



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE NODO INTELIGENTE
INTEGRABLE A UNA RED INALÁMBRICA PARA
TELEMEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE COMO
PROPUESTA PARA EL GADM DE GUANO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR:

HÉCTOR ALEXIS PAREDES PAUCAR

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE NODO INTELIGENTE
INTEGRABLE A UNA RED INALÁMBRICA PARA
TELEMEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE COMO
PROPUESTA PARA EL GADM DE GUANO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: HÉCTOR ALEXIS PAREDES PAUCAR

DIRECTOR: Ing. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Héctor Alexis Paredes Paucar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Héctor Alexis Paredes Paucar, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi auditoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba,



Héctor Alexis Paredes Paucar
060437836-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE NODO INTELIGENTE INTEGRABLE A UNA RED INALÁMBRICA PARA TELEMEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE COMO PROPUESTA PARA EL GADM DE GUANO”**, realizado por el señor **HÉCTOR ALEXIS PAREDES PAUCAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
ING. FRANKLIN GEOVANNI MORENO MONTENEGRO PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022/02/11
ING. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022/02/11
ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022/02/11

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Diosito que con su bendición me ha permitido culminar satisfactoriamente mis estudios. A mis padres Oswaldito y Carmita por haber confiado en mí y por ser el pilar fundamental para mi desarrollo como profesional y como ser humano. A mi hermanita Joselyn por su gran ayuda moral y académica que han sido de gran ayuda a lo largo de mi vida estudiantil. A mi mujercita y futura esposa Karina Orozco por haberme brindado tanto amor y paciencia en estos últimos años y por haberme dado el regalo más valioso de la vida, nuestro tan esperado hijito, que lo amamos mucho y esperamos con ansias su nacimiento.

Héctor

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la convicción necesaria para culminar con mi vida estudiantil. Agradezco a toda mi familia por haberme dado su apoyo en todos estos años de estudio, en especial a mis papitos y a mi hermanita por haberme insistido y persistido en la culminación de este trabajo. Agradezco a mi mujercita y a su familia por haberme abierto las puertas de su casa y haberme acogido como un miembro más de la familia. Agradezco a mis profesores por haber compartido toda su sapiencia y sabiduría que me han permitido formarme como profesional y como ser humano. Agradezco a mi director de tesis Ing. José Guerra, por toda la paciencia en este último año, por toda la buena actitud con la que me ha encaminado a culminar con el presente trabajo.

Héctor

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.3. Justificación del Trabajo de Titulación	4
1.3.1. Justificación Teórica	4
1.3.2. Justificación Aplicativa	5
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Métodos y técnicas.....	7

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1. Servicio de agua potable en Guano	8
2.1.1. Procedimiento actual para la lectura del consumo de agua potable	9
2.1.2. Procedimiento de tarifación.....	9
2.1.3. Medidor utilizado	11
2.1.4. Zona de estudio.....	11
2.2. Sistemas Desarrollados.....	14
2.2.1. A nivel Mundial	14
2.2.2. A nivel Nacional.....	15
2.3. Red de comunicación.....	16

2.4. Redes de agua inteligentes	17
2.4.1. Estructura de las redes de agua inteligentes.....	17
2.4.2. Componentes de un nodo sensor	18
2.4.3. Tecnologías utilizadas en redes de agua inteligentes.....	19
<i>2.4.3.1. Sigfox.....</i>	<i>19</i>
<i>2.4.3.2. LoRaWAN.....</i>	<i>19</i>
<i>2.4.3.3. NB-IoT.....</i>	<i>20</i>
<i>2.4.3.4. WM-BUS</i>	<i>20</i>
<i>2.4.3.5. Wi-Fi.....</i>	<i>20</i>
2.4.4. Análisis comparativo de las tecnologías de redes de agua inteligentes	21
2.4.5. Topologías de red.....	22
2.5. Medidores de agua inteligentes con comunicación inalámbrica	23
2.5.1. Medidores de agua inteligentes con procesamiento de imágenes.....	24
2.5.2. Medidores de agua inteligentes con la utilización de sensores	25
2.5.3. Comparación entre medidores Inteligentes de Agua	27
2.6. Tarjetas de desarrollo	28
2.6.1. Análisis comparativo de las tarjetas de desarrollo.....	28
2.7. Sensores.....	30
2.7.1. Sistemas de posicionamiento global	30
<i>2.7.1.1. Análisis comparativo de los módulos GPS</i>	<i>31</i>
2.7.2. Sensor de detección magnética	31
<i>2.7.2.1. Análisis comparativo de los sensores de efecto Hall.....</i>	<i>32</i>

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Requerimientos del prototipo de telemedición de agua potable.....	34
3.2. Arquitectura general del prototipo	34
3.3. Etapas que componen el prototipo	35
3.3.1. Etapa de recolección de los datos	35
3.3.2. Etapa de transmisión y recepción de datos vía internet	36
3.3.3. Etapa de almacenamiento de los datos.....	36
3.3.4. Etapa de procesamiento de la información.....	36
3.4. Selección de los componentes electrónicos que conforman el prototipo	37
3.4.1. Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266.....	37
3.4.2. Tarjeta de desarrollo Arduino NANO	38

3.4.3. Módulo GPS Ublox NEO-6M	38
3.4.4. Sensor de detección magnética KY-024	39
3.4.5. Alimentación del prototipo	40
3.5. Esquema de conexión del prototipo.....	41
3.6. Selección del <i>software</i> de desarrollo del prototipo.....	42
3.6.1. Arduino IDE	42
3.6.2. 000Webhost.....	42
3.6.3. MySQL.....	43
3.7. Diagrama de flujo del prototipo de telemedición de agua	43
3.7.1. Software de la etapa de recolección de los datos	43
3.7.1.1. <i>Proceso de recolección de datos del sensor Hall en la tarjeta Arduino Nano_1</i>	43
3.7.1.2. <i>Proceso de recolección de datos del módulo GPS en la tarjeta Arduino Nano_2</i>	45
3.7.1.3. <i>Proceso de adquisición de datos del sensor HALL y GPS en la tarjeta ESP8266</i>	46
3.7.2. Software de la etapa de transmisión y recepción de datos vía internet	46
3.7.3. Software de la etapa de almacenamiento de los datos.....	48
3.7.3.1. <i>Descripción de las entidades de la base de datos</i>	48
3.7.4. Software de la etapa de procesamiento de la información.....	49
3.7.5. Diseño de la PCB del prototipo.....	51

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS.....	52
4.1. Simulación de la red Wi-Fi	52
4.1.1. Parámetros georreferenciales del barrio La Magdalena del Cantón Guano	53
4.1.2. Parámetros de red	53
4.1.2.1. <i>Parámetros de los puntos de acceso</i>	54
4.1.2.2. <i>Parámetros de predicciones por cobertura</i>	55
4.1.2.3. <i>Parámetros de escalabilidad de la red</i>	56
4.1.3. Simulación de la red inalámbrica Wi-Fi existente en el barrio la Magdalena	57
4.2. Validación de los sensores.....	57
4.2.1. Validación del sensor de efecto HALL.....	58
4.2.2. Validación del módulo GPS.....	59
4.3. Prueba de conectividad	62
4.4. Prueba de validación de datos	63
4.5. Prueba de alimentación del prototipo	65
4.5.1. Autonomía de la batería del prototipo	65

4.5.2. Consumo de energía del prototipo	66
4.6. Análisis de costos	66
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Categoría y el consumo base fijo para la tarificación.	10
Tabla 2-2:	Rangos de consumo y tarificación por categoría.	10
Tabla 3-2:	Características principales del medidor Zenner MTKD-S.	11
Tabla 4-2:	Características de las tecnologías inalámbricas.	21
Tabla 5-2:	Ventajas y desventajas de las topologías de red.	23
Tabla 6-2:	Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes de agua.	27
Tabla 7-2:	Cuadro comparativo con las tarjetas de desarrollo	29
Tabla 8-2:	Cuadro comparativo con los módulos GPS.	31
Tabla 9-2:	Cuadro comparativo con los sensores de efecto Hall.	32
Tabla 1-3:	Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266.	37
Tabla 2-3:	Especificaciones técnicas del Arduino Nano.	38
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas del módulo GPS Ublox NEO-6M.	39
Tabla 4-3:	Especificaciones técnicas del sensor de efecto Hall KY-024.	40
Tabla 5-3:	Especificaciones técnicas de la batería Lipo 3.7V a 2000mAh.	40
Tabla 6-3:	Descripción de la entidad Estado del dispositivo.	49
Tabla 7-3:	Descripción de la entidad valores calculados.	49
Tabla 1-4:	Parámetros de los puntos de acceso.	54
Tabla 2-4:	Mediciones de agua del prototipo, del medidor Zener y del medidor Baylan.	58
Tabla 3-4:	Distancia entre GPS patrón con GPS del prototipo en condiciones normales.	60
Tabla 4-4:	Distancia entre GPS patrón con GPS del prototipo en condiciones adversas.	61
Tabla 5-4:	Nivel de potencia recibida desde los puntos de acceso.	62
Tabla 6-4:	Potencia de consumo del prototipo.	65
Tabla 7-4:	Costo unitario y costo de implementación real con 300 nodos inteligentes en el barrio La Magdalena del Cantón Guano tanto del prototipo como de un sistema desarrollado.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Medidor de agua Zenner MTKD-S modelo DE-08-MI001-PTB017.....	12
Figura 2-2:	Distribución geográfica del barrio “La Magdalena” del Cantón Guano.	13
Figura 3-2:	Modelo simplificado de red de comunicación.	16
Figura 4-2:	Estructura de una red de agua inteligente.	17
Figura 5-2:	Componentes de un nodo sensor.	18
Figura 6-2:	Topologías de red.	22
Figura 7-2:	(a) Pantalla de medidor analógico; (b) Desplazamiento del dial digital.....	24
Figura 8-2:	Sensor de detección magnética ubicado en la relojería del medidor.....	25
Figura 9-2:	Estructura del sensor de flecha de detección capacitiva.....	26
Figura 10-2:	Sensor de flujo ultrasónico.	27
Figura 1-3:	Arquitectura general del prototipo.....	35
Figura 2-3:	Etapas que componen el prototipo.....	35
Figura 3-3:	Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266.....	37
Figura 4-3:	Tarjeta de desarrollo Arduino Nano.	38
Figura 5-3:	Módulo GPS Ublox NEO-6M.	39
Figura 6-3:	Sensor de efecto Hall KY-024.....	39
Figura 7-3:	Batería Lipo 3.7V a 2000mAh.	40
Figura 8-3:	Esquema de conexión del prototipo de nodo inteligente.....	41
Figura 9-3:	Diagrama de flujo de la etapa de recolección de los datos del sensor Hall en la tarjeta Arduino Nano_1.	44
Figura 10-3:	Diagrama de flujo de la etapa de recolección de los datos del módulo GPS en la tarjeta Arduino Nano_2.	45
Figura 11-3:	Diagrama de flujo de la etapa de adquisición de los datos del sensor HALL y GPS en la tarjeta ESP8266.	46
Figura 12-3:	Diagrama de flujo de la etapa de transmisión y recepción de datos vía internet. .	47
Figura 13-3:	Diagrama de flujo de la etapa de almacenamiento de los datos.	48
Figura 14-3:	Diagrama de flujo de la etapa de procesamiento de la información.....	50
Figura 15-3:	Interfaz de usuario para consulta del consumo de agua.	50
Figura 16-3:	Diseño de PCB de circuito impreso del prototipo.....	51
Figura 1-4:	Prototipo de nodo inteligente de telemedición de agua.....	52
Figura 2-4:	Predios de los usuarios del Barrio La Magdalena del Cantón Guano.	53
Figura 3-4:	Ubicaciones de los puntos de acceso disponibles.	55
Figura 4-4:	Predicciones de cobertura (a) Por nivel de señal (b) Por rendimiento.	56
Figura 5-4:	Simulación de usuarios con acceso a Wi-Fi.	57
Figura 6-4:	Implementación del prototipo de telemedición de agua en el medidor Zenner. ...	59

Figura 7-4: Detección con Wireshark de subida de información y respuesta de servidor web.	63
Figura 8-4: Actualización de información de consumo y posicionamiento del prototipo.....	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Nivel de eficiencia de los servicios públicos por categoría.....8

Gráfico 2-2: Usuarios con servicio de agua potable e internet en el barrio La Magdalena.....13

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Ficha técnica de medidor Zenner MTKD-S modelo DE-08-MI001-PTB017.
- ANEXO B:** Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266.
- ANEXO C:** Tarjeta de desarrollo Arduino Nano.
- ANEXO D:** Módulo GPS Ublox NEO-6M.
- ANEXO E:** Sensor de efecto Hall KY-024.
- ANEXO F:** Batería Lipo 3.7V a 2000mAh.
- ANEXO G:** Programación de las tarjetas de desarrollo.
- ANEXO H:** Programación de la base de datos.
- ANEXO I:** Programación de la interfaz gráfica.
- ANEXO J:** Procedimiento de diseño e implementación de la PCB del prototipo.
- ANEXO K:** Parámetros de tráfico del *software* Atoll.
- ANEXO L:** Puntos de acceso de fibra óptica en la zona.
- ANEXO M:** Pool de direcciones IP disponibles por el protocolo DHCP y cantidad máxima de usuarios para uso inalámbrico de ZTE ZXHN F660.
- ANEXO N:** Medidor de agua Baylan TK-29.
- ANEXO O:** Mediciones realizadas por el prototipo, el medidor Zenner y el medidor Baylan.
- ANEXO P:** Equipo GPS patrón *Smartphone* Xiaomi Redmi Note 8.
- ANEXO Q:** Muestreo de latitud y longitud con equipo GPS Patrón y GPS del prototipo.
- ANEXO R:** Intensidad de señal receptada por el prototipo.
- ANEXO S:** Almacenamiento de Información en la base de datos de 000webhost.
- ANEXO T:** *Software* de gestión Delphi 10.4.2 Professional.
- ANEXO U:** Cotización de medidor inteligente inalámbrico de agua potable.

RESUMEN

El objetivo del trabajo de integración curricular fue diseñar un prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para telemedición del consumo de agua potable como propuesta para el GADM de Guano, por lo que se investigó sobre el funcionamiento de los medidores inteligentes de agua actuales que poseen comunicación inalámbrica. El prototipo consta de 4 etapas: recolección de los datos, transmisión y recepción de datos vía internet, almacenamiento de los datos y procesamiento de la información, para lo cual se adaptó el nodo inteligente en el medidor implementado en el barrio La Magdalena mismo que mediante detección magnética captura 10 litros/impulso de consumo de agua y mediante GPS captura el posicionamiento actual de esta herramienta, los datos se concentran en un módulo ESP8266 el cual aprovecha la infraestructura de red existente de Wi-Fi para enlazarse con el punto de acceso dentro del rango de cobertura para comunicarse vía Internet con un servidor web desarrollado en 000webhost el cual almacena los datos de consumo y posicionamiento en la cuenta respectiva una vez por día en la base de datos MySQL, además que cada fin de mes genera la tarificación dependiendo del consumo acumulado y categoría contratada permitiendo su visualización en una aplicación web. Se concluye que utilizando la red Wi-Fi existente en el barrio La Magdalena en conjunto con el prototipo de telemedición de agua potable, optimizan procesos y tiempos de operación a diferencia de otros tipos de lectura tradicional, además de que resulta una solución económica y escalable debido que se pueden agregar medidores sin interferir en la estructura inicial. Se recomienda programar el módulo central ESP8266 de manera que pueda conectarse a múltiples redes Wi-Fi dentro del rango de cobertura para garantizar de esta manera la disponibilidad del servicio de internet.

Palabras clave: <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA>, <WI-FI(TECNOLOGÍA)>, <TELEMEDICIÓN DE AGUA POTABLE>, <MEDIDOR INTELIGENTE>, <DETECCIÓN MAGNÉTICA>, <SERVIDOR WEB>, <BASE DE DATOS>, <GUANO(CANTÓN)>.



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

0108-DBRA-UPT-2022

2022-01-25

SUMMARY

The objective of this curricular integration work was to design a prototype of a node smart device that can be integrated into a wireless network for remote metering of drinking water consumption such as proposal for the GADM of Guano, for which the operation of the current smart water meters that have wireless communication. The prototype consists of 4 stages: data collection, transmission and reception of data via the internet, data storage and information processing, for which the smart node in the meter was adapted implemented in the La Magdalena neighborhood, which through magnetic detection captures 10 litres /impulse of water consumption and through GPS it captures the current position of this tool, the data is concentrated in an ESP8266 module which takes advantage of the infrastructure of existing Wi-Fi network to link with the access point within the overage range to communicate via the Internet with a web server developed at 000webhost, which stores consumption and positioning data in the respective account once a day in the database MySQL data, in addition to the fact that each end of the month generates the pricing depending on the consumption accumulated and contracted category allowing its visualization in a web application. It was concluded that using the existing Wi-Fi network in the La Magdalena neighborhood together with the drinking water remote metering prototype, optimize processes and operating times considering the differences with other types of traditional reading, in addition to being an economical and scalable solution because meters can be added without interfering with the initial structure. It is recommended to program the ESP8266 core module so that it can connect to multiple Wi-Fi networks within the range of coverage to guarantee in this way the availability of the service of Internet.

Keywords: <COMMUNICATION WIRELESS>, <WI FI (TECHNOLOGY)>, <REMOTE METERING OF DRINKING WATER>, <SMART METER OF WATER>, <MAGNETIC DETECTION>, <WEB SERVER>, <DATABASE>, <GUANO(CANTON)>.



MSc. Wilson G. Rojas
NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe gran demanda de líquido vital en el Cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, tanto en las zonas urbanas como en las zonas rurales, y uno de los mayores desafíos que presenta la DIRECCIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUANO (DIMAPAG) es la toma de lectura de los medidores de agua potable, ya que aún se las continúa realizando de forma manual por el personal técnico quienes son los encargados de recoger esta información de cada medidor dentro del área de servicio una vez cada dos meses, pero la mayor parte del tiempo los usuarios pagan únicamente una tarifa plana, lo que significa que todos los usuarios tarifican la misma cantidad todos los meses, lo que repercute en pérdidas tanto para el departamento administrativo del GADM de Guano, como para ciertos sectores a los que no abastece el líquido vital por inconciencia de los propios usuarios.

Para lograr el objetivo principal de esta investigación se procedió a analizar tanto los medidores digitales usados actualmente, así como también las tecnologías inalámbricas utilizadas para la telemedición del consumo de manera remota y automática, por lo que se realizó un análisis de la zona, es decir, del barrio La Magdalena perteneciente al Cantón Guano, donde se determinó que cuenta con medidores digitales con miras a la telemedición previamente instalados, y cuenta también con la infraestructura de red ya desplegada de Wi-Fi en la mayor parte de la zona de estudio, de manera que aprovechando estos recursos resulta factible el diseño del prototipo.

Este trabajo de integración curricular genera un gran aporte a la comunidad estudiantil y a la empresa proveedora del servicio de agua potable DIMAPAG que se interesan en la utilización de nuevas tecnologías de comunicación para la telemedición de dispositivos, integrándose a la infraestructura actual para lograr de esta manera ahorros importantes de recursos, ahorro del líquido vital y mantenerse siempre informados de los avances tecnológicos a nivel mundial, debido a que en Ecuador ninguna empresa pública gestiona y administra el servicio de agua potable haciendo uso de estas nuevas tecnologías como sucede en los países más desarrollados que ya hacen uso de sistemas NB-IoT, Sigfox LoRaWAN, WM-BUS, Wi-fi, entre otros.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo, se explica la procedencia de la problemática que se investiga, la importancia y los alcances de la misma; se indica las generalidades que tiene dicho problema para el sector y para la institución que se ve involucrada, para lo cual, se utilizan datos existentes y actualizados que evidencian la magnitud del problema; se indican también los objetivos que son el punto inicial para la ejecución del presente trabajo.

1.1. Antecedentes

El planeta tierra considerado como el planeta del agua, poseía gigantescos recursos y debido a su extensión el manejo del recurso de manera eficiente se creía innecesario, sin embargo, según estudios de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se tiene previsto que este porcentaje aumente (Moran, 2019).

En conmemoración del Día Mundial del Agua, la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) según su informe advierte que debido a las alteraciones climáticas; la disponibilidad, calidad y cantidad del agua para las necesidades humanas básicas se verán afectadas y por ende dificultará el cumplimiento del objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS), el cual busca garantizar el acceso universal al agua potable a un precio asequible (UNESCO, 2020).

Otro factor que influye en el agotamiento de este recurso tan esencial es la mala gestión y la falta de conciencia a nivel mundial del uso adecuado del agua, según datos de la UNESCO, en el último siglo el consumo se ha multiplicado por seis y su crecimiento anual es del 1% (UNESCO, 2020).

El 22 de marzo de 2018, el diario EL COMERCIO publicó que a nivel de Latinoamérica que Ecuador gasta en promedio 40% más agua, es decir; 249 litros, excediendo en 149 de los recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud) (EL COMERCIO, 2018), a pesar de que el 92,70% de los hogares practican el ahorro de agua mediante el cerrado de llaves, 17,80% utilizan dispositivos economizadores de chorro y 19,40% ya disponen de inodoros doble descarga o colocan una botella de agua dentro del tanque del inodoro (INEC, 2018). Por otro lado, según Boletín técnico No 02-2017-GADM AGUA Y ALCANTARILLADO, Chimborazo es la provincia que presenta mayor porcentaje de facturación (INEC, 2018).

En adición, durante el confinamiento a causa de la pandemia del COVID-19, se ha evidenciado que debido a las restricciones de movilidad a nivel nacional no se pudieron realizar las lecturas manuales y por ende el cobro de lecturas promedios de los meses anteriores causaron reclamos en los usuarios y más aún pérdidas económicas en las entidades encargadas de gestionar este

recurso vital (Albadalejo, 2020). Por tanto se hace indispensable y necesario la implementación de nodos inteligentes capaces de registrar de manera automática y remota el consumo de agua potable para lo cual, el desarrollo de nuevas tecnologías y el acceso exponencial al Internet juegan un rol importante ya que desde su concepción han mejorado las características de vida del planeta, pero también han traído consigo nuevas necesidades de mantener conectadas a las personas a través de tecnología inalámbrica y el IoT (Internet de las cosas).

El surgimiento tecnológico ha posibilitado el diseño y/o implementación de infraestructuras digitales capaces de predecir, supervisar, medir, controlar y generar información útil en tiempo real, tales como energía eléctrica, agua potable, entre otros (Kim et al., 2017).

La propuesta de “Diseño de un prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para telemedición del consumo de agua potable como propuesta para el GADM de Guano”, se basa en que actualmente la Dirección de Gestión de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado de Guano (DIMAPAG), realiza las lecturas de forma manual cada dos meses de tal manera que la mayor parte del tiempo los usuarios pagan una tarifa plana y por tanto consumen más de lo requerido generando falta de líquido vital a ciertos sectores y pérdidas económicas al departamento administrativo.

En el Ecuador ninguna empresa pública gestiona y administra el servicio de agua potable haciendo uso de las nuevas tecnologías y las telecomunicaciones como sucede en los países más desarrollados que ya hacen uso de sistemas NB-IoT, Kamstrup, Intella IoT (Biz4intellia) entre otros (Rehbein, 2017).

Las propuestas más relacionadas al presente proyecto son los mencionados a continuación:

Para la visualización en línea del consumo diario del agua Gusqui Macas Gloria Rebeca y Chaglla Moina Ana Graciela (2016, pp.65) en su tema de tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO INTELIGENTE DE ASIGNACIÓN, MEDICIÓN Y ALERTA DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA HOGARES RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, corrobora, que la herramienta implementada ayuda a conocer el consumo de agua potable en un ordenador.

Otra propuesta de tesis previa a la obtención de del título de ingeniero electrónico, telecomunicaciones y redes en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es el denominado “DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIONES PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN TIEMPO REAL PARA LA PARROQUIA YARUQUÍES PERTENECIENTE A LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, desarrollado por los estudiantes Castillo Sosa Isabel Jurista y Murillo Paguay Abel Santiago (2017, pp. 69), comprobaron que tiempos requeridos para los procesos de lectura, administración se optimizaron.

Finalmente, un trabajo de titulación reciente del estudiante Bahamonde Achig Jorge Sebastián de la Escuela Politécnica Nacional, es el “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DISTRIBUIDO PARA LA MEDICIÓN DE CONSUMO DE AGUA Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN”, cuya propuesta es un sistema para lectura remota del consumo de agua y consta de tres módulos mediante los cuales se puede obtener como producto final la consulta de los consumos tanto de usuarios como administradores del recurso (Bahamonde, 2020).

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo diseñar un prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para telemedición del consumo de agua potable como propuesta para el GADM de Guano?

1.3. Justificación del Trabajo de Titulación

A continuación, se explica la contribución que se alcanza con el presente trabajo de titulación, la importancia del mismo, a quienes beneficia y la delimitación geográfica sectorial, de manera que se justifica teórica y prácticamente a fin de resolver el problema principal del trabajo.

1.3.1. Justificación Teórica

El agua, recurso esencial para las necesidades humanas básicas, es un derecho humano establecido en la Constitución de la República del Ecuador para garantizar el Sumak Kawsay o Buen Vivir y los derechos de la naturaleza, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua, en su Art. 4 literal b, textualmente menciona “El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad” («Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua» 2014).

En el Ecuador, uno de los mayores inconvenientes para las empresas que gestionan y administran el servicio de agua, es la toma del valor del consumo de agua potable, los cuales requieren personal y gran cantidad de tiempo para pasar por cada una de las residencias tomando el valor del consumo (Bahamonde, 2020). Lo anterior se corroboró mediante entrevistas al personal de la DIMAPAG, quienes afirmaron que envían 2 trabajadores para la toma de lecturas, las mismas que son apuntadas en hojas impresas para posteriormente generar una tarifa mensual, pero debido a que los recorridos los realizan cada 2 meses, las tarifas se basan en el promedio de las mediciones efectuadas en los meses anteriores, lo que repercute a tener una lectura incorrecta sobre el consumo real del agua potable generando desperdicio por parte de varios usuarios, pérdidas económicas para la entidad por cobrar tarifas planas o básicas y falta de líquido vital en ciertos sectores.

Por otro lado, durante el confinamiento no se realizaron las lecturas manuales con normalidad por las restricciones de movilidad implantadas por el gobierno a causa de la actual crisis sanitaria de

la COVID-19 y debido a que nuestra nación carece de sistemas de medición automática y remota de los servicios básicos como son el agua y electricidad, las entidades encargadas de gestionar estos servicios facturaron tarifas mensuales basadas en valores estimados generando pérdidas económicas para la entidad y reclamos por parte de varios usuarios.

En base a los antecedentes mencionados se ve la necesidad de diseñar el prototipo de un nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para la telemedición del consumo de agua potable cuyo propósito es el de optimizar los procesos actuales de lectura y primordialmente la concientización del consumo responsable del agua potable.

La presente propuesta resulta ser una herramienta que se destaca de otras investigaciones ya que se utiliza un nodo de fácil ubicación, que permite lecturas en tiempo real las mismas que se registran en una base de datos para generar históricos, cuya información servirá posteriormente para diseños de modelos matemáticos para la toma de decisiones.

Cabe indicar que la investigación se enmarca en el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo – Toda una vida 2017 – 2021 que textualmente expone “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, el cual se basa en la premisa de no agotar los recursos naturales productivos, suelo y agua” (Plan Nacional de Desarrollo – Toda una vida 2017 – 2021) y además se hace uso de las comunicaciones inalámbricas que son una de las líneas de investigación planteadas por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2. Justificación Aplicativa

El presente proyecto consiste en el diseño de un prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para realizar la telemedición del consumo de agua potable de forma remota y automática, donde la información se envía y almacena en una base de datos para generar la tarifación adecuada y la generación de históricos de los valores medidos para que los analistas o administradores revisen el historial de las mediciones para determinar las mejores acciones y así analizar proyecciones de consumo de agua potable o ciertas acciones para evitar el desperdicio del líquido vital. Además, se ubica en el nodo inteligente un dispositivo de localización para determinar su posicionamiento actual, de esta manera ofrecer rastreo y protección al prototipo. De esta manera, los usuarios pueden acceder y visualizar la información de su consumo, posicionamiento y tarifación mediante una página Web.

La arquitectura general de la red consta de cuatro etapas fundamentales que son: la recolección de los datos medidos, transmisión y recepción de datos vía internet, almacenamiento de los datos y procesamiento de la información; en donde cada etapa desempeña un rol importante donde se indican las funciones que van a llevar a cabo cada componente dentro de la red.

En la primera etapa de la red, se implementa un prototipo de nodo inteligente, que forma parte de la red inalámbrica, el cual está encargado de realizar la medición del consumo de agua potable del usuario final, así como también tiene la función de localización del prototipo mediante un dispositivo de rastreo.

En la segunda etapa de la red se transmite la información hacia los servidores, sin pérdida de información, utilizando para ello el prototipo de nodo inteligente, donde cada usuario posee un identificador único para que la información atraviese el sistema de comunicación.

En la tercera etapa se almacena la información obtenida en donde se indica el consumo del agua, se guarda dicha información en la base de datos y además se efectúa la debida tarifación que debe ser acorde a las factibilidades denominadas por la empresa, ya que el precio se establece según el uso que se dé al líquido vital, estas denominaciones son de tipo comercial, industrial, domésticas, oficial o público y áreas verdes, además de que existen subsidios para personas con capacidades especiales y de la tercera edad, estos factores deben tomarse en cuenta para el debido procesamiento de la información.

En la cuarta etapa se procesa esta información del consumo de agua potable, así como también la debida tarifación, y para ello se requiere de una aplicación Web. La aplicación Web gestiona a las cuentas de usuarios, medidores y categorías, para lo cual se requiere de una página Web alojada en un servidor Web para acceder a esta desde cualquier sitio, además de que ayuda a los miembros de la empresa a ubicar los dispositivos para así ofrecer rastreo y protección para esta herramienta de medición.

1.4. Objetivos

Para obtener concordancia con la problemática que se pretende resolver aplicando las posibles soluciones se establecen los siguientes objetivos tanto general como específicos, los cuales son factibles, realistas y planteados con un fin en específico.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para telemedición del consumo de agua potable como propuesta para el GADM de Guano.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio del funcionamiento y estructura de los medidores inteligentes que poseen comunicación inalámbrica.
- Definir los requerimientos que debe cumplir el prototipo de nodo inteligente integrable a una red inalámbrica para telemedición del consumo de agua potable.
- Diseñar el nodo inteligente que permita la telemedición del consumo de agua potable y cumpla con los requerimientos propuestos.
- Seleccionar el *hardware* y *software* que permite implementar el diseño propuesto.
- Evaluar si el prototipo cumple con los requerimientos establecidos en la presente investigación.

1.5. Métodos y técnicas

Para la ejecución del presente trabajo de titulación se aplica el método investigativo, el cual hace referencia a la búsqueda y recolección de información bibliográfica la cual resulta necesaria para determinar y establecer el propósito de la investigación.

Asimismo, se hace uso de técnicas que permiten la ejecución del trabajo de titulación, las cuales son, en primer lugar, la técnica de recopilación de información, la cual consiste en adquirir información de varias fuentes para desarrollar los diferentes temas con información y datos actualizados que sirvan para la ejecución de las soluciones. Por otra parte, se encuentra la técnica de sistematización la cual ordena dicha información que ha sido recolectada pero ya de manera más crítica y reflexiva para analizar los resultados de los datos obtenidos. En último punto se encuentra la técnica de análisis y síntesis la cual evalúa e indica los datos significativos que son los que sirven para realizar las conclusiones que están acorde a los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo, se realiza una revisión bibliográfica relacionada con el tema de investigación, se aborda la parte teórica del proceso de la toma de lectura de los medidores convencionales actualmente instalados en el cantón Guano, así como también las nuevas tecnologías y medidores inteligentes con comunicación inalámbrica utilizados a nivel mundial.

2.1. Servicio de agua potable en Guano

La DIMAPAG es la entidad responsable de brindar un buen servicio a todos los usuarios que habitan en su región de atención. Según entrevistas a los encargados de esta entidad, abastecen del líquido vital a 5,000 usuarios finales que están dentro de su área de trabajo, lo que corresponde a toda la zona urbana de Guano además de expansiones urbanas en la parroquia de El Rosario, y de barrios en el límite cantonal con Riobamba.

Según la Agencia de Regulación y Control de Agua (ARCA), la eficiencia de los servicios públicos se clasifican mediante categorías ordenadas alfabéticamente las cuales agrupan a los prestadores de servicio tal como se indica en el gráfico 1-2, fundamentados en el resultado que se obtuvo en el nivel de eficiencia (INES) (ARCA, 2018, p.10).

CATEGORÍAS DEL PRESTADOR	RANGO EFICIENCIA DEL SERVICIO (ES)	NIVEL
A	$80 \leq ES \leq 100$	Eficiente
B	$70 \leq ES \leq 80$	Bueno
C	$50 \leq ES \leq 70$	Aceptable
D	$30 \leq ES \leq 50$	Regular
E	$ES < 30$	Deficiente

Gráfico 1-2: Nivel de eficiencia de los servicios públicos por categoría.

Fuente: (ARCA, 2018)

El prestador del servicio de agua potable para Guano es la DIMAPAG, misma que se encuentra en la categoría C, consta con 50% a 70% de eficiencia lo que representa un nivel ACEPTABLE. Algunos factores importantes que influyen a tener este nivel de eficiencia son la cobertura del servicio de agua potable en el área urbana que oferta la cual es del 88.07% y una continuidad del servicio del agua potable del 89.80% (ARCA, 2018, p.11).

2.1.1. Procedimiento actual para la lectura del consumo de agua potable

Mediante entrevistas a los encargados de la Dirección municipal de agua potable y alcantarillado del cantón Guano, el proceso de toma de lectura del consumo de agua potable en el cantón se ha dejado de lado, ya que la Administración se encuentra en proceso de transición para la aprobación de ordenanza para el nuevo sistema de control de consumos y se ha empezado a facturar tarifas planas, es decir, sin control de lecturas.

Dependiendo del tipo de denominación contratada, ya sea esta de tipo comercial, doméstica, industrial, oficial o público y áreas verdes, se tarifa mensualmente la misma cantidad a todos los usuarios dependiendo de las denominaciones contratadas, lo que repercute en pérdidas para el GADM de Guano ya que dichas tarifas planas tienen un precio básico y no refleja el verdadero consumo que se tiene del agua potable.

Anteriormente la toma de lectura del consumo de agua potable se desarrollaba de forma manual, con la intervención del hombre. Para obtener la tarificación de los usuarios finales, existe una base de datos que no se encuentra actualizada, la cual contiene la información personal de los clientes (código único o referencia), así como su ubicación geográfica en el cantón, para que de esta manera se establezcan rutas para localizar estos medidores de manera ordenada.

2.1.2. Procedimiento de tarificación

Según el ARCA (2017, pp. 22-25), para la estructura tarifaria básica que resulta de la prestación de servicio de agua potable y alcantarillado se toma en consideración la categoría del prestador de servicio (DIMAPAG categoría C), esto conlleva al establecimiento de criterios técnicos y actuariales para la determinación de costos sostenibles en la prestación de los servicios de agua dando como resultado la ORDENANZA N°013-2020 establecida por GADM Guano (GADM Guano, 2020).

Los componentes que forman parte de la estructura tarifaria básica por la prestación de servicios de agua potable son los siguientes (GADM Guano, 2020):

- Consumo base fijo de agua potable y de alcantarillado, que comprende un valor independiente del consumo, que cubre los costos necesarios para garantizar la disponibilidad de los servicios, costos de mantenimiento e instalaciones domiciliares, en la tabla 1-2 se indica la categoría y el sub total fijo para la tarificación.
- Cargo variable de agua potable y alcantarillado, que comprende un valor variable que se fijará en función del rango de consumo registrado por el medidor, en la tabla 2-2 se indica los rangos de consumo con su respectiva tarificación.

Tabla 1-2: Categoría y el consumo base fijo para la tarificación.

<u>CATEGORÍA</u>	<u>CONSUMO BASE FIJO</u>
DOMÉSTICA	\$ 3.03
COMERCIAL	\$ 6.22
INDUSTRIAL	\$ 9.09
OFICIAL O PÚBLICO Y ÁREAS VERDES	\$ 3.03

Fuente: (GADM Guano, 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 1-2 se tiene que un subtotal de la tarificación se mantiene fijo para cada mes debido a que de esta manera se garantiza la disponibilidad del servicio y dependiendo de la categoría va a variar esta tarificación dado que para cada una de ellas cambia la instalación del sistema de agua potable y alcantarillado, el diámetro de la acometida del predio y los costos de mantenimiento.

Tabla 2-2: Rangos de consumo y tarificación por categoría.

<u>CATEGORÍA</u>	Rangos de consumo	Tarifa Agua Potable	Tarifa Alcantarillado
	(m³)	(US\$/m³)	(US\$/m³)
DOMÉSTICA	0 - 10	\$0.05	\$0.02
	11 - 25	\$0.13	\$0.05
	26-40	\$0.15	\$0.06
	>40	\$0.20	\$0.08
COMERCIAL	0 - 25	\$0.25	\$0.10
	26 - 50	\$0.30	\$0.12
	>50	\$0.40	\$0.16
INDUSTRIAL	0 - 25	\$0.25	\$0.10
	26 - 50	\$0.30	\$0.12
	>50	\$0.55	\$0.16
OFICIAL O PÚBLICO Y ÁREAS VERDES	0 - 25	\$0.13	\$0.10
	26 - 50	\$0.15	\$0.12
	>50	\$0.20	\$0.16

Fuente: (GADM Guano, 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 2-2 se tiene que el valor del cargo variable para la tarificación se fijará en función del rango del consumo registrado por el medidor y dependiendo de la categoría contratada se realiza una operación matemática para obtener de esta manera la tarificación mensual del agua potable consumida por cada usuario.

La operación matemática es la siguiente:

$$\text{Tarifa Consumo Mensual} = \text{Consumo Base Fijo} + [\text{Consumo medido}(m^3)] * [\text{Tarifa Agua Potable} + \text{Tarifa Alcantarillado}]$$

2.1.3. Medidor utilizado

Para medir el consumo de agua potable se utiliza el contador de agua de marca Zenner MTKD-S, modelo DE-08-MI001-PTB017 cuya ficha técnica se encuentra en el anexo A, este medidor se define como un contador de chorro múltiple de esfera seca que tiene una proporción reducida de latón, lo que ayuda a reducir el peso del medidor en un 25% aproximadamente sin modificar las propiedades de medición (ZENNER, 2017).

Como un beneficio importante de su composición es que se le puede añadir un sensor lector de impulsos, el cual va a generar un impulso magnético cada 10 litros que se detecten en el contador de agua, esto con miras a la telemedición ya que se puede agregar un dispositivo adicional que tenga comunicación inalámbrica el cual recibe estos impulsos, los procesa y los transmite, en la tabla 1-2 se muestra un cuadro con las características principales del medidor (Zenner, 2017).

Tabla 3-2: Características principales del medidor Zenner MTKD-S.

<u>PARÁMETROS</u>	<u>MEDIDOR ZENNER MTKD-S</u>
CAUDAL NOMINAL	2.5 m ³ /h
ROSCA DEL MEDIDOR	1 pulg
PESO	0.98 Kg
SALIDA DE PULSOS	Modelo con salida de 10 l/impulso
PROYECCIÓN	Tipo estándar contra manipulación y contra interferencias
REGISTRO	Tipo girable 365°; dial digital desde 1m ³ hasta 99,999 m ³

Fuente: (Zenner, 2017)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 3-2, se determina que el medidor está diseñado con miras a la telemedición ya que cuenta con una salida de pulsos establecida en 10 l/imp, lo que significa que se va a generar un pulso magnético cada 10 litros de agua detectados, además presenta protección estándar para que no sea manipulado por terceros y que no pueda ser interferido; como datos adicionales la rosca de acople es de 1 pulgada y el registro es girable para adaptarse en cualquier posición con un dial digital de hasta 99,999 m³.

En la figura 1-2, se muestra el medidor de agua de la marca Zenner utilizado para la medición de consumo de agua potable utilizado en el cantón Guano.

2.1.4. Zona de estudio

Se ha definido como zona referente para el diseño de una red de telemedición, que es el Barrio “La Magdalena” perteneciente a la urbanización del cantón Guano, que consta con alrededor de 16 bloques o manzanas, el cual se encuentra en proceso de actualización de medidores, por lo que en algunas residencias se encuentran ya instalados los medidores de la marca Zenner, otras residencias aún cuentan con antiguos medidores e inclusive hay algunas que no cuentan con ningún tipo de medidor.



Figura 1-2: Medidor de agua Zenner MTKD-S modelo DE-08-MI001-PTB017.

Realizado por: Paredes, H. 2021

La DIMAPAG presta sus servicios a 243 usuarios finales en este barrio, de los cuales, el 74% ya cuentan con el medidor de agua de la marca Zenner, y el 26% restante, continúan con los medidores analógicos de la marca Bar Meters o mantienen una conexión directa, debido a que se encuentran en proceso de instalación o cambio, anualmente se incrementan alrededor de 5 usuarios finales. En la figura 2-2 se muestra la distribución geográfica del Barrio “La Magdalena” con respecto a la Municipalidad de Guano según datos obtenidos de la aplicación Google Maps.

Actualmente existen variedad de métodos para obtener los datos del consumo de agua potable registrados por los medidores de manera inalámbrica, de manera que, aprovechando el acceso y la infraestructura de la red de los proveedores de servicio de Internet ya establecidos en el barrio de La Magdalena, se tiene una inversión mínima con respecto a la creación de una propia red de transmisión de datos. Debido a esta forma de aprovechamiento de la red existente y a la ubicación de los medidores convencionales de agua potable, se trabaja con esta infraestructura de red.

El barrio La Magdalena, es el más completo en servicios básicos e internet, por lo tanto, el estudio se establece en toda su extensión. Hay 243 usuarios que tienen el servicio de agua potable que representa el 100% de usuarios que tiene el barrio, de los cuales 179 abonados tienen un contrato de servicio de Internet que representa el 74%, como se muestra en el gráfico 2-2, los cuales se encuentran ubicados en distintos puntos geográficos dentro del barrio.



Figura 2-2: Distribución geográfica del barrio “La Magdalena” del Cantón Guano.

Realizado por: Paredes, H. 2021

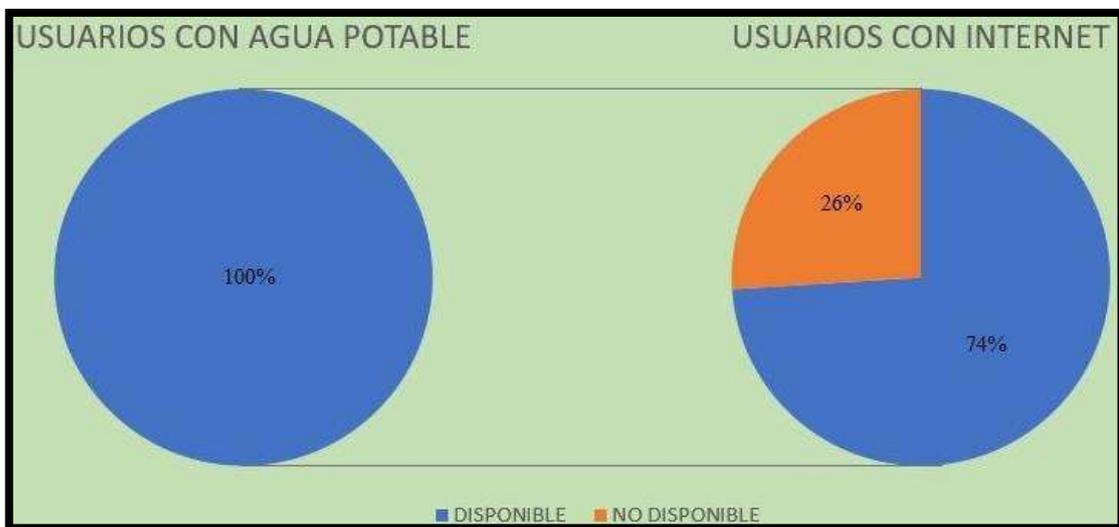


Gráfico 2-2: Usuarios con servicio de agua potable e internet en el barrio La Magdalena.

Realizado por: Paredes, H. 2021

2.2. Sistemas Desarrollados

En la actualidad existen algunos sistemas desarrollados para la telemedición del consumo de agua potable, los cuales utilizan radiofrecuencias o el Internet, y para ello hacen uso de la telefonía celular, telefonía fija o a su vez vía satélite. Mediante la telemedición se puede obtener varios tipos de información en tiempo real, y si esto se aplica a una tarea como lo es la medición del consumo de agua potable, los usuarios se asegurarán de saber cuánto realmente están consumiendo (Hernán, 2008).

2.2.1. A nivel Mundial

Entre las soluciones actuales para la telemedición del consumo de agua potable, existen soluciones que utilizan las nuevas tecnologías de comunicación, este es el caso de Water-link, el cual ofrece una gestión del agua a 624,000 clientes ubicados en Amberes, Bélgica, utilizando para ello la tecnología denominada Sigfox, la cual opera en la banda sin licencia, con ello han logrado importantes ahorros de tiempo y costes, al cambiar sus antiguos medidores por contadores de agua inteligentes. El nodo inteligente se instala en la tubería principal y sólo requiere conectarse a la red Sigfox para empezar a emitir las mediciones (SIGFOX, 2020).

Otra solución para la medición de agua potable es la implementada por BMETERS, que es una empresa italiana la cual hace uso de la tecnología de comunicación denominada LoraWAN, su funcionamiento está basado en un pequeño módulo de radio que se agrega al medidor el cual cuenta con una salida de pulsos eléctricos; el módulo es el intermediario que realiza la comunicación entre el medidor con la red LoraWAN, de esta manera se envía el valor de consumo de agua de los usuarios y se almacena en su respectiva base de datos (LoRaWAN, 2018).

Por otra parte, la empresa IQnexus, encargada de desarrollo de IoT industrial y además proveedora de soluciones para la medición de agua potable, actualmente con sede en Nueva Zelanda, se hace presente con su dispositivo medidor de agua ultrasónico Qalsonic W1, que trabaja con la tecnología integrada NB-IoT (Narrow-Band-IoT), esta tecnología forma parte de una banda de espectro con licencia y utiliza redes de empresas de telecomunicaciones para la transmisión de datos; el nodo inteligente se ubica en la tubería principal para conectarse a la red NB-IoT y así empezar con la lectura del consumo de agua de los usuarios (IQnexus, 2018).

Asimismo, la marca Yomtey da soluciones para la medición de agua potable, y esta por otro lado, hace uso de la tecnología de comunicación inalámbrica llamada M-BUS, la cual está diseñada para la comunicación por dos cables, el medidor de agua inteligente que ocupa hace uso de tecnología microelectrónica moderna para medir el consumo de agua y así transmitir estos datos, los mismos que se almacenan en una base de datos («YomteY», 2019).

Además, Gignac Energie ofrece otra solución para la telemedición del consumo de agua potable, la cual incluye el sensor iPERL (un sensor de medición que utiliza tecnología magnética) y un sistema de comunicación por radio denominado SensusRF, que funciona en una banda de frecuencia sin licencia, cuenta con portal web para acceder a los datos recolectados. El funcionamiento de esta solución consta de dos partes: por el nodo inteligente que envía el valor del consumo de agua y escucha peticiones, y por el sistema de comunicación móvil, que se ubica en un vehículo que se desplaza solicitando y receptando la información de los medidores, ya que el alcance de esta tecnología inalámbrica es de hasta un kilómetro (iAgua, 2017).

2.2.2. A nivel Nacional

En la ciudad de Quito, se realizó un estudio de “Desarrollo de un prototipo de sistema distribuido para la medición de consumo de agua y visualización de información”, en el cual se propuso un sistema para la lectura del valor de consumo de agua potable de una forma remota, el cual consta de tres partes fundamentales que son: recolección de datos a través de un módulo electrónico, la gestión de usuarios, medidores y administradores del sistema a través de un módulo WEB, y la tercera parte destinada a los usuarios para que realicen las consultas respectivas del consumo de agua de uno o varios medidores a través de un módulo Móvil; éste sistema hace uso de la tecnología de comunicación inalámbrica Wi-Fi del hogar del usuario, aprovechando la infraestructura existente (Bahamonde, 2020).

Por otra parte, un estudio realizado en Cuenca, denominado “Diseño de un prototipo de sistema SCADA para el monitoreo de consumo de agua en viviendas residenciales”, el cual busca automatizar el proceso de recolección de datos del consumo de agua potable, basándose para ello en el sistema SCADA que se caracteriza por la adquisición, gestión y uso de datos. En la etapa inicial de este trabajo se capta los datos del consumo de agua, se procesan dichos datos, y se los almacena en una base de datos para su tratamiento y visualización, tanto de administradores y usuarios para la respectiva tarifación. Hace uso de Wi-Fi como tecnología de comunicación inalámbrica, aprovechando la infraestructura existente de los usuarios (Palacios y Trelles, 2018).

En la ciudad de Riobamba, se efectuó otro estudio denominado “Diseño de una red de comunicaciones para la medición y control del consumo de agua potable en tiempo real para la parroquia Yaruquíes perteneciente a la ciudad de Riobamba”, el cual diseña la red de comunicaciones para la parroquia mencionada, con la utilización de un medidor inteligente partiendo de un medidor tradicional, y se basa en tres etapas que son: medición del consumo de agua potable, transmisión de datos, control y monitorización en tiempo real. Hace uso de la tecnología inalámbrica Wi-Fi para comunicar el medidor inteligente con la base de datos y así almacenar la información recolectada (Castillo y Murillo, 2017).

Asimismo, para la ciudad de Riobamba, se desarrolló otro estudio denominado “Implementación de un sistema electrónico inteligente de asignación, medición y alerta del consumo de agua potable para hogares residenciales de la ciudad de Riobamba”, se destaca el diseño de un prototipo de bajo costo, fácil implementación y manejo que le permite al usuario visualizar el consumo de agua potable a través de una pantalla gráfica, está enfocado a ser una herramienta de ayuda para concientizar de manera directa o indirecta en disminuir el consumo del líquido vital al presentarse la información en tiempo real (Gusqui y Chaglla, 2016).

De esta revisión bibliográfica se concluye que, para Ecuador, no existe la implementación como tal de una red de telemedición de agua potable; se han desarrollado estudios y propuestas que no se han implementado, la diferencia de dichos estudios con el tema propuesto en este trabajo de titulación radica en la lectura o toma de los datos, la adición de un dispositivo de rastreo para ofrecer protección a esta herramienta, la elaboración de una aplicación móvil y de una página Web, además que el estudio está propuesto para el GADM de Guano, como zona de estudio el barrio La Magdalena, para lo cual se procede a realizar un estudio de los elementos constitutivo que forman parte de una red de comunicaciones.

2.3. Red de comunicación

Es un conjunto de elementos técnicos que permiten la comunicación remota entre dispositivos. Generalmente, implica la transmisión de datos, audio o video a través de ondas electromagnéticas, las cuales atraviesan diversos medios (aire, vacío, cables de cobre, fibras ópticas, etc.). La información puede enviarse en modo analógico, digital o mixto, y pasa al usuario de manera transparente de tal modo que entienda esta información (Postel, 2009, p.6).



Figura 3-2: Modelo simplificado de red de comunicación.

Realizado por: Paredes, H. 2021.

En la figura 3-2, se indica un modelo simplificado de red de comunicación donde (Postel, 2009, p.6):

- **Sistema Transmisor.** Conformado básicamente por una fuente que genera los datos que se desea transmitir y también por un transmisor que toma estos datos, los trata y los envía por el medio de comunicación.
- **Medio de comunicación.** Es la conexión entre el sistema transmisor con el sistema receptor, puede ser por medio alámbrico, inalámbrico o una mezcla de los dos, que puede ir desde una simple línea de comunicación hasta una red muy compleja.
- **Sistema Receptor.** Recibe la información del medio de comunicación y la trata de tal manera que pueda ser manejada y entendida por el dispositivo destino.

2.4. Redes de agua inteligentes

Son un conjunto integrado de elementos, productos, soluciones y sistemas, los cuales van a permitir que las empresas públicas o privadas que oferten el servicio de agua puedan monitorear o diagnosticar problemas de una forma remota y continua, de esta manera pueden administrar y priorizar los problemas de mantenimiento, además de que podrán utilizar estos datos para optimizar todos los aspectos de la red de distribución de agua, estas mejoras en el rendimiento del sistema conlleva a estimular ahorros drásticos del capital de las empresas, al tener los datos en tiempo real, que es lo que proporciona una red de agua inteligente (Palmer, 2020).

Las soluciones proporcionadas por la red de agua inteligente tienen como objetivo mejorar la eficiencia, vida útil y confiabilidad de la red de agua física mediante la medición, recopilación y análisis de diversos eventos que ocurren en la red. Según House (2020, p.1), este concepto de *Smart Water Network* debería tener una contribución significativa a los esfuerzos de todas las personas para proporcionar agua pura, sostenible y asequible.

2.4.1. Estructura de las redes de agua inteligentes

Para este tipo de redes se transforman las señales de información obtenidas por el nodo sensor de tal manera que se adapten al medio no guiado y de esta manera lograr su transmisión a través del mismo. La estructura de una red de agua inteligente se encuentra conformada por varios elementos necesarios para cumplir con las funciones a la que se pretende enfocar dicha red (Geier, 2008).

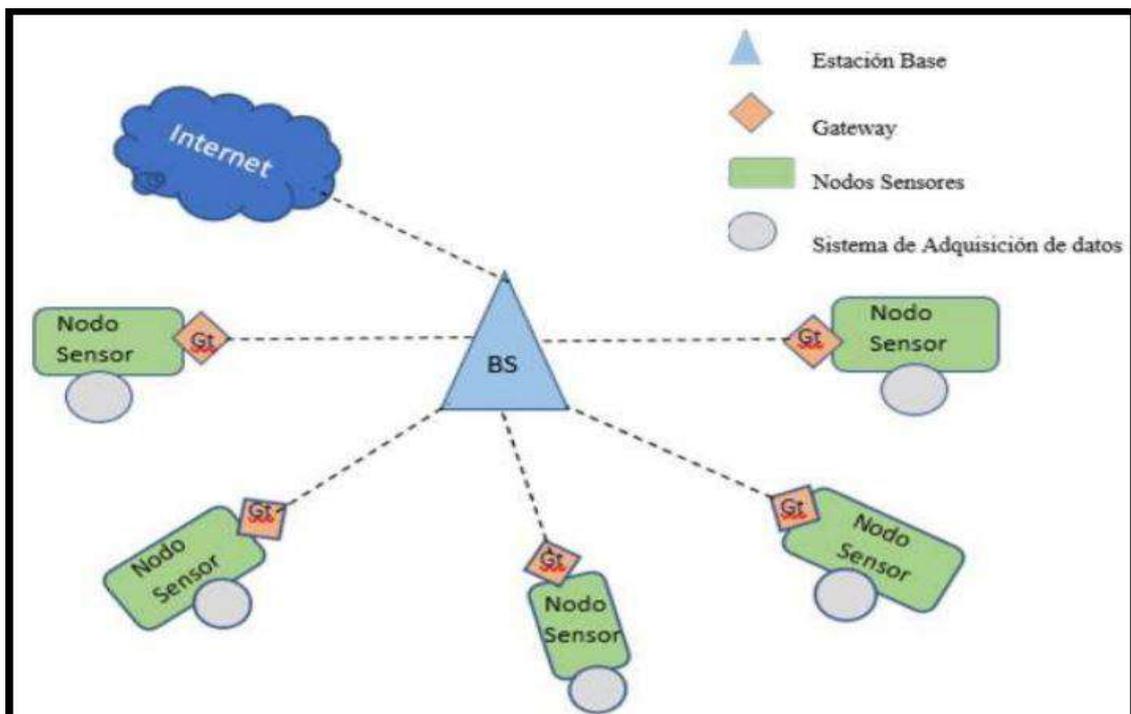


Figura 4-2: Estructura de una red de agua inteligente.

Fuente: (Moyón y Ordóñez, 2019)

En la figura 4-2, se indican los elementos que forman parte de la red y son (Moyón y Ordóñez, 2019):

Sistema de adquisición de datos: está conformado por elementos que toman la información del entorno, y por lo general está compuesto por sensores comerciales.

Nodos sensores: Conjunto de sensores y componentes electrónicos, tal como la tarjeta de desarrollo y los módulos de comunicación inalámbricos, que van a permitir la comunicación del nodo sensor.

Gateway: Es el encargado de realizar la comunicación entre la red de sensores con una red de datos, tal como TCP/IP, la cual actúa como puente entre estas dos redes de diferente tipo.

Estación base: Recibe la información transmitida desde los nodos sensores, para después enviarla a una página web previamente diseñada, para su posterior visualización mediante alguna interfaz gráfica de un *software* que se utilice.

2.4.2. Componentes de un nodo sensor

Está compuesto por algunos bloques que desempeñan roles fundamentales para el tratamiento de la información, estos bloques son de: detección, energía, procesamiento de la información y transmisión inalámbrica (Moyón y Ordóñez, 2019).

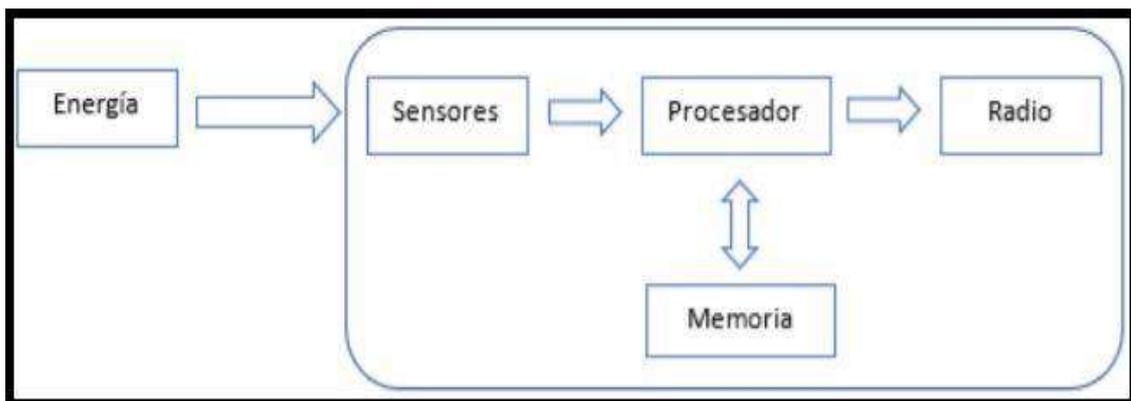


Figura 5-2: Componentes de un nodo sensor.

Fuente: (Moyón y Ordóñez, 2019)

En la figura 5-2 se visualizan los componentes que forman el nodo sensor los cuales cumplen con las siguientes funciones (Saigua y Villafuerte, 2013):

Energía: Se refiere a la alimentación adecuada y necesaria que proporciona la fuente de alimentación para que el nodo pueda funcionar.

Sensores: Son los elementos que detectan los estímulos externos o acciones, y que pueden responder ante las mismas, transforman los datos medidos, ya sean físicos o químicos y los transforman en datos eléctricos.

Procesador: Son los dispositivos que procesan la información, y almacenan la misma haciendo uso de una memoria, ya sea interna o externa, para su debido tratamiento.

Radio: Es el que se encarga de realizar la comunicación inalámbrica. Transmite la información previamente tratada por el procesador hacia la estación base.

2.4.3. Tecnologías utilizadas en redes de agua inteligentes

El desarrollo de diferentes sistemas para realizar la telemedición de medidores de agua depende de las tecnologías de comunicación utilizadas y de los requisitos y / o beneficios requeridos para implementar estas tecnologías. Actualmente, existen tecnologías de comunicación que pueden realizar este tipo de medidas, por ejemplo: Sigfox, LoRaWan, NB-IoT, WM-Bus, Wi-Fi. Cada una de estas tecnologías tiene diferentes propósitos y tiene diferentes características, tales como: rango de comunicación, capacidad para transmitir datos con bajo consumo de energía, capacidad para resistir interferencias con otros dispositivos, entre otros (Bahamonde, 2020).

2.4.3.1. Sigfox

Es una tecnología que utiliza un sistema de tipo celular que les permite la conexión a dispositivos remotos, utilizando la tecnología de banda ultra-estrecha (UNB), con bandas de radio ISM no licenciadas, lo que le obliga a ocupar el canal por un cierto porcentaje de tiempo. Funciona con bajas velocidades de transferencia, de 10 a 1000 bps (Hernández, 2020).

La arquitectura de red es independiente de cualquier red existente, utilizando para su funcionamiento una topología en estrella, los nodos finales se conectan a las estaciones base que recopilan la información recolectada y hacen llegar las mismas a la nube Sigfox (Martres, 2020). Los dispositivos finales dentro de la red Sigfox consumen solo 50 micro vatios para funcionar, y su alcance es de 40 Km en ambientes rurales y 10 Km en urbanos (Hernández, 2020).

2.4.3.2. LoRaWAN

Es un protocolo de red que utiliza la tecnología LoRa (*Long Range*, es un tipo de modulación en radiofrecuencia) para comunicar y administrar los dispositivos. Esta tecnología está orientada al IoT y hace uso del espectro utilizando la banda ISM según la región de operación, aunque puede trabajar en cualquier frecuencia por debajo de 1 GHz (Hernández, 2020).

La arquitectura de red de esta tecnología es de fácil implementación y gestión, ya que no requiere de elementos de enrutamiento, además ocupa la topología en estrella para comunicación en un solo salto. Además, utiliza 6 factores de ensanchamiento, lo que permite variar su alcance y la velocidad de transmisión de datos, pueden crecer o decrecer en el rango de 2 a 14 Km, y 0.3 kbps a 5486 kbps, dependiendo de la aplicación (Hernández, 2020).

2.4.3.3. NB-IoT

Es una tecnología de banda estrecha, que coexiste con GSM y LTE bajo bandas de frecuencia licenciadas introducidas por 3GPP. Entre sus principales características: opera en las bandas de frecuencia LTE licenciadas, ancho de banda de 200 KHz, velocidades de transferencia de datos de aproximadamente 100 kbps. Esta tecnología ofrece una movilidad total, y un alcance de 10 Km en áreas suburbanas (Hernández, 2020).

Su arquitectura se basa en el de una red LTE, pero optimizada para soportar la conexión masiva de dispositivos, permitiendo así transmisiones cortas de datos. La arquitectura básica se encuentra formada por dos partes, la red de acceso y la red central del sistema. En la figura 9-2 se visualiza la arquitectura de este tipo de tecnología (Hernández, 2020).

2.4.3.4. WM-BUS

Es un protocolo de comunicación europeo, que se utiliza comúnmente para la toma de lecturas de dispositivos de medición, se basa en un sistema jerárquico *Master/Slave* y *half-dúplex*, lo que significa que los distintos esclavos se van a conectar un solo maestro; este dispositivo maestro solicita la información a todos los dispositivos esclavos, almacena estos datos obtenidos y los envía a una plataforma de gestión para la posterior visualización del cliente (DSET, 2019).

Esta tecnología permite una topología de red en estrella, por lo que es de fácil instalación y costo reducido, es capaz de aceptar hasta 5000 elementos en un mismo BUS, y no sufre interferencias ya que requiere la instalación de concentradores dedicados. Además, trabaja con bandas de frecuencia ISM no licenciadas con un rango de cobertura de hasta 300m (DSET, 2019).

2.4.3.5. Wi-Fi

Es una tecnología de transmisión de datos inalámbrica que se utiliza para tener acceso a internet principalmente, su alcance es variable y va a depender de varios aspectos que son, la potencia de la señal transmitida por el punto de acceso, la distancia involucrada y la cantidad de objetos que obstaculicen la comunicación; la velocidad de conexión está relacionada con la intensidad de la señal, que va desde 8 Mbps a 600 Mbps (González, 2020).

Esta tecnología permite la transmisión de datos desde el nodo final hasta el punto de acceso, y este es el que sirve de intermediario para que la información recolectada llegue hasta el servidor empresarial para el almacenamiento y tratamiento de la información, todo esto siempre y cuando el nodo final se encuentre dentro del área de cobertura del punto de acceso, mismo que va a depender de la versión utilizada, ya sea IEEE 802.11 b/g/n (González, 2020).

2.4.4. Análisis comparativo de las tecnologías de redes de agua inteligentes

La transmisión de los datos para las redes inteligentes de agua se lo puede realizar utilizando las tecnologías anteriormente mencionadas, en la tabla 4-2 se muestra un cuadro comparativo con las características principales de estas tecnologías inalámbricas de comunicación.

Tabla 4-2: Características de las tecnologías inalámbricas.

PARÁMETROS	SIGFOX	LORAWAN	NB-IoT	WM-BUS	Wi-Fi
FRECUENCIA	Banda ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Banda ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuencia LTE con licencia	Banda ISM sin licencia (169, 433 y 868 MHz)	Banda ISM sin licencia (2,4 GHz y 5 GHz a nivel mundial)
ANCHO DE BANDA	100 Hz	250 KHz y 125 KHz	200 KHz	10 KHz	20 MHz
VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE DATOS	100 bps	50 kbps	100 kbps	4,8 kbps	54 Mbps
MÁXIMOS MENSAJES/DÍA	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
RANGO DE TRABAJO	10 km urbano y 40 Km rural	5 km urbano y 20 Km rural	1 km urbano y 10Km rural	<300m	30 - 100 m
INMUNIDAD A INTERFERENCIAS	Muy alto	Muy alto	Bajo	Bajo	Muy alto
COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL	No	No	No	Si	Si
INFRAESTRUCTURA	Propia	Propia	Utiliza la infraestructura de LTE	Propia	Propia
QoS	Media	Media	Alta	Media	Alta
LATENCIA	Alta	Media	Media	Baja	Baja
ESCALABILIDAD	Baja	Baja	Alta	Media	Alta
COSTE	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo

Fuente: (Hernández 2020; Piti et al. 2017)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 4-2 se determina que dependiendo del tipo de datos que se desean transmitir y del entorno, se debe elegir la tecnología más adecuada y para ello se debe tener en cuenta 2 características esenciales, coste y velocidad; de esta manera se debe tratar de llegar a un equilibrio entre ambas, dado así en los parámetros IoT necesarios (Hernández, 2020).

Para el desarrollo del proyecto se utiliza la tecnología inalámbrica Wi-Fi. Como primer punto, debido a que el nodo inteligente se desarrolla para su utilización dentro de la vivienda, el rango

de cobertura que ofrece Wi-Fi cubre esta distancia, además, esta tecnología ofrece calidad de servicio, lo que no sucede con la mayoría de las tecnologías antes mencionadas, a excepción de NB-IoT; otro punto importante es la baja latencia que se produce al utilizar esta tecnología, además de que ofrece escalabilidad, o sea, se podrán ir integrando más nodos a la red. Al utilizar la banda ISM para las frecuencias de trabajo, ocupar una infraestructura existente, y dado que los dispositivos o nodos finales resultan ser más económicos, la utilización de esta tecnología resulta ser muy rentable.

2.4.5. Topologías de red

Son el estudio de la disposición de los elementos (nodos, enlaces, entre otros), de una interconexión de red entre los nodos; es la disposición física o lógica de todos los componentes que forman parte de la red. La disposición física indica los dispositivos de la red y su respectiva infraestructura para la conexión, y la disposición lógica señala la manera en la que los datos van a transferirse atravesando la red (Pandya, 2013).

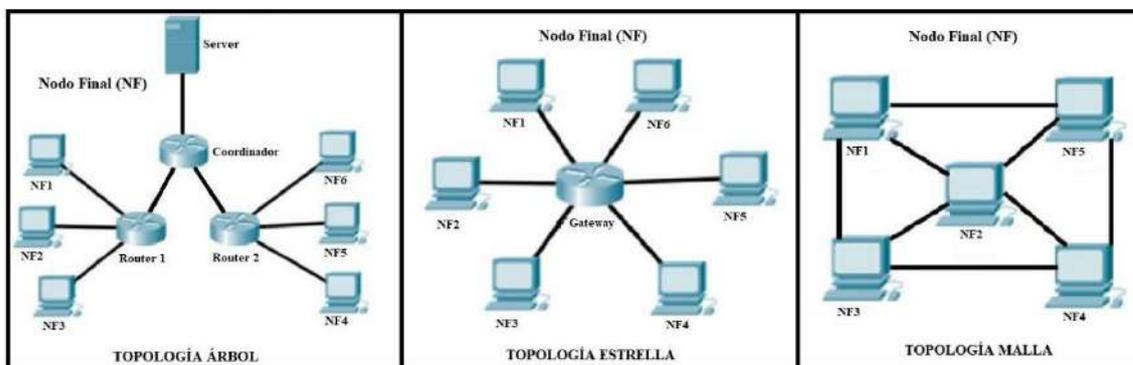


Figura 6-2: Topologías de red.

Realizado por: Paredes, H. 2021

En la figura 6-2 se observa la composición de estas topologías que se detallan a continuación (Pandya, 2013; Castillo y Murillo, 2017):

- **Topología Árbol:** en la composición de esta topología existe un nodo coordinador, el cual controla toda la red permitiendo que los datos de los nodos finales puedan llegar a su destino, por lo que se enlaza con los enrutadores, y estos a su vez, se enlazan con otros nodos finales.
- **Topología Estrella:** en esta composición, los nodos finales se comunican directamente con el Gateway, el cual cumple la función de puente con la red cableada, tiene menor consumo energético, y en caso de que se caiga el nodo concentrador, los datos se pierden.
- **Topología malla:** los nodos finales pueden comportarse como nodos enrutadores, por lo que se da una comunicación entre ellos y con la puerta de enlace, sin embargo, el diseño de estas redes es muy complejo y presenta mayor retraso en la comunicación con nodos distantes.

En la tabla 5-2 se indican las ventajas y desventajas de las topologías más comúnmente utilizadas.

Tabla 5-2: Ventajas y desventajas de las topologías de red.

<u>TOPOLOGÍAS</u>	<u>VENTAJAS</u>	<u>DESVENTAJAS</u>
ÁRBOL	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el tráfico de red. • Los dispositivos en otras jerarquías de red no se ven perjudicados en caso de fallas. • Altamente flexible • Fácil detección de errores. • Mejor acceso a cualquier dispositivo de la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sumamente costosa. • Cuando se agregan más nodos, el mantenimiento aumenta. • Si el concentrador falla, toda la red fallará. • Difícil de configurar.
ESTRELLA	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad en la detección de fallas. • Mayor confiabilidad, un fallo no afecta a la red. • La comunicación de los dispositivos es por conveniencia. • Facilidad para insertar o eliminar dispositivos de la red. • Buen rendimiento y fácil configuración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende del nodo central o concentrador. • Mayor cantidad de enlaces en comparación con la topología anillo, lo que implica mayor costo.
MALLA	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los dispositivos se comunican entre sí. • Proporciona redundancia. • Es robusto frente a fallas. • La comunicación se la realiza por caminos dedicados. • Facilidad en la detección de fallas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor dificultad en la implementación. • El costo se incrementa debido a la mayor cantidad de enlaces. • Requiere mayor número de puertos.

Fuente: (Rackley 2007; Pandya 2013)

Realizado por: Paredes, H. 2021

En base a la tabla 5-2, la topología a utilizar para la red inalámbrica es de tipo estrella, debido a que se utiliza la tecnología de Wi-Fi, esto se debe a que varios nodos finales se pueden conectar a un AP directamente, además brinda una mayor confiabilidad y añade la facilidad de detección de fallas; en el caso de un mal funcionamiento de algún nodo final, este no afectaría con el funcionamiento de la red por lo que se podría insertar o eliminar dispositivos.

2.5. Medidores de agua inteligentes con comunicación inalámbrica

Se puede utilizar varias tecnologías para desarrollar medidores de agua inteligentes, pero esto va a depender de varios factores: costo, escalabilidad, requisitos de red, y si se deben actualizar los medidores de agua existentes o reemplazarlos con nuevos diseños de medidores inteligentes. Se utilizan principalmente dos métodos para medir el flujo de agua: procesamiento de imágenes o utilización de sensores. El procesamiento de imágenes de la pantalla del medidor puede utilizar los medidores analógicos existentes, mientras que los métodos basados en sensores utilizan de tipo ultrasónicos, de detección magnética y detección capacitiva (Marais et al., 2016).

Una vez medidos los valores del caudal, utilizando cualquiera de los métodos antes mencionados se debe transmitir estos datos hacia el concentrador, para ello se hace uso de las tecnologías inalámbricas anteriormente estudiadas, todo dependerá de los requisitos de la red.

2.5.1. Medidores de agua inteligentes con procesamiento de imágenes

Este enfoque no requiere ninguna modificación de la estructura interna del medidor existente, más bien resulta útil cuando se requiere un diseño adaptable, ya que se puede ocupar un módulo de cámara externo para capturar la pantalla de un medidor de agua para su posterior procesamiento, en la figura 7-2a se muestra un ejemplo de la pantalla de un medidor de agua analógico. La pantalla consta de varios diales de flechas, así como de un dial digital; debido a que las pantallas varían entre medidores, debería desarrollarse un enfoque basado en el procesamiento de imágenes teniendo presente modelos específicos de medidores (Triantoro et al., 2014).

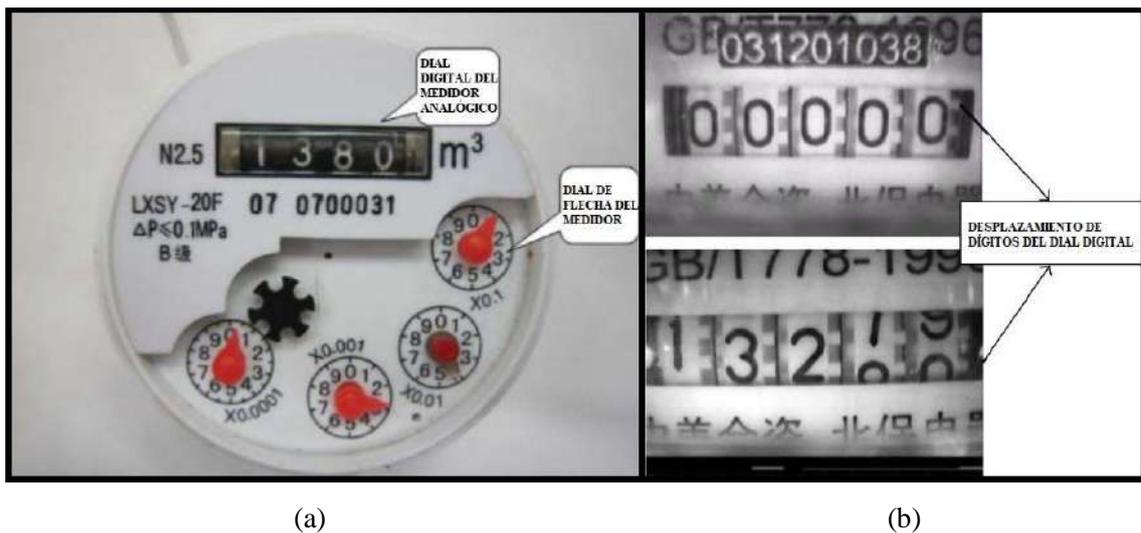


Figura 7-2: (a) Pantalla de medidor analógico; (b) Desplazamiento del dial digital

Fuente: (Triantoro et al., 2014).

El procesamiento de imágenes se aplica directamente al dial digital del medidor de agua donde se utiliza múltiples conjuntos de caracteres numéricos del 0-9 para indicar el uso del agua, este tipo de solución para medidores inteligentes resulta un completo desafío debido a que se presentan múltiples inconvenientes o desventajas que son (Triantoro et al., 2014):

- La imagen capturada puede abarcar dos medios caracteres para un dígito en específico debido a que los dígitos del dial se desplazan a medida que aumentan, en la figura 7-2b.
- La utilización del ancho de banda aumenta en comparación con los mensajes cortos emitidos por otros medidores lo cuales normalmente contienen la información del consumo.
- Otra gran limitación o desventaja es que la imagen del dial del medidor debe tomarse manualmente en el medidor y deben enviarse hacia un ordenador para su debido procesamiento.
- La imagen no debe tener brillo desequilibrado, reflejos o rayones y tampoco suciedad en el vidrio del medidor.

2.5.2. Medidores de agua inteligentes con la utilización de sensores

Son dispositivos electrónicos inteligentes los cuales presentan principalmente un sensor para la medición y un transductor; estos elementos tienen integrado un módulo para la comunicación lo que le permite integrarse a una red de medidores, y esta a su vez se comunica con un sistema para la adquisición de los datos centralizados teniendo como opción la de emitir o recibir comandos para la solicitud de la información (Calero y Sarango, 2008, pp. 4).

A continuación, se indican los diferentes tipos de sensores utilizados para la medición de caudales de agua:

- **Sensor de detección magnética.** El medidor de agua trabaja con una hélice la cual gira conforme la mueva el flujo del líquido que la atraviesa lo que genera un pulso de onda cuadrada el cual es directamente proporcional al flujo de agua que atraviesa el medidor, es decir, cuando exista mayor flujo mayor será la frecuencia del pulso (Mudumbe y Abu-Mahfouz, 2015, pp. 993-998); se utiliza un sensor de detección magnética (efecto Hall) o un emisor de impulsos ubicados en la relojería del medidor como se indica en la figura 8-2, los cuales detectan el pulso que genera la turbina cada vez que una cantidad en específico de agua fluye por el medidor; esto sirve para la conexión de módulos electrónicos los cuales transmitirán los datos de las mediciones de consumo de agua a un sistema centralizado que contendrá la información (Genebre, 2014).



Figura 8-2: Sensor de detección magnética ubicado en la relojería del medidor.

Fuente: (Genebre, 2014)

- **Sensor de detección capacitiva.** Se trabaja con un medidor de agua mecánico al cual se le integra un circuito electrónico en la pantalla que debe ser capaz de detectar la ubicación de la flecha de un puntero. Dicho circuito electrónico ocupa un generador de señales para emitir una onda cuadrada (con una frecuencia específica) a través de la flecha del metal; cuando se

combina la lámina de cobre del medidor, la flecha de metal y el agua entre estos objetos conductores se forma un capacitor, en la figura 9-2 se indica la estructura del sensor de flecha; aplicando técnicas de detección de señal capacitiva a través de almohadillas de detección se determina la posición de la flecha; para finalizar se realiza un procesamiento de dichas señales y se envían los datos obtenidos a través de un módulo con la tecnología inalámbrica que mejor convenga hacia un servidor para el tratamiento de la información (Hsia et al., 2012, pp. 402-408).

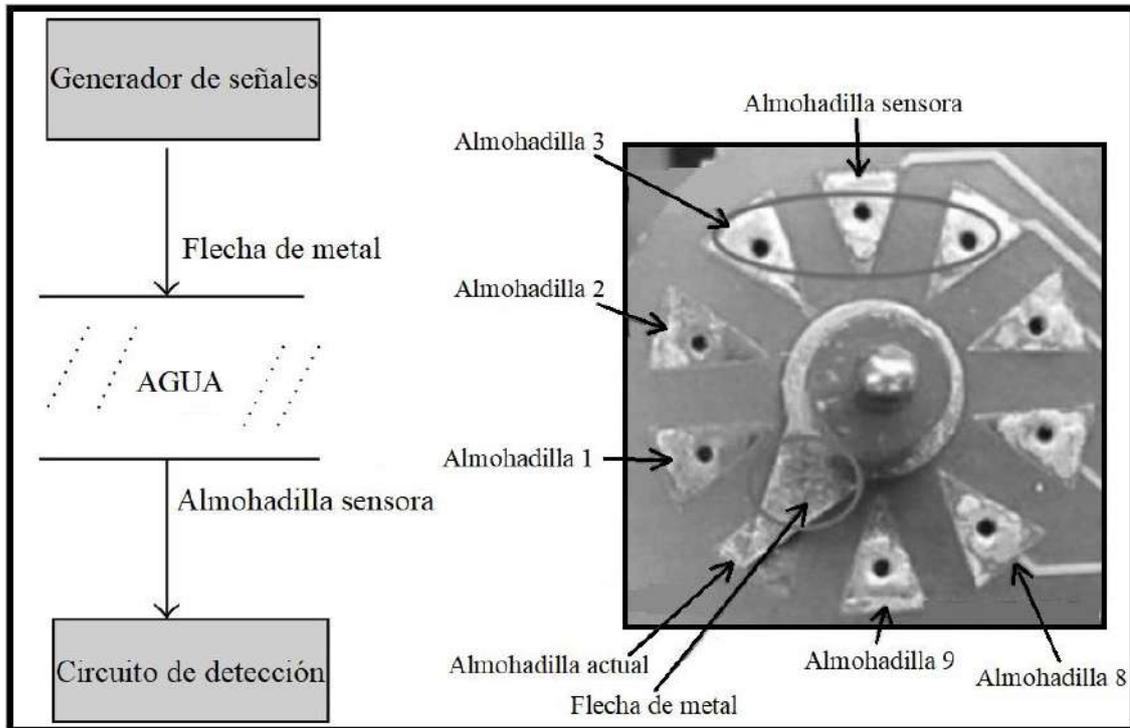


Figura 9-2: Estructura del sensor de flecha de detección capacitiva.

Fuente: (Hsia et al., 2012).

- **Sensor ultrasónico.** Se trabaja con un medidor de agua electrónico, donde el sensor genera y emite una señal ultrasónica la cual debido a su principio de funcionamiento requiere de burbujas o partículas en el flujo de agua para reflejar dicha señal y cambiar de frecuencia en una discontinuidad en movimiento en el líquido que está fluyendo, por ello este sensor también es conocido como Doppler no invasivo, en la figura 10-2 se indica el funcionamiento del sensor de flujo ultrasónico (Omega, 2017).

La tecnología que se utiliza actualmente trabaja con líquido que contenga al menos 100 partes por millón (PPM) de partículas que se encuentran suspendidas o burbujas que se encuentran en el flujo del agua; la forma de trabajo de esta tecnología es ideal para aplicaciones que requieran una baja caída de presión, compatibilidad química y bajos costos de mantenimiento (Lature, 2018).

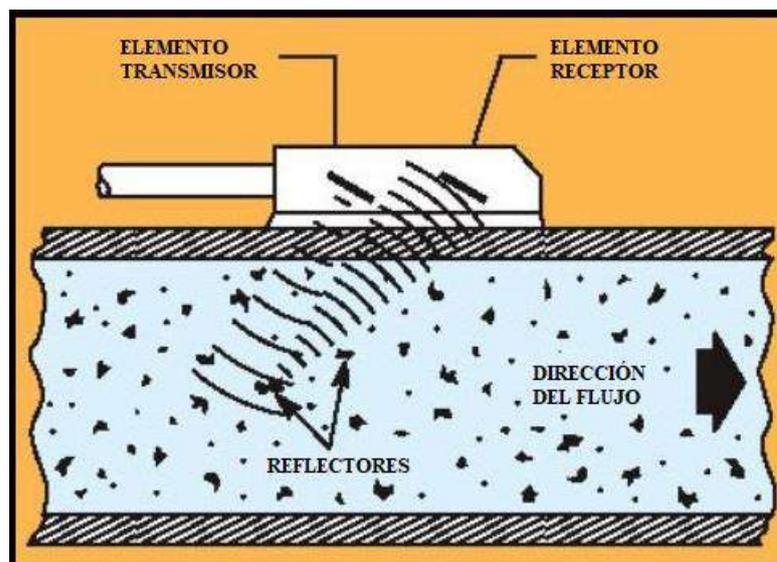


Figura 10-2: Sensor de flujo ultrasónico.

Fuente: (Omega, 2017).

2.5.3. Comparación entre medidores Inteligentes de Agua

La lectura de datos de los medidores se los efectúa utilizando los sensores antes mencionados, en la tabla 6-2 se indica las ventajas y desventajas de los medidores inteligentes de agua.

Tabla 6-2: Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes de agua.

<u>MEDIDORES</u>	<u>VENTAJAS</u>	<u>DESVENTAJAS</u>
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	<ul style="list-style-type: none"> • Reutiliza el medidor analógico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor ancho de banda utilizado. • Captura manual de la imagen del dial. • La imagen debe ser lo más nítida posible para su procesamiento. • La imagen capturada puede abarcar dos medios caracteres.
DETECCIÓN MAGNÉTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de acoplamiento del sensor en el medidor adecuado. • El valor capturado por el sensor es el mismo que se detecta en el medidor. • El valor transmitido consume bajo ancho de banda. • Se puede adaptar un sensor de efecto Hall para tomar los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El sensor emisor de impulsos es difícil de adquirir. • Costo elevado del sensor emisor de impulsos.
DETECCIÓN CAPACITIVA	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptable a la pantalla del medidor adecuado. • El valor capturado por el sensor es el mismo que se detecta en el medidor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las técnicas de detección deben ser exactas para su funcionamiento. • El adaptador no está sujeto en su totalidad al medidor.
ULTRASÓNICO	<ul style="list-style-type: none"> • Nueva tecnología en auge debido a las prestaciones que ofrece. • Sensor integrado al medidor electrónico • El valor transmitido consume bajo ancho de banda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona con un mínimo de 100PPM de partículas suspendidas o burbujas de gas de 100 micras o mayores. • Orientado a aplicaciones con baja caída de presión.

Fuente: (Triantoro et al., 2014; Genebre, 2014; Hsia et al., 2012; Omega 2017)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 6-2 se obtiene que el medidor inteligente de agua que utiliza la detección magnética para capturar los datos medidos resulta ser el más aceptable debido a que en el sector de estudio, el medidor utilizado puede trabajar con este tipo de sensor para capturar los datos, procesarlos y transmitirlos mediante Wi-Fi, además de que presenta las ventajas de que se puede sustituir el sensor emisor de impulsos por un sensor de efecto Hall de detección magnética, ya que el costo es reducido y más fácil de adquirir en el país, el acoplamiento del sensor con el medidor es relativamente fácil, y el valor a transmitir consume un bajo ancho de banda.

2.6. Tarjetas de desarrollo

Son placas de desarrollo de *hardware*. Tienen su propio sistema operativo y lenguaje de programación. Son muy útiles a la hora de implementar sistemas que realizan funciones específicas. Las placas de desarrollo más utilizadas se describen:

- **Arduino**, es un código fuente abierto, basado en *hardware* y *software* flexible diseñado para crear un entorno interactivo, con un microcontrolador que puede usar el lenguaje de programación Arduino y el lenguaje de programación C para programar las actividades requeridas.

Usado para controlar actuadores, sensores, obtener medidas o utilizarlas para leer información de fuentes (Arduino, 2018).

- **Raspberry Pi**, es una plataforma diseñada como microcomputadora por la Fundación Raspberry Pi, tiene como objetivo crear un dispositivo de bajo costo y bajo consumo de energía; tiene potentes capacidades de procesamiento y puede ejecutar un sistema operativo basado en Linux.

Para procesos automatizados, es útil crear aplicaciones usando una interfaz gráfica. El lenguaje de programación de la plataforma es de alto nivel, tal como Python, C, Java, entre otros (HETPRO, 2017).

- La placa **NodeMCU** de código abierto basada en el chip ESP8266 está desarrollada para aplicaciones que necesitan conectarse a WiFi en tiempos relativamente cortos, tiene alta capacidad de procesamiento y almacenamiento.

Utiliza Lua como lenguaje de programación el cual es compatible con Arduino. NodeMCU puede crear rápidamente aplicaciones de IoT y conectar dispositivos a la nube (ElectroniLAB, 2017).

2.6.1. Análisis comparativo de las tarjetas de desarrollo

A continuación, en la tabla 7-2 se indica la información comparativa de las características más sobresalientes de las tarjetas de desarrollo.

Tabla 7-2: Cuadro comparativo con las tarjetas de desarrollo

CARACTERÍSTICAS	RASPBERRY PI	ARDUINO	NODEMCU
Fabricante	Raspberry Pi Foundation	Arduino	Amica
Modelo	Raspberry Pi 3 Model B	Arduino Mega	NodeMCU v3
Procesador	Cortex-A53 (ARMv8)	AT mega 2560	ESP 8266
Voltaje de Operación	5V	5 V (2-12V)	5V (USB)
Corriente de operación	2.5A	40 mA	200 mA
RAM	1Gb LPDDR2	2 kb	32 kb
Flash	Tarjeta SD	256 kb	4 Mb
Frecuencia de Reloj	1.2GHz	16 MHz	80 MHz
Puertos disponibles	GPIO (40 terminales) 1 puerto serie (UART)	54 puertos digitales, 16 Analogicos y 4 UARTs	1 analógico ADC, 2 UARTs y GPIO 17 terminales.
Wi-Fi	No disponible	No disponible	Antena incorporada de Wi-Fi, PCB Trace
Ventajas	Ejecuta varias tareas y programas en un segundo plano. Memoria rápida.	Gran capacidad de procesamiento, compatible con cualquier SO. Entorno de desarrollo propio.	Es compatible con el IDE de Arduino y librerías. Rápida conexión a Wi-Fi.
Desventajas	No flexible para lecturas, requiere <i>hardware</i> adicional.	Coste adicional por adquisición de módulos agregados (<i>shields</i>) para estandarización.	No cuenta con conexión estándar para antena Wi-Fi.
Costo	\$40	\$22	\$15

Fuente: (Asadobay y Paca, 2019)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 7-2, se selecciona la tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP 8266, debido a las prestaciones que ofrece y a su tamaño reducido, ya que tiene integrado un chip Wi-Fi de bajo costo que permite conectar dispositivos a la nube en un tiempo relativamente corto, tiene una alta capacidad de procesamiento y almacenamiento utilizando una programación del microcontrolador sencilla ya que es compatible con el entorno de desarrollo de Arduino, funciona con bajo consumo de energía de 5V-200mA lo que permite integrarse con sensores y dispositivos específicos que normalmente trabajan con esos niveles de voltaje y corriente.

2.7. Sensores

Son dispositivos electrónicos que puede emitir cambios eléctricos al detectar estímulos o señales físicas o químicas, como temperatura, distancia, aceleración, inclinación, humedad, radiación solar, magnetismo, entre otros (Pallás, 2007).

2.7.1. *Sistemas de posicionamiento global*

Es un sistema de navegación por radio que proporciona servicios de posicionamiento, navegación y cronometraje confiables y gratuitos para usuarios civiles de todo el mundo. Para cualquier persona con un receptor GPS.

El sistema proporcionará su ubicación y hora exacta, independientemente de si es de día o de noche, y bajo cualquier condición climática en cualquier parte del mundo, el número de usuarios simultáneos es ilimitado (GPS, 2017).

Los módulos de GPS abarcan pequeños procesadores junto con antenas que reciben de forma directa los datos captados de los satélites mediante frecuencias de RF dedicadas. Mientras más satélites recepte se puede calcular con precisión la posición actual junto al tiempo, algunos módulos GPS más utilizados se describen a continuación (Shawn, 2019):

- **Módulos GPS U-Blox**, son considerados como uno de los módulos GPS más populares en el mercado debido a que trabajan con todos los sistemas GNSS disponibles (GPS/QZSS, Galileo, GLONASS, BeiDou y SBAS).
Se debe considerar que estos módulos son escalables y de alta calidad, además de que están aptos para su utilización en aplicaciones M2M, industriales, vehiculares y telemática.
Cada módulo de esta familia ofrece fácil integración, tamaño reducido y bajo consumo de energía (U-Blox GPS, 2019).
- **Módulos GPS Grove**, son dispositivos rentables de bajo costo y altamente eficientes, cuentan con una interfaz SIM28 la cual se utiliza como GPS asistido, para su configuración cuenta con una comunicación serial; se los utiliza en aplicaciones como navegación y servicios de localización debido a su sensibilidad de seguimiento, adquisición de datos y bajo consumo de energía; soporta el protocolo NMEA (Grove GPS, 2020).
- **Módulos GPS Air530**, es un módulo de posicionamiento y de navegación por satélite de alto rendimiento, compatible con GPS/BeiDou/Glonass/Galileo/QZSS/SBAS, capaz de recibir al mismo tiempo más de 6 satélites, esto lo hace apto para aplicaciones de navegación GPS, rastreador GPS, medición de distancia, navegación para automóviles y drones.
Cuenta además con una gran precisión y presenta bajo consumo de energía (Air530 GPS, 2020).

2.7.1.1. Análisis comparativo de los módulos GPS

A continuación, en la tabla 8-2 se indica la información comparativa de las características más sobresalientes de los módulos GPS.

Tabla 8-2: Cuadro comparativo con los módulos GPS.

CARACTERÍSTICAS	GPS U-Blox	GPS Grove	GPS Air530
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreador GPS • Navegador GPS • Dispositivos móviles con baterías 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreador GPS • Navegación GPS • Medida de distancia 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreador GPS • Navegador GPS • Medida de distancia
Tamaño	23mmX30mm	40mmX20mmX13mm	40mmX20mmX13mm
Frecuencia de actualización	1 Hz, máximo 5 Hz	1 Hz, máximo 10Hz	-
Tasa de transferencia	9,600 - 230,000 baudios	9,600 – 115,200 baudios	-
Sensibilidad	-161 dBm	-160 dBm	-
Requerimientos de energía	3V – 5V a 30mA	3.3V – 5V a 30mA	3.3V – 5V a 1mA
Número de canales	22 seguimiento 50 canales	22 seguimiento 66 canales	-
Arranque primera vez	En frío: 27s En caliente: 27s	En frío: 13s En caliente: 12s	En frío: 30s En caliente: 4s
Antenas	Antena de parche externa	Antena incluida	Antena incluida
Precisión	Horizontal: 2.5m	Horizontal: 2.5m	Horizontal: 2.5m
Costo	\$15	\$50	\$20

Fuente: (Shawn, 2019; U-Blox GPS, 2019; Grove GPS, 2020; Air530 GPS, 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 8-2, se selecciona el módulo GPS U-Blox debido a las prestaciones que ofrece, a su tamaño reducido y bajo costo; cuenta con rastreo GPS con una precisión de 2.5m lo que conjuntamente con su bajo consumo de energía de 3 – 5V a 30mA le permite la fácil integración con microcontroladores debido a que resulta compatible con el entorno de desarrollo de Arduino que normalmente trabaja con esos niveles de voltaje y de corriente.

2.7.2. Sensor de detección magnética

O también denominado de efecto Hall, son sensores de campo magnético los cuales están diseñado para su fácil utilización e implementación con microcontroladores; estos sensores

permite detectar campos magnéticos lo cual resulta muy útil debido a sus aplicaciones como sensor de posicionamiento no invasivo, contador de ciclos, entre otros (Araujo, 2019).

Este tipo de sensores requieren de un circuito de acondicionamiento para que la señal de salida sea utilizable en varias aplicaciones, los circuitos de acondicionamiento pueden ser para la amplificación, regulación del voltaje, linealidad, compensación de temperatura, entre otros. Principalmente hay dos tipos de sensores de efecto Hall que son (Lugo, 2018):

- **Sensores de efecto Hall analógicos**, son dispositivos básicos que contienen un terminal el cual entregará una señal proporcional a la intensidad de campo magnético capturada por el sensor, es decir, son similares a los sensores de tensión o de temperatura (Sepia, 2020).
- **Sensores de efecto Hall digitales**, son dispositivos más básicos que los analógicos, dado que solo detectan si existe o no campo magnético generando un valor alto de tensión, se activan con el acercamiento de un polo manteniendo su valor hasta que se acerca el polo contrario (Sepia, 2020).

2.7.2.1. Análisis comparativo de los sensores de efecto Hall

A continuación, en la tabla 9-2 se indica la información comparativa de las características más sobresalientes de los sensores de efecto Hall, así como también sus ventajas y desventajas.

Tabla 9-2: Cuadro comparativo con los sensores de efecto Hall.

<u>CARACTERÍSTICAS</u>	<u>Sensores Hall analógicos</u>	<u>Sensores Hall digitales</u>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de posición, sin contacto • Larga vida útil • Operan hasta 100kHz • Operan con alto rango de temperatura • Operan a altas velocidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de posición, sin contacto • Larga vida útil • Rango de funcionamiento menor de 10cm • Operan con alto rango de temperatura • Operan a altas velocidades
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad relativamente pequeña • Pueden verse afectados por factores externos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad relativamente pequeña • Pueden verse afectados por factores externos
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de campos magnéticos • Medición de corriente sin potencial • Medición del espesor de algunos materiales • Censado de fuentes de poder 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisor de señales sin contacto • Equipos de automatización • Automovilismo • Medición de aceleración • Detección de metales • Detección de materiales ferrosos

Tabla 9-2: (Continuación).

Funcionamiento	• Produce una señal de voltaje proporcional al campo magnético al que está expuesta.	• Salida con dos niveles alto y bajo, detecta si hay o no un campo magnético.
-----------------------	--	---

Fuente: (Lugo, 2018; Sepia, 2020; Alvarado et al., 2015)

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 9-2, se selecciona el sensor de efecto Hall con terminal digital debido a que el prototipo requiere detectar un pulso magnético que se genera en el medidor previamente señalado, de esta manera genera un valor de tensión alto cuando detecta dicho pulso y bajo si no existe dicho pulso magnético, en otras palabras, funciona como un interruptor digital, debido a que no se va a medir el campo magnético como lo harían los analógicos simplemente se va a detectar su presencia. Dado que su rango para captar los campos magnéticos es menor a 10cm, lo hace invulnerable a interferencias externas, debido a que capta el pulso magnético con la cara delantera del sensor, la cual está dirigida hacia el medidor. Otro factor importante para su utilización es la larga vida útil que posee, ya que no necesita contacto directo para funcionar.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se indica el diseño de *software* y *hardware* del prototipo para la telemedición del consumo de agua potable teniendo presente para ello las características primordiales y factores para su desarrollo, así como también la información necesaria para determinar los requerimientos técnicos que deben cumplirse en la red de comunicaciones y la realización de cada uno de los bloques que integran la ejecución del prototipo y se justifica la selección de sensores y componentes que lo integran.

3.1. Requerimientos del prototipo de telemedición de agua potable

Por medio del levantamiento de información en la zona de estudio, se establecen los parámetros que debe cumplir el prototipo para la telemedición de agua potable en el Barrio la Magdalena, mismos que son presentados a continuación:

- Ser capaz de incorporarse a una red inalámbrica con tecnología Wi-Fi.
- Ser capaz de incorporar dispositivos hasta 20 m de distancia del punto de acceso.
- Ser capaz de identificar cada medidor con su respectivo usuario.
- Enviar cada día una lectura de medición acumulada hacia el servidor Web.
- Enviar la ubicación del prototipo utilizando el módulo GPS.
- Almacenar los valores medidos por el prototipo en una base de datos en el servidor Web.
- Mostrar la tarificación y el consumo de agua potable en la aplicación Web.
- La red debería soportar 248 usuarios inicialmente.
- Ser de bajo costo, bajo consumo de energía, fácil instalación y escalable.

3.2. Arquitectura general del prototipo

La arquitectura general propuesta para el prototipo de telemedición de agua potable se presenta en la figura 1-3 la cual consta de 4 etapas o bloques fundamentales: recolección de los datos, transmisión y recepción de los datos vía internet, almacenamiento de los datos y procesamiento de la información; cada etapa presenta su respectivo diagrama de bloques los cuales indican las principales funciones que se llevan a cabo en cada una de ellas.

La arquitectura general del prototipo se basa en una red de comunicaciones simplificada, donde el sistema transmisor está compuesto por el nodo inteligente, mismo que captura los datos y los envía hacia la red de comunicación, se ubica de forma contigua al medidor de agua. El medio de comunicación utilizado es la red de internet ya desplegada en la zona de estudio. El sistema receptor se conforma por el servidor Web, mismo que, una vez implementado el prototipo se ubicará en las oficinas de la Municipalidad de Guano.

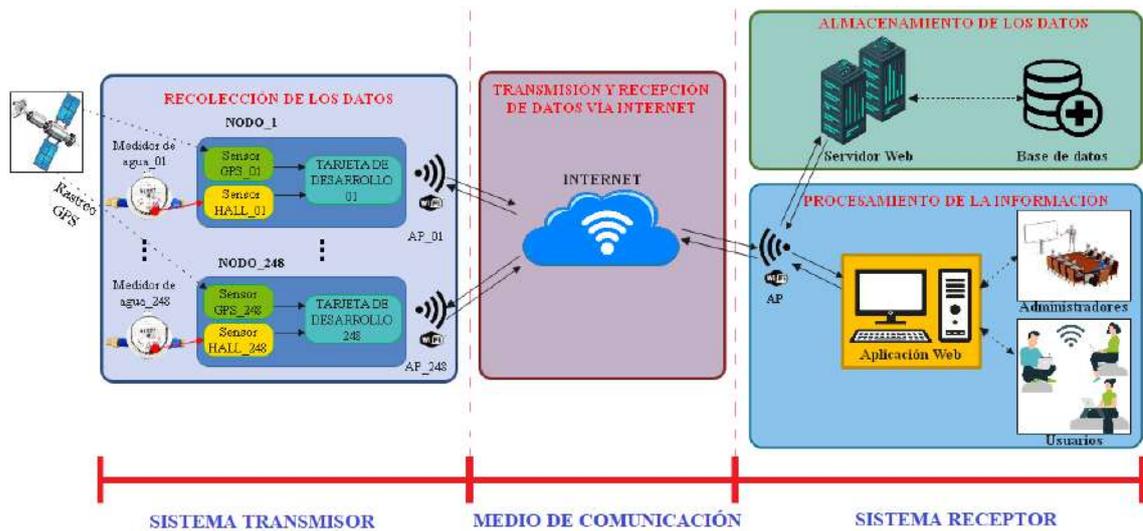


Figura 1-3: Arquitectura general del prototipo.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.3. Etapas que componen el prototipo

En la figura 2-3 se presenta las diferentes etapas con las que se encuentra constituido el prototipo de nodo inteligente para telemedición de agua potable, las cuales se detallan a continuación.

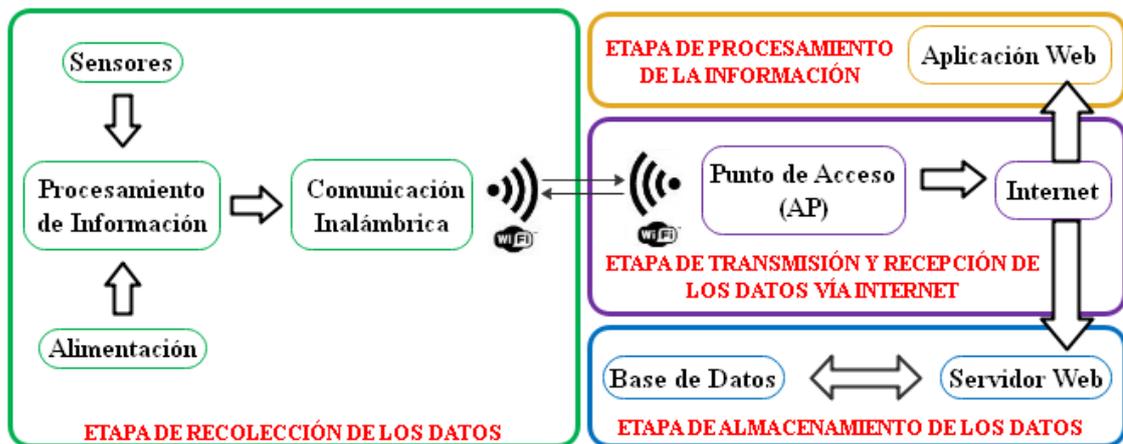


Figura 2-3: Etapas que componen el prototipo.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.3.1. Etapa de recolección de los datos

En esta etapa se muestra un bloque de sensores el cual consiste en la captura y obtención de los datos tanto de detección magnética para precisar la medición del consumo de agua potable, así como también la localización GPS de un usuario específico.

Se establece un bloque de procesamiento de información en el que los datos obtenidos en el bloque de sensores son tratados en una tarjeta de desarrollo misma que transforma dichos datos

en información tanto de valores en metros cúbicos (m³) del consumo de agua potable como de valores de latitud y longitud de la localización GPS.

Se define un bloque de comunicación el cual envía la información inalámbricamente mediante Wi-Fi hacia el punto de acceso dentro del rango de cobertura con la respectiva identificación y contraseña. Y se presenta también un bloque de alimentación el cual se encarga de suministrar energía hacia todos los componente y elementos que conforman el prototipo.

3.3.2. Etapa de transmisión y recepción de datos vía internet

Dentro de esta etapa se considera el envío de la información obtenida del prototipo, mismo que identifica a cada prototipo con su respectivo usuario específico para que la información pueda atravesar el sistema de comunicación sin inconvenientes y que la información obtenida no se dirija hacia otro usuario.

La información obtenida por el prototipo de cada usuario se envía de forma inalámbrica (Wi-Fi) por el punto de acceso dentro del rango de cobertura, el cual debe poseer acceso a internet proporcionado por la empresa proveedora de dicho servicio la cual guiará la información ya sea mediante fibra óptica o cobre hacia un servidor Web el cual contenga la información necesaria para almacenar y procesar los datos que accedan a dicho servidor Web.

3.3.3. Etapa de almacenamiento de los datos

En esta etapa se considera el almacenamiento de los datos de consumo de agua y de localización GPS, esta información se guarda en la base de datos con que se realiza después la debida tarificación acorde a las factibilidades que ofrece la DIMAPAG.

El precio se establece según el uso que se dé al líquido vital, siendo estas denominaciones de tipo comercial, industrial, doméstica, oficial o público y áreas verdes, información que debe tomarse en cuenta para el debido procesamiento de la información.

3.3.4. Etapa de procesamiento de la información

En esta etapa se procesa el consumo de agua potable, la localización GPS del prototipo y la debida tarificación, por lo que se utiliza una aplicación Web que ayude con este trabajo.

En la aplicación Web se gestionan a los usuarios con sus respectivos medidores, para lo cual, la aplicación Web debe estar alojada en un servidor Web para acceder fácilmente desde cualquier sitio con acceso a Internet, de esta manera realizar las consultas del consumo de agua para los usuarios además de que ayuda a los miembros de la DIMAPAG en la tarificación y a ubicar en tiempo real los dispositivos, de esta manera, ofrecer protección al prototipo.

3.4. Selección de los componentes electrónicos que conforman el prototipo

A continuación, se indican los componentes electrónicos principales que se utilizan para el diseño del prototipo de nodo inteligente para la telemedición de agua potable y se establecen las características mínimas que cada dispositivo seleccionado debe cumplir para tener un correcto funcionamiento del nodo inteligente. Al final del documento se anexan los *datasheets* de cada componente.

3.4.1. Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266

NodeMCU es una plataforma de código abierto cuyo diseño de *hardware* está desarrollado para el chip ESP8266 que es muy utilizado en la actualidad dado que puede conectar objetos y permite el envío de datos utilizando el protocolo de Wi-Fi además de que posee características esenciales de los microcontroladores como ADC, PWM, GPIO, entre otros (NodeMCU, 2019).

Este módulo permite una programación sencilla debido a que su lenguaje de programación es compatible con Arduino, en la figura 3-3 se observa el NodeMCU ESP8266; las especificaciones técnicas del NodeMCU se visualizan en la tabla 1-3 (Llamas, 2021). Ver anexo B.



Figura 3-3: Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 1-3: Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266.

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>NODEMCU ESP8266</u>
Voltaje de operación	5V y 3.3V en entradas y salidas
Corriente	80mA
Rango de Frecuencia	2,400 – 2,483.5 MHz
Frecuencia de reloj	80MHz / 160MHz
Antena	Interna impresa en PCB
Compatibilidad	IEEE 802.11 b/g/n
Sensibilidad de recepción	-91dBm, -75dBm y -72dBm
Potencia Transmisión	+20dBm, +17dBm y +14dBm

Fuente: (NodeMCU, 2019; Llamas, 2021)

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.4.2. Tarjeta de desarrollo Arduino NANO

Es una placa pequeña que contiene un microcontrolador de Atmel, el ATmega328p en su versión 3.x, es flexible y de uso relativamente fácil, funciona con una frecuencia de 16MHz, la cual está diseñada para el desarrollo de proyectos con baja demanda de energía y con espacios reducidos para su instalación (Isaac, 2020).

Esta placa permite una programación sencilla debido a que su lenguaje de programación es Arduino que está basado en C++, en la figura 4-3 se observa la placa de Arduino Nano; las especificaciones técnicas del mismo se visualizan en la tabla 2-3(Isaac, 2020). Ver anexo C.

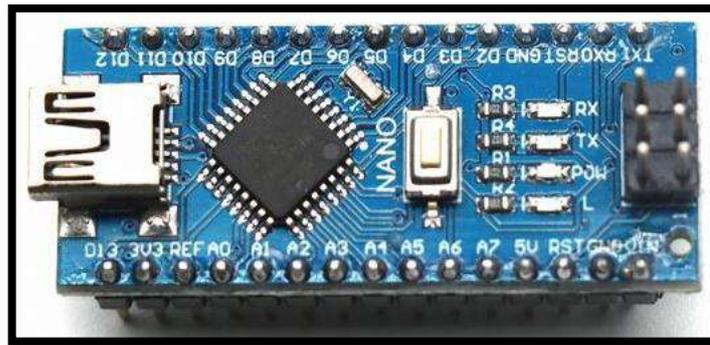


Figura 4-3: Tarjeta de desarrollo Arduino Nano.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 2-3: Especificaciones técnicas del Arduino Nano.

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>ARDUINO NANO</u>
Voltaje de operación	3.5V en entradas y salidas
Corriente	40mA
Frecuencia de reloj	16MHz
Salidas PWM	6
Consumo de energía	19mA
Terminales	8 analógico y 22 digitales
Memoria	30KB

Fuente: (Isaac, 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.4.3. Módulo GPS Ublox NEO-6M

Basado en el chip de Ublox NEO-6M compatible con Arduino y otros microcontroladores, es de tamaño reducido por lo que resulta portable para su utilización en varias aplicaciones; mide algunos parámetros como latitud, longitud, altitud, velocidad (Dualtronica, 2020).

Este módulo viene con EEPROM incluido y consta con conectores para la alimentación, transmisión de datos y acoplamiento de antena, en la figura 5-3 se presenta el módulo GPS y sus respectivas especificaciones técnicas se visualizan en la tabla 3-3 (Ublox, 2011). Ver Anexo D.

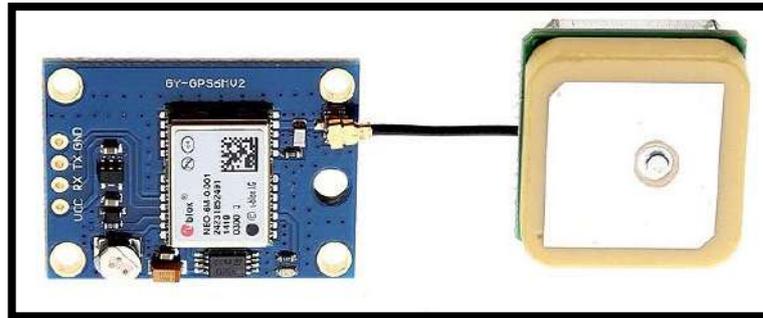


Figura 5-3: Módulo GPS Ublox NEO-6M.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del módulo GPS Ublox NEO-6M.

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>Módulo GPS Ublox NEO-6M</u>
Voltaje de operación	3.5 – 5V
Corriente en adquisición	40 mA
Tasa de transferencia	9,600 baudios
Sensibilidad	-161 dBm
Velocidad máxima	515 m/s
Exactitud	1 mS
Precisión	2.5 m

Fuente: (Ublox 2011; Dualtronica 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.4.4. Sensor de detección magnética KY-024

O también denominado de efecto Hall, es un sensor de campo magnético de tipo lineal, el cual está diseñado para su fácil utilización e implementación con microcontroladores; este sensor permite detectar campos magnéticos lo cual resulta muy útil debido a sus aplicaciones como sensor de posicionamiento no invasivo, contador de ciclos, entre otros (Araujo, 2019).

Este sensor es utilizado como interruptor que se activa con el acercamiento de un polo manteniendo su valor alto de tensión hasta que se acerca el polo contrario, en la figura 6-3 se observa el sensor de efecto Hall KY-024; las especificaciones técnicas del sensor se visualizan en la tabla 4-3 (Warta, 2017). Ver anexo E.

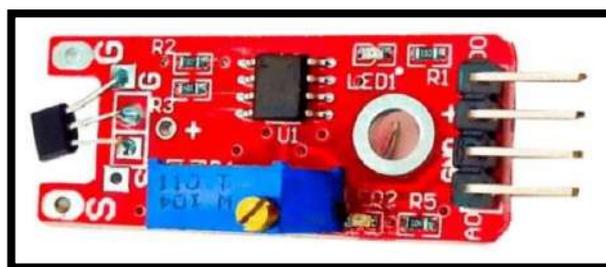


Figura 6-3: Sensor de efecto Hall KY-024.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas del sensor de efecto Hall KY-024.

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>Sensor KY-024</u>
Voltaje de operación	3.3 – 5V
Corriente	20mA
Tiempo de respuesta	3 uS
Interruptor digital	Salida (0 / 1)
Señalización	Led indicador de alimentación, led indicador de salida digital
Temperatura	-40°C a 85 °C
Dimensiones	15x12x44 mm

Fuente: (UNIT, 2019; Warta, 2017)

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.4.5. Alimentación del prototipo

Al ser un sistema de medición debe permanecer en constante funcionamiento, por lo que cuenta con una alimentación a la red eléctrica ya que el prototipo funciona en viviendas residenciales, y en caso de un fallo eléctrico cuenta con una batería auxiliar, lo que le permitirá seguir trabajando normalmente, esta batería debe ser confiable en cuanto a su capacidad de almacenamiento de energía, para este caso en particular se utiliza la batería Lipo de 3.7V a 2000mAh que resulta apta para usarse en el prototipo de nodo inteligente debido a los parámetros de alimentación que requieren cada uno de los componentes, además de que sus dimensiones la hacen idónea para su incorporación en el prototipo, incluye un circuito de protección (Adafruit, 2020).

En la figura 7-3 se indica la batería Lipo de 3.7V a 2000mAh con sus respectivas características técnicas en la tabla 5-3. Ver anexo F.



Figura 7-3: Batería Lipo 3.7V a 2000mAh.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 5-3: Especificaciones técnicas de la batería Lipo 3.7V a 2000mAh.

<u>ESPECIFICACIONES</u>	<u>Batería Lipo</u>
Voltaje de operación	3.7V
Corriente	2000mA
Peso	33 g
Dimensiones	49x34x10 mm

Fuente: (Adafruit, 2020)

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.5. Esquema de conexión del prototipo

En la figura 7-3 se presenta el diagrama de conexión del prototipo de nodo inteligente el cual está constituido por una tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266, dos placas Arduino Nano, el sensor de detección magnética KY-024, el módulo GPS Ublox NEO-6M y una batería Lipo de 3.7V; dichos componentes se conectan de la siguiente forma:

- Los terminales de la batería tanto el positivo como el negativo se encuentran conectados con los terminales de Vin y GND para dar alimentación a la tarjeta ESP8266 y a las tarjetas de Arduino Nano 1 y 2.
- El sensor de detección magnética se conecta a los terminales de salida de voltaje de +5V y GND de la tarjeta Arduino Nano_1 y como la función principal del sensor es la de interruptor, se conecta la terminal digital de dicho sensor a la terminal D2 que la tarjeta proporciona.
- El módulo de GPS se conecta a los terminales de salida de voltaje de 3.3V y GND de la tarjeta Arduino Nano_2 mientras que los terminales de comunicación tanto de transmisión como de recepción se conectan a los terminales D3 y D4 que la tarjeta proporciona.
- Los terminales RX0 y TX1 de la tarjeta Arduino Nano_1 se comunica por el puerto serial con una velocidad de transferencia de 115200bps con la tarjeta ESP 8266 en los terminales TX y RX que dicha tarjeta proporciona; en cambio los terminales RX0 y TX1 de la tarjeta Arduino Nano_2 se comunica por el puerto serial con una velocidad de transferencia de 57600bps con la tarjeta ESP 8266 en los terminales D1 y D2 que la tarjeta proporciona.

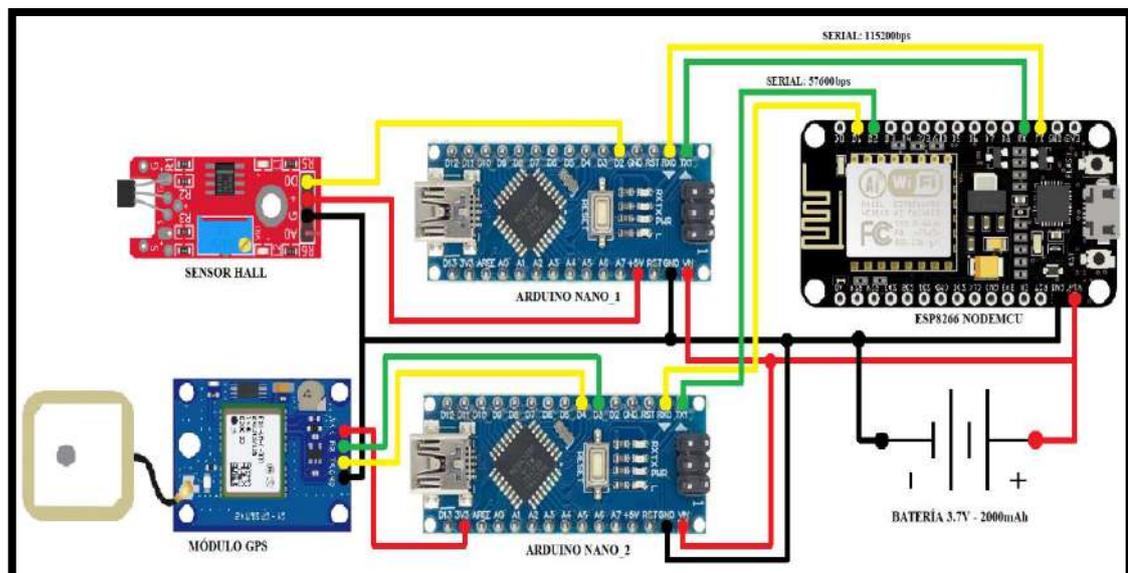


Figura 8-3: Esquema de conexión del prototipo de nodo inteligente.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.6. Selección del *software* de desarrollo del prototipo

Para el desarrollo del prototipo de telemedición de agua potable, se seleccionan las herramientas de *software* que controlen el *hardware* detallado en párrafos anteriores, dichas herramientas se detallan a continuación mismas que son indispensables para el diseño del prototipo.

3.6.1. *Arduino IDE*

Es un entorno de desarrollo integrado por un conjunto de herramientas de programación, es de código abierto basado en lenguaje C, por lo que cuenta con librerías gratuitas que facilitan la ejecución de instrucciones y operaciones utilizadas para el funcionamiento del módulo ESP8266, utilizando la versión IDE 1.8.15 actualizada de 2021, que permite cargar los códigos necesarios para el funcionamiento del prototipo de telemedición de agua (Fernández, 2020).

Se utilizan las siguientes librerías en la programación en la etapa de adquisición de los datos:

- **TinyGPS.h**, librería que proporciona funcionalidades de GPS NMEA la cual proporciona datos de posicionamiento, velocidad, latitud, longitud, fecha y hora (Hart, 2020).
- **SoftwareSerial.h**, librería que permite la comunicación serial en terminales diferentes de la placa de Arduino, misma que replica esta funcionalidad (Arduino UART, 2020).
- **ESP8266WiFi.h**, librería que proporciona las operaciones necesarias de WiFi de la tarjeta ESP8266 a las que se citan para conectarse a la red (ESP8266 2020, p. 2).
- **WiFiClient.h**, librería que crea un cliente el cual puede acceder a una dirección IP de internet y un puerto específico (Arduino Client, 2020).
- **ESP8266HTTPClient.h**, librería que permite enviar la información requerida hacia un servidor para su debido tratamiento (Arduino HTTP, 2020).

3.6.2. *000Webhost*

En una plataforma que brinda un servicio de *hosting* que de manera gratuita permite el alojamiento de contenido web personalizado en la internet y como características principales ofrece: 300MB de espacio de almacenamiento, 3GB de banda ancha para el tráfico, compatibilidad con MySQL y PHP, realiza instantáneamente copias de seguridad y realiza la transferencia de archivos utilizando el protocolo FTP (FUTRERA, 2020).

Esta plataforma como servidor web permite alojar el contenido de la base de datos y presentar la interfaz gráfica de usuario además que puede actualizarse a Premium con mayor rendimiento y características mejoradas (FUTRERA, 2020).

3.6.3. *MySQL*

Es un gestor de base de datos relacional que mediante su licencia gratuita y código abierto permite la creación, administración y actualización de la información recopilada utilizada para llevar a cabo varias actividades o procesos de forma ordenada, además de que permite facilidad en su manipulación (Bahamonde, 2020, pp. 16-17). La utilización a través de la web de MySQL se lo realiza a través del *software* libre phpMyAdmin la cual brinda al usuario funciones de administración de base de datos de manera más fluida e intuitiva utilizando una interfaz gráfica (PhpMyAdmin 2019).

3.7. Diagrama de flujo del prototipo de telemedición de agua

En este apartado se describen las herramientas de *software* utilizadas para el desarrollo del prototipo, para lo cual se presentan diagramas de flujo en donde se indica el proceso que cumple el prototipo de telemedición de agua en cada una de sus etapas.

3.7.1. *Software de la etapa de recolección de los datos*

En este apartado se presenta el *software* diseñado para la etapa de recolección de datos, para lo cual se utiliza el entorno de desarrollo Arduino, donde se ejecutan las funciones de adquisición y conversión de los datos capturados por los sensores de efecto Hall y el módulo GPS, mismos que envían los datos capturados a una tarjeta central, en este caso la ESP8266 que se encarga de establecer los parámetros necesarios para la posterior comunicación inalámbrica. En el anexo G se indica la programación necesaria para esta etapa.

Se utilizan dos Arduinos Nano en esta etapa, el primero que trabaja en conjunto con el sensor de efecto Hall y el segundo con el módulo GPS, esto debido a que los recursos de *hardware* que ofrece por sí sola la tarjeta ESP8266 son limitados, es decir, la capacidad de memoria y procesamiento no abastecen la ejecución del programa necesario para la aplicación diseñada, por lo que se trabaja con procesos separados controlados por una tarjeta principal, la ESP8266, misma que establece la comunicación con las tarjetas Arduino Nano 1 y 2.

3.7.1.1. *Proceso de recolección de datos del sensor Hall en la tarjeta Arduino Nano_1*

En la figura 9-3 se observa el diagrama de flujo de la etapa de adquisición de datos del sensor de efecto Hall, el cual está programado en la tarjeta Arduino Nano_1, de la cual se desarrolla el siguiente proceso:

- Declaración del terminal de entrada digital en D2 para conectar el sensor Hall.
- Declaración de variables locales para utilizar en el desarrollo de medición de agua.
- Iniciar la función de interrupción **ISRCountPulse ()** para el conteo de pulsos cuando sean detectados por el sensor.

- Iniciar la comunicación serial en 115200bps para su conexión con la tarjeta ESP8266.
- Realizar las respectivas operaciones para calcular el consumo en m³ de agua potable, acumularlos en la variable correspondiente y cambiar el formato a cadena de caracteres para enviarlo hacia la tarjeta ESP8266.
- Leer del puerto serial el dato emitido por la tarjeta ESP8266 que indica la puesta a ceros de las variables que acumulan información, esto se realiza a las 00H00.

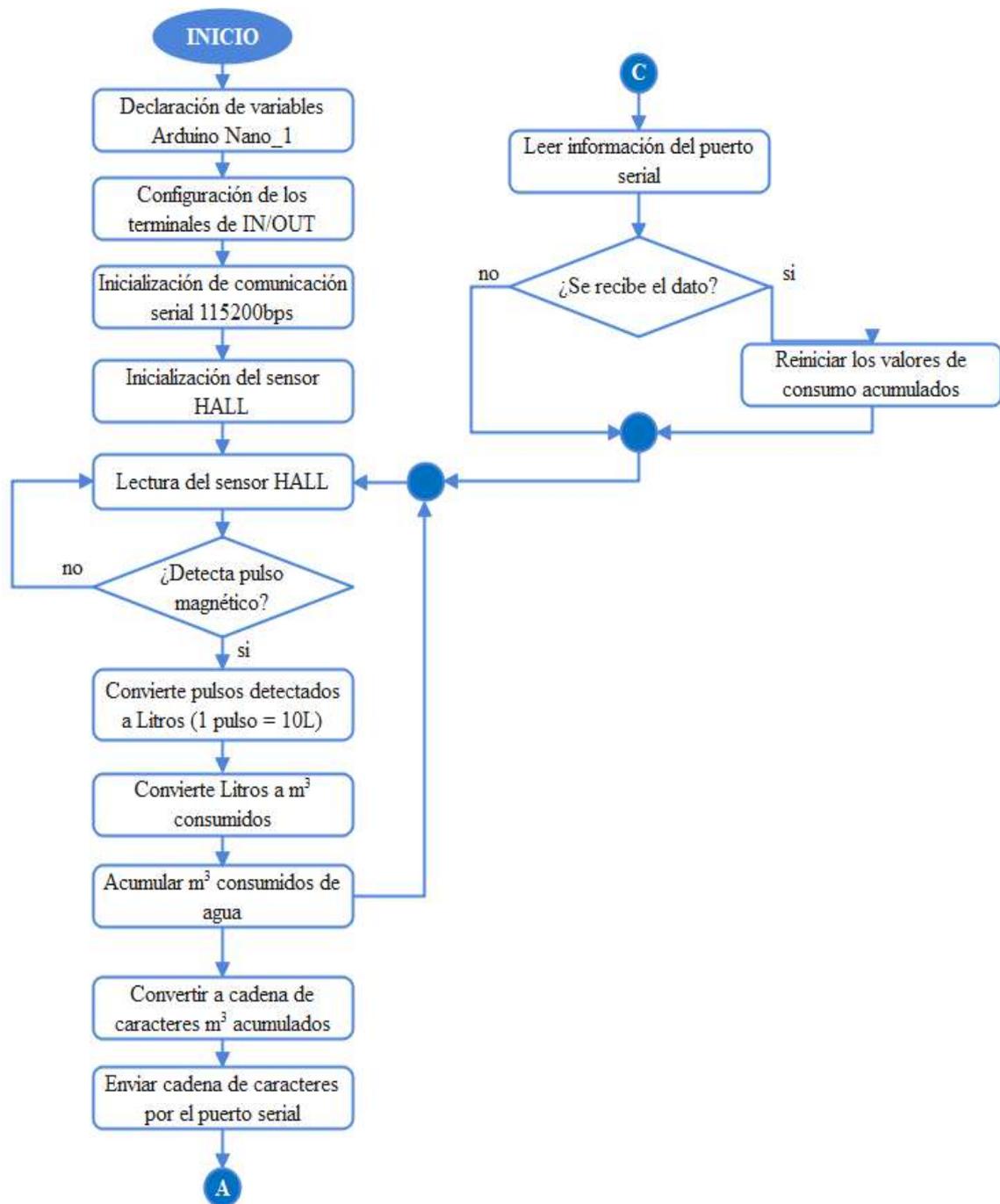


Figura 9-3: Diagrama de flujo de la etapa de recolección de los datos del sensor Hall en la tarjeta Arduino Nano_1.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.1.2. Proceso de recolección de datos del módulo GPS en la tarjeta Arduino Nano_2

En la figura 10-3 se observa el diagrama de flujo de la etapa de adquisición de datos del módulo GPS, el cual está programado en la tarjeta Arduino Nano_2, de la cual se desarrolla el siguiente proceso:

- Inclusión de librerías para la ejecución del programa tales como **TinyGPS.h** y **SoftwareSerial.h**.
- Declaración de los terminales D4 y D3 para usarlos en la comunicación serial como Rx y Tx a 9600bps que se conectan al módulo GPS para obtener la información del satélite.
- Declaración de variables locales para utilizar en el desarrollo de localización GPS.
- Iniciar la comunicación serial en 57600bps para su conexión con la tarjeta ESP8266.
- Ejecutar las operaciones correspondientes mientras la comunicación serial con el GPS esté disponible y detecte la información del satélite, de esta manera obtener los valores de latitud, longitud, fecha y hora.
- Enviar por el puerto serial la información obtenida hacia la tarjeta ESP8266.

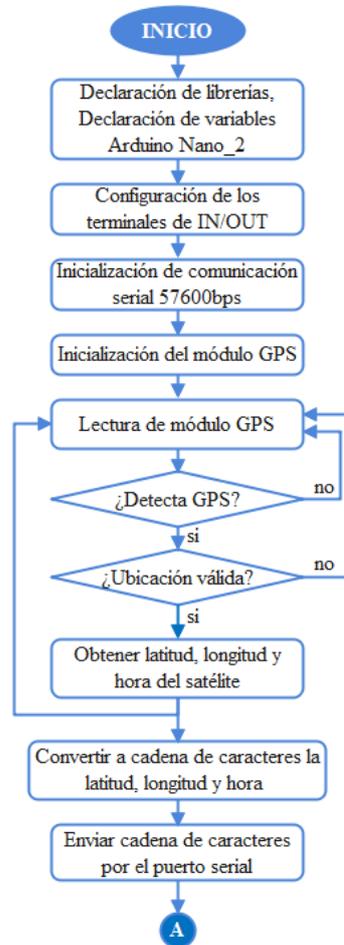


Figura 10-3: Diagrama de flujo de la etapa de recolección de los datos del módulo GPS en la tarjeta Arduino Nano_2.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.1.3. Proceso de adquisición de datos del sensor HALL y GPS en la tarjeta ESP8266

En la figura 11-3 se observa el diagrama de flujo de la etapa de adquisición de datos del sensor HALL y GPS, cuya programación se envía mediante comunicación serial hasta la tarjeta ESP8266, de la cual se desarrolla el siguiente proceso:

- Inclusión de librerías necesarias para la ejecución del programa tales como **ESP8266WiFi.h**, y **SoftwareSerial.h**.
- Declaración de variables locales para utilizar en el desarrollo de la programación.
- Declaración del identificador del medidor “**tarjetaX**”.
- Iniciar la comunicación serial para la comunicación correspondiente con las placas Arduino Nano 1 y 2, a 115200 y 57600 bps correspondientemente.
- Leer los datos recibidos por los puertos seriales de las placas Arduino, tales como: consumo acumulado por día, latitud, longitud, hora, minutos y segundos.

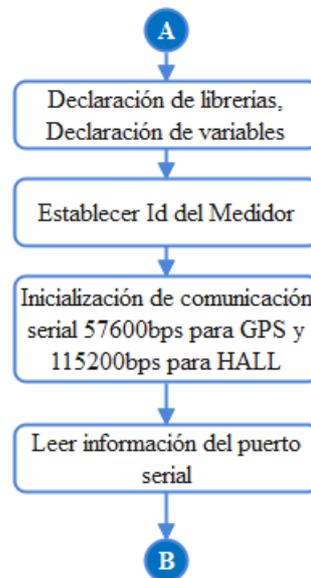


Figura 11-3: Diagrama de flujo de la etapa de adquisición de los datos del sensor HALL y GPS en la tarjeta ESP8266.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.2. Software de la etapa de transmisión y recepción de datos vía internet

En la figura 12-3 se establece el diagrama de flujo de la etapa de transmisión y recepción de datos vía internet, utilizando la tarjeta ESP8266, donde una vez que los datos se han tratado correctamente deben ser enviados hacia el servidor web para su respectivo procesamiento, tal como se describe a continuación:

- Inclusión de librerías **WiFiClient.h** y **ESP8266HTTPClient.h**.
- Declaración del nombre del servidor al que se envía la información:
"http://waterc.000webhostapp.com/prueba_recibe.php"

- Declaración de **SSID** y **PASSWORD** de las redes que ofrecen cobertura para la conexión.
- Establecer la conexión WiFi utilizando la **SSID** y **PASSWORD**.
- Establecer la hora adecuada (pertinentemente en horas no laborables) para enviar la información recolectada hacia el servidor web, en este caso las 00H00.
- Enviar la información formando una cadena de caracteres hacia el servidor web.
- Obtener respuesta del servidor web donde se enviaron los datos, mismo que indica si la información fue subida con éxito, o no se subió la información, utilizando para ello la codificación de **HTTP** de estado de respuesta. Respuestas satisfactorias (**200-299**).
- En caso de haber subido la información con éxito, enviar un comando por el puerto serial hacia la tarjeta que contiene el consumo de agua para que ponga en ceros los valores que acumulan la información, caso contrario, mantener la información acumulada hasta el día siguiente que se repite el proceso.

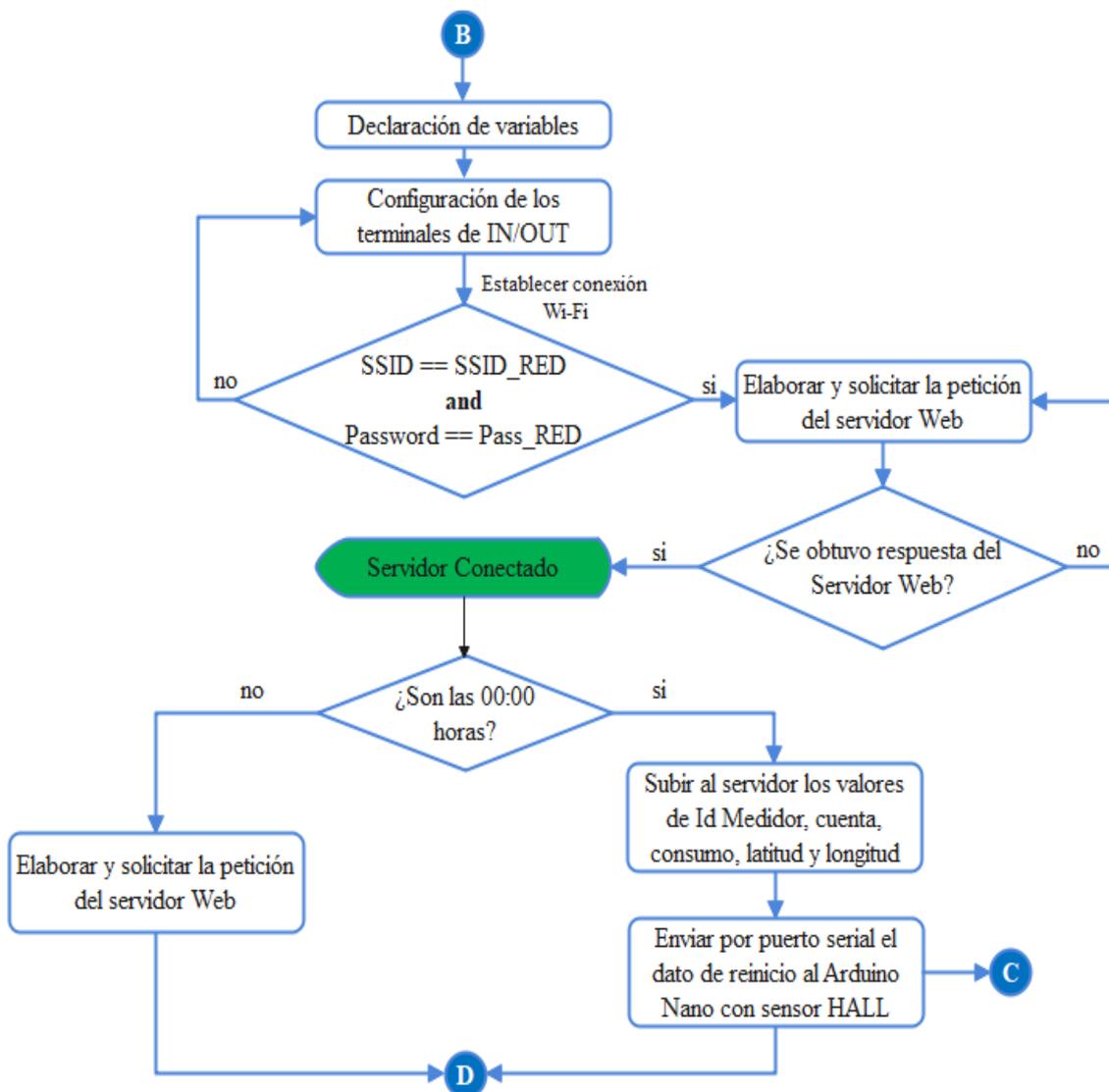


Figura 12-3: Diagrama de flujo de la etapa de transmisión y recepción de datos vía internet.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.3. Software de la etapa de almacenamiento de los datos

En la figura 13-3 se establece el diagrama de flujo de la etapa de almacenamiento de los datos, misma que se encuentra conformada por la base de datos y el servidor web; para la base de datos se utiliza MySQL a través de phpMyAdmin ya que brinda una manera más intuitiva de crear los campos o entidades que contienen la información que llega del nodo inteligente.

Se crea la interfaz de usuario que permite visualizar la información de consumo del mes actual y mes anterior dependiendo del número de cuenta que se consulte, ya que se vincula con la base de datos, lo que genera una relación entre los campos de consulta en la interfaz de usuario con las respectivas entidades e información almacenada en la base de datos.

En el servidor web seleccionado **000webhost** se carga la base de datos al igual que la interfaz de usuario con su respectiva programación, de manera que se actualicen los valores medidos y calculados conforme son enviados desde el prototipo, además de que puedan ser reconocidos y almacenados en su respectiva entidad ya que se transmite el respectivo identificador del nodo inteligente para asegurar de esta manera la información de cada usuario. Anexo H.

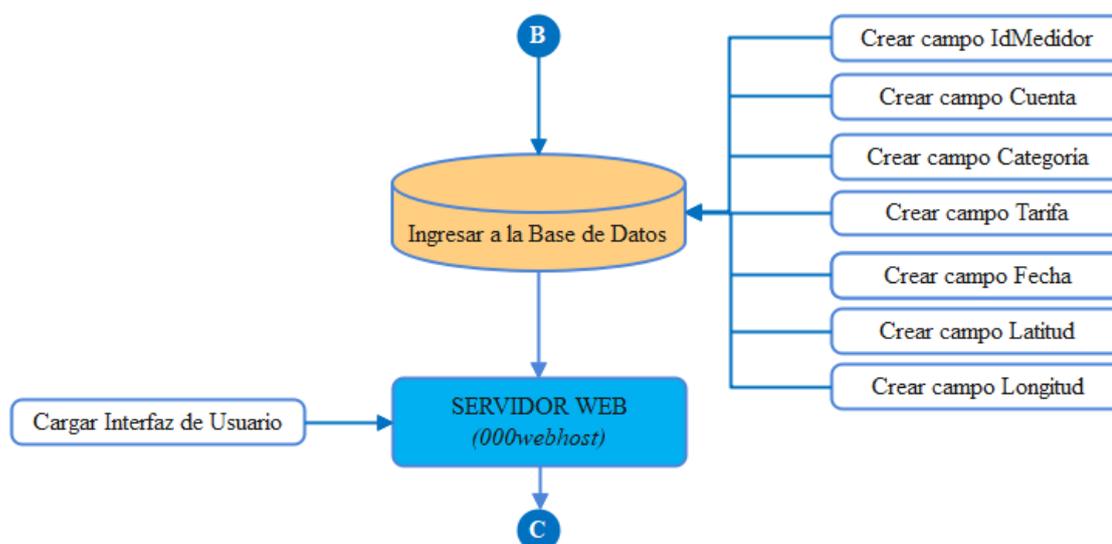


Figura 13-3: Diagrama de flujo de la etapa de almacenamiento de los datos.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.3.1. Descripción de las entidades de la base de datos

Se tiene dos entidades principales las cuales intervienen en el almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos por el prototipo de telemedición de agua, estas son: entidad de estado del dispositivo y la entidad valores calculados.

El estado del dispositivo indica los campos principales de identificación del prototipo tal como su identificador, número de cuenta, consumo, latitud y longitud del prototipo, en la tabla 6-3 se indica

la descripción de la entidad estado del dispositivo, mientras que los valores calculados indican los campos de procesamiento de la información tal como número de cuenta, categoría, mes, consumo y precio, en la tabla 7-3 se indica la descripción de la entidad valores calculados.

Tabla 6-3: Descripción de la entidad Estado del dispositivo.

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>
IdDevice	Cadena de caracteres	Campo usado como identificador único de cada prototipo.
Cuenta	Número entero	Campo usado como identificador asociado al medidor de cada prototipo.
Consumo	Número flotante	Campo usado para almacenar el consumo diario durante un mes.
Latitud	Número flotante	Campo usado para almacenar el posicionamiento en latitud del prototipo.
Longitud	Número flotante	Campo usado para almacenar el posicionamiento en longitud del prototipo.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Tabla 7-3: Descripción de la entidad valores calculados.

<u>CAMPO</u>	<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>
Cuenta	Número entero	Campo usado como identificador asociado al medidor de cada prototipo.
Categoría	Cadena de caracteres	Campo usado para la tarificación, depende del servicio contratado por el usuario.
Mes	Número entero	Campo usado para almacenar el mes en el que se guarda la información de consumo y tarificación.
Consumo	Número flotante	Campo usado para almacenar el consumo diario durante un mes.
Precio	Número flotante	Campo usado para calcular la tarifa del consumo mensual, depende del consumo y categoría.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.4. Software de la etapa de procesamiento de la información

En la figura 14-3 se establece el diagrama de flujo de la etapa de procesamiento de la información, la cual consta de la aplicