agosto	25	25.43	0.43
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.406</b>

Como se aprecia en la tabla 8 el porcentaje de error no es un valor considerable que haría que el dispositivo implementado ofrezca un funcionamiento erróneo, al contrario, los valores presentados permiten validar la confiabilidad del medidor desarrollado. El error presentado en los valores obtenidos puede aparecer por la calibración del sensor de caudal y demás componentes electrónicos presentes en el proyecto.

El desarrollo e implementación de un sistema electrónico IoT que permite el monitoreo del consumo de agua potable en una residencia provee a los usuarios y a las empresas que fiscalizan el líquido vital tener un instrumento que permita conocer de manera remota y en tiempo real los valores del consumo diario, semanal y mensual. Además, permitir un control adecuado cuando existen gastos innecesarios, así como también tener una referencia del costo a pagar en las facturas del servicio.

Gracias al desarrollo de una plataforma IoT que permite el almacenamiento y monitoreo de los datos del consumo de agua potable, los administradores de las juntas de agua pueden acceder a la información de consumo de los diferentes usuarios cuando sea necesario.

## CONCLUSIONES

- Con la realización de este proyecto que permite monitorear y gestionar el consumo de agua potable en un domicilio, se demostró el beneficio del internet de las cosas y de la comunicación LPWAN en situaciones de la cotidianidad, estas dos tecnologías combinadas permiten el control y monitoreo a distancia de datos en tiempo real, permitiendo que el proceso de recolección, procesamiento y facturación de este servicio básico sea rápido y confiable, ahorrando así, tiempo, dinero y mano de obra.
- En el transcurso de la implantación de la tecnología IoT en este proyecto, se generó un problema notable, siendo este la manipulación externa de los datos recabados, lo que puede provocar alteración en el procesamiento e interpretación de los valores, alterando así su utilidad.
- Dentro del proyecto desarrollado, se demostró la aplicabilidad del IoT, la cual, a través de la utilización de un sensor de caudal, envía valores del consumo de agua a la tarjeta LoRa, en donde se realiza el procesamiento de los valores que serán almacenados en una base de datos, para luego ser visualizados en tiempo real a cualquier distancia, en un dispositivo móvil.
- En la actualidad existe gran cantidad de servidores web, para el presente proyecto se optó por utilizar una plataforma IoT, denominada Thiger.io la cual permite el almacenamiento, monitoreo, visualización y procesamiento de los datos, de forma rápida y segura. Esta plataforma es amigable con el usuario y permite tener una escalabilidad con los distintos dispositivos tecnológicos, esto gracias a la gratuidad de su licencia.
- En este proyecto los datos obtenidos, son presentados en tiempo real en la pantalla oled del dispositivo lora y a la vez pueden ser visualizados en la aplicación móvil, además permite el monitoreo de los valores recabados que son almacenados en una base de datos, que pueden ser presentados en la plataforma IoT, usando una PC
- Para validar el funcionamiento correcto del proyecto, se realizó varias pruebas de funcionamiento en un domicilio, recabando datos de manera aleatoria en tiempos de larga y corta duración, los cuales fueron comparados con el detalle de facturación emitido por una junta de aguas, encontrando valores semejantes entre si, concluyendo que este sistema cumple con los objetivos propuestos y puede ser presentado para su posterior implantación.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que este prototipo, sea presentado en las diferentes juntas de agua potable independientes y en los gobiernos municipales, para que conozcan el desarrollo y los resultados obtenidos, y así puedan pensar en su implementación ya que sería de gran utilidad, para los administradores y para la comunidad.
- Frente a la posibilidad de que los datos recabados sean manipulados, se recomienda, crear protocolos de seguridad que brinden la tranquilidad de que la información no sea adulterada, generando de esta manera confianza en este prototipo.
- El internet de las cosas sigue siendo una tecnología desconocida en ciertas zonas, porque es recomendable, brindar información clara y precisa sobre su utilidad y funcionamiento, pues es de gran ayuda y fácil manejo, que permite un control más rápido y seguro de distintas actividades que la sociedad realiza a diario.
- Si el almacenamiento de datos de los dispositivos conectados supera la cantidad permitida por la plataforma IoT, es necesario la compra de una licencia que permita un acopio mayor de información.
- Se recomienda concientizar a las personas sobre el correcto consumo del agua potable, utilizando conexiones adecuadas y reguladas por un ente rector, lo que permitirá, al usar este prototipo la correcta recopilación y almacenamiento de los valores, para tener resultados apegados a la realidad, lo que comprobará el correcto funcionamiento de este proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arduino, A. (Marzo de 2018). *Redes LPWAN*. Obtenido de Redes LPWAN: <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/05/redes-lpwan/>
- AUTOMATION, H. (OCTUBRE de 2021). *HELTEC AUTOMATION*. Obtenido de HELTEC AUTOMATION: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- Bernardi, L., Sanjay E, S., & Kenneth , T. (octubre de 2017). *El Factor de inversion*. Obtenido de <https://mitpress.mit.edu/contributors/sanjay-sarma>
- China, M. i. (abril de 2020). *Made in China*. Obtenido de Made in China: [https://es.made-in-china.com/co\\_gxmeter/product\\_Gaoxiang-Brand-Prepaid-Smart-Water-Meter-Series\\_egeeehrog.html](https://es.made-in-china.com/co_gxmeter/product_Gaoxiang-Brand-Prepaid-Smart-Water-Meter-Series_egeeehrog.html)
- e-LABSHOP. (Marzo de 2020). *e-LABSHOP*. Obtenido de e-LABSHOP: <https://e-labshop.com/shop/arduino/modulos/sensores/sensor-medidor-caudal-caudalimetro-yf-s401-1-4%E2%80%B3/>
- Electronics, T. D. (Marzo de 2021). *Dynamo Electronics*. Obtenido de Dynamo Electronics: <https://dymoelectronics.com/que-es-iot-y-para-que-sirve/>
- Freire Tejada, M. F. (2019). *Repositorio UDLA*. Obtenido de Repositorio UDLA: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10914>
- Galinina O, A. (AGOSTO de 2018). *SPRINGER*. Obtenido de <https://www.springer.com/us/book/9783030011673>
- IQSAC. (Agosto de 2020). *IQSAC*. Obtenido de IQSAC: <https://www.iqsac.com.pe/productos/211/medidor-para-agua-potable-gmdm-i-dn-50-2-agua-fria>
- Laboratorio, M. p. (Abril de 2020). *Materiales para Laboratorio*. Obtenido de Materiales para Laboratorio: <https://www.materialdelaboratorio.top/medidor-de-agua-potable/>
- Mduduzi , J., & Adnan , M.-M. (2015). *Smart water meter system for user-centric consumption measurement*. Cambridge, UK: IEEE.
- MECHATRONICS, N. (MARZO de 2021). *NAYLAMP MECHATRONICS*. Obtenido de NAYLAMP MECHATRONICS: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- MICRONTN. (2018). *MICRONTN WaterMeter*. Obtenido de MICRONTN WaterMeter: <http://www.microntn.com/watermeter.html>
- Munera Sanchez, A. (JULIO de 2018). *Universidad de Valencia*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107791/MUNERA%20-%20Modelado%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20Sigfox%20para%20NS3..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palacios Ochoa, L. J., & Trelles Cabrera, F. D. (Octubre de 2018). *Repositorio UPS*. Obtenido de Repositorio UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16277>

- Pethuru, R., & Anupama C. , R. (FEBRERO de 2017). *TAYLOY & FRANCIS GROUP*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/books/9781315270395>
- Quishpe Estrada, F. D. (Agosto de 2017). *REPOSITORIO ESPOCH*. Obtenido de REPOSITORIO ESPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7337/1/20T00892.pdf>
- RemoteXY. (Marzo de 2021). *RemoteXY*. Obtenido de RemoteXY: <https://remotexy.com/>
- TECmikro. (Agosto de 2021). *TECmikro*. Obtenido de TECmikro: <https://tecmikro.com/motores/560-electrovalvula-valvula-solenoides.html>
- Thinger.io. (agosto de 2021). *Thinger.io*. Obtenido de Thinger.io: <https://docs.thinger.io/>
- Yubero, Ó. U. (Noviembre de 2020). *COMUNICACIONES INALAMBRICAS*. Obtenido de COMUNICACIONES INALAMBRICAS: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-lorawan/>



# ANEXOS

## ANEXO 1

### SENSOR YF-S201

MODEL: YF-S201

**Description:**

Water flow sensor consists of a plastic valve body, a water rotor, and a hall-effect sensor. When water flows through the rotor, rotor rolls. Its speed changes with different rate of flow. The hall-effect sensor outputs the corresponding pulse signal. This one is suitable to detect flow in water dispenser or coffee machine. We have a comprehensive line of water flow sensors in different diameters. Check them out to find the one that meets your need most.

**Features:**

- Compact, Easy to Install
- High Sealing Performance
- High Quality Hall Effect Sensor
- RoHS Compliant

**Specifications:**

- Working Voltage: DC 4.5V~24V
- Normal Voltage: DC 5V~18V
- Max. Working Current: 15mA (DC 5V)
- Load capacity: ≤ 10 mA (DC 5V)
- Flow Rate Range: 1~30L/min
- Load Capacity: ≤10mA (DC 5V)
- Operating Temperature: ≤80°C
- Liquid Temperature: ≤120°C
- Operating Humidity: 35%~90%RH
- Allowing Pressure: ≤1.75MPa
- Storage Temperature: -25~+ 80°C
- Storage Humidity: 25%~95%RH
- Electric strength 1250V/min
- Insulation resistance ≥ 100MΩ
- External threads: 1/2"
- Outer diameter: 20mm
- Intake diameter: 9mm
- Outlet diameter: 12mm



**Application:**

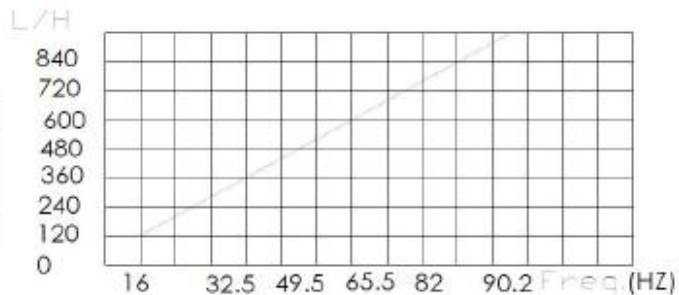
Water heaters, credit card machines, water vending machine, flow measurement device

**Cercuit:**

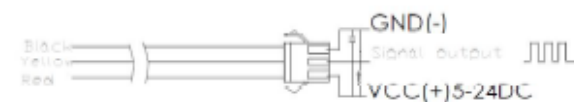
- Red: Positive
- Black: GND
- Yellow: Output signal

Flow Range: 100L/H-1800H/L/H

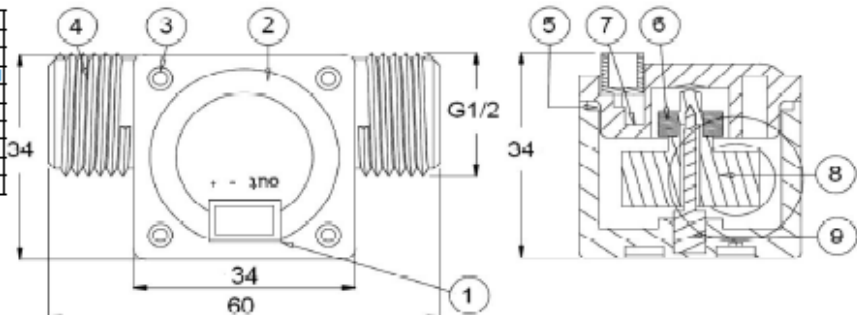
Flow (L/H)	Frezq.(Hz)	Erro range
120	16	±10 5%
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	



**Connection method:**



N°	Item	Material
1	Wire	PVC
2	Bonnet	PA
3	Screw	Zinc Plated
4	Valve Body	PA
5	Press Valve	
6	Magnet	
7	Hall	
8	Impeller	POM
9	Steel Shaft	SUS304



Closed

## ANEXO 2

### ELECTROVÁLVULA SOLENOIDE

#### ZE-4F180

#### 12V Water Solenoid Valve

Technical Manual Rev 1.0



The ZE-4F180 12V Water Solenoid Valve is normally closed water solenoid valve, so if you put pressurized water, the water will be blocked. Then, if you power the magnet with the expected current/voltage, the valve will open and the water will flow.

#### FEATURES:

- Normally Closed
- For water or low viscosity fluids control

#### GENERAL SPECIFICATIONS:

- Input Supply: +12VDC
- Rated Power: 5W
- Material: Plastic
- Flow Characteristics: 1.5L/min, 20L/min
- Water Pressure: 0.02 to 0.8MPa
- Port size: G1/2 inches
- Fluid Temperature: 0 ~ 100 deg Cm
- PCB Dimensions: 8.5cmx4.5cm
- Weight: 100g

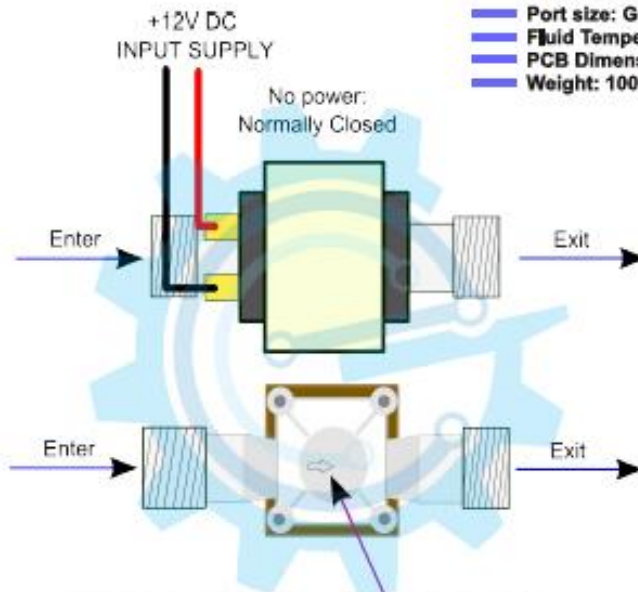
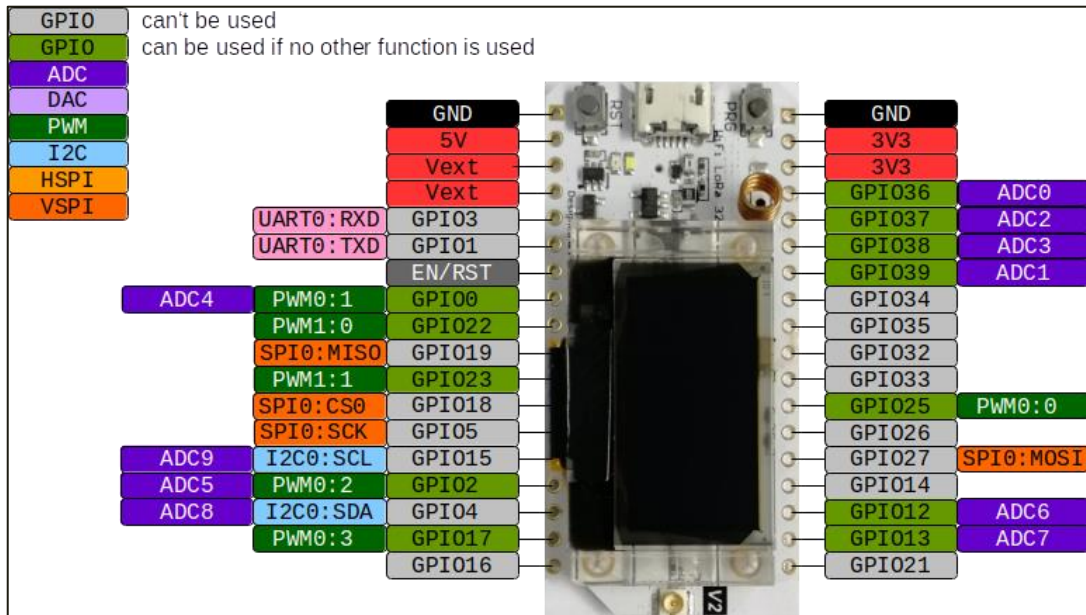


Figure 1: Normally Closed Water Flow Direction

### ANEXO 3

### TARJETA HELTEC ESP32 LoRa WiFi



Electrical Features	Condition	Minimum	Typica	Maximum
Power Supply	USB powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
	Lithium powered (≥250mA)	3.3V	3.7V	4.2V
	3.3V (pin) powered (≥150mA)	2.7V	3.3V	3.5V
	5V (pin) powered (≥500mA)	4.7V	5V	6V
Power Consumption(mA)	WiFi Scan		115mA	
	WiFi AP		135mA	
	LoRa 10dB output		50mA	
	LoRa 12dB output		60mA	
	LoRa 15dB output		110mA	
Output	3.3V pin output			500mA
	5V pin output (USB powered only)		Equal to the input current	
	External device power control (Vext 3.3V)			350mA

Resource	Parameter
Master Chip	ESP32( 240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS)
Wireless Communication	Wi-Fi
	Bluetooth
LoRa Chip	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
LoRaWAN Area	Node-to-node communication or LoRaWAN
	hardware version
	Support frequency
	LF
	HF
	AS923
LoRa Maximum Output Power	19dB ± 1dB
Hardware Resource	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1; 12-bits ADC input x 18; 8-bits DAC output x 2; GPIO x 22, GPI x 6
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH
RAM	520KB internal SRAM
Interface	Micro USB x 1; LoRa Antenna interface(IPEX) x 1; 18 x 2.54 pin x 2
Maximum Size (Including protruding parts such as switch and battery compartment)	51 x 25.5 x 10.6 mm
USB to Serial Chip	CP2102
Battery	3.7V Lithium (SHT1.25 x 2 socket)
Solar Energy	x
Battery Detection Circuit	√
External Device Power Control (Vext)	√
Low Power	Deep Sleep 800µA
Display Size	0.96-inch OLED
Working Temperature	-40~80°C

## ANEXO 4

### PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO

```
// RemoteXY select connection mode and include library
#define REMOTEXY_MODE__ESP32CORE_WIFI_CLOUD
#include "heltec.h"
#include <ThingerESP32.h>

#include <WiFi.h>
#include <RemoteXY.h>

//Variables para el monitoreo en thinger.io
#define THINGER_SERIAL_DEBUG
#define USERNAME "Acardenas"
#define DEVICE_ID "Lora_ESP_32"
#define DEVICE_CREDENTIAL "UB@cN8HludyaYKWc"

// RemoteXY connection settings
#define REMOTEXY_WIFI_SSID "INNOMECCBVISION"
#define REMOTEXY_WIFI_PASSWORD "0503593691"
#define REMOTEXY_CLOUD_SERVER "cloud.remotexy.com"
#define REMOTEXY_CLOUD_PORT 6376
#define REMOTEXY_CLOUD_TOKEN "48b8f5170543d0a3c5ac28afecd89d13"

volatile int Contador; //variable que cuenta los pulsos
int PinSensor = 36; // pin donde se conecta el sensor

// RemoteXY configurate
#pragma pack(push, 1)
uint8_t RemoteXY_CONF[] = // 145 bytes
{ 255, 1, 0, 19, 0, 138, 0, 16, 176, 0, 68, 17, 36, 12, 63, 24, 26, 36, 71, 56,
  1, 12, 26, 26, 0, 2, 24, 135, 0, 0, 0, 0, 0, 200, 66, 0, 0, 160, 65,
  0, 0, 32, 65, 0, 0, 0, 64, 24, 0, 129, 0, 0, 1, 63, 6, 17, 77, 101, 100,
  105, 100, 111, 114, 32, 100, 101, 32, 67, 97, 117, 100, 97, 108, 32, 73, 111, 84, 0, 67,
  4, 255, 37, 20, 5, 2, 26, 11, 129, 0, 22, 37, 28, 6, 17, 76, 105, 116, 114, 111,
  115, 47, 109, 105, 110, 0, 2, 0, 39, 45, 22, 11, 2, 26, 31, 31, 79, 78, 0, 79,
  70, 70, 0, 129, 0, 32, 57, 40, 6, 17, 69, 108, 101, 99, 116, 114, 111, 118, 97, 108,
  118, 117, 108, 97, 0
};

// this structure defines all the variables and events of your control interface
struct {

// input variables
uint8_t Electrovalvula; // =1 if switch ON and =0 if OFF

// output variables
float CAUDAL;
```

```

float CAUDAL_num; // from 0 to 100
char text_1[11]; // string UTF8 end zero

// other variable
uint8_t connect_flag; // =1 if wire connected, else =0

} RemoteXY;
#pragma pack(pop)

ThingrESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);

int Calc = 0;
int hist = 0;

// función a ejecutarse en cada interrupción
void pulso ()
{
  Contador++;
}

long funcion(void)
{
  long cantidad;
  Contador = 0;
  interrupts();
  delay(100); //Se inician las interrupciones y se cuentan los pulsos
  noInterrupts();//se suspenden las interrupciones
  cantidad = 10 * Contador; // pulsos por segundo
  return cantidad;
}

void imprimir() {
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  Heltec.display->drawString(0, 0, "Caudalímetro");
  Heltec.display->drawString(0, 10, "Caudal (lt/min): ");
  Heltec.display->drawString(85, 10, String(Calc));
  Heltec.display->drawString(0, 20, "Mensual (lt/min): ");
  Heltec.display->drawString(85, 20, String(hist));
  Heltec.display->display();
}

void setup()
{
  RemoteXY_Init ();
  pinMode(PinSensor, INPUT);
}

```

```
attachInterrupt(36, pulso, RISING); // inicializamos las interrupciones
pinMode(25, OUTPUT);
```

```
Heltec.display->init();
Heltec.display->flipScreenVertically();
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
Heltec.display->clear();
Heltec.display->drawString(0, 0, "Iniciando!");
Heltec.display->display();
delay(1000);
Serial.begin(115200);
```

```
thing["Caudal"] >> outputValue(Calc);
thing["Historial"] >> outputValue(hist);
```

```
// TODO you setup code
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
  float frecuencia = funcion(); //frecuencia de los pulsos
  float Caudal = frecuencia / 7.5; //calculamos el caudal en L/m
  Calc = Caudal;
  hist = hist + Calc;
  imprimir();
  RemoteXY_Handler ();
  RemoteXY.CAUDAL = Calc;
  RemoteXY.CAUDAL_num = Calc;
  Serial.print (Calc, DEC);
  Serial.println (" Litros/min\r\n");
```

```
if (RemoteXY.Electrovalvula != 0) {
  digitalWrite(25, HIGH);
} else {
  digitalWrite(25, LOW);
}
```


```
// TODO you loop code
// use the RemoteXY structure for data transfer
// do not call delay()
```

```
thing.handle();
```

```
}
```

ANEXO 5

PLANILLA DE FACTIURACION DE CONSUMO DE AGUA



**JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL**  
**DE LOS BARRIOS OCCIDENTALES DE ALOASI,**  
**DE LA PARROQUIA DE ALOASI, CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA DE PICHINCHA**  
 Direc. Estación Plaza de Toros sin y La Estación. Telf. 2309-822 ALOASI - MEJÍA - ECUADOR  
 Contribuyente Régimen RIMPE - Agente de Retención No. de Resolución NAC-DNCRASC2000000001

**RUC: 1792863988001**  
 AUT. SRI: 1129304567  
 Fecha de Autorización:  
 10/ENERO/2022  
 Documento Categorizado: NO

**FACTURA**  
 S 001-001  
**Nº 0029472**

CODIGO: 0000000382 FECHA DE PAGO: 15/07/2022 12:18:49  
# FACTURA: 0000029472

USUARIO: CARDENAS CARDENAS ANGEL GONZALO C.I./RUC: 170821091-7  
 DIRECCION: ALOASI SECTOR: MIRAFLORES Mes de Consumo: JUNIO 2022

Mes	AÑO de Consumo	LECT. ANT.	LECT. ACT.	M3 CONSUMO	M3 BASICO	M3 EXCESO	\$ BASICO	\$ EXCESO	TOTAL
JUNIO	2022	1199	1221	22	15	7	\$1.50	\$1.40	\$2.90

TIEMPO DE MOROSIDAD: 1 Mes(es):  
 TARIFA: NORMAL DOMESTICA  
 ALCANTARILLADO: NO  
 Mes(es) de Pago:

DEUDA DE AGUA ACTUAL: \$2.90  
 PAGO/APORTE SOCIAL: \$0.00  
 ALCANTARILLADO: \$0.00  
 RECONEXION: \$0.00  
 OTRAS DEUDAS: \$0.00  
 INTERES POR MORA: \$0.00  
 CITACIONES: \$0.00  
 MINGAS: \$0.00  
 DCTO. EBRA. EDAD: \$0.00  
 ADMINISTRACION: \$0.00

SUBTOTAL AGUA Y OTROS VALORES TARIFA 0%: \$2.40  
 IVA TARIFA 0%: \$0.00  
 IVA TARIFA 12%: \$0.00  
**TOTAL A PAGAR: \$2.40**

**TOTAL A PAGAR: \$3.40 TRES DOLARES CON 40/100**

EL CLIENTE

RECAUDADOR(A)

**ANEXO 6**  
**VALIDACIÓN DE ESPECIALISTAS**



Yo, **Freddy Eduardo León Cruz**, con C.I **1708966054**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **MEDIDOR ELECTRÓNICO DE AGUA RESIDENCIAL CON COMUNICACIÓN LPWAN Y APLICACIÓN IOT.**

Elaborado por el Ing. **Ángel Fernando Cárdenas Quinapaxi**, con C.I **1721894515**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 07 de septiembre de 2022

**Ing. Freddy Eduardo León Cruz, Msc.**

C.I: 1708966054

Registro SENESCYT: 1001-02-229161 / 1038-10-709897





Yo, **Oscar Andrés Piedra Chillagana**, con C.I. **1717779852**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **Medidor electrónico de agua residencial con comunicación LPWAN y aplicación IoT.**

Elaborado por el Ing. **Ángel Fernando Cárdenas Quinapaxi**, con C.I. **1721894515**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 07 de septiembre de 2022

**Ing. Oscar Andrés Piedra Chillagana, Msc**

**C.I: 1717779852**

**Registro SENESCYT: 1079-15-1396272 / 1051-2019-2066568**



Yo, **Jaime Eduardo Aragundi Aldaz**, con C.I **1713376836**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **MEDIDOR ELECTRÓNICO DE AGUA RESIDENCIAL CON COMUNICACIÓN LPWAN Y APLICACIÓN IOT.**

Elaborado por el Ing. **Ángel Fernando Cárdenas Quinapaxi**, con C.I **1721894515**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 07 de septiembre de 2022

**Ing. Jaime Eduardo Aragundi Aldaz**

**C.I: 1713376836**

**Registro SENESCYT: 1001-06-681826**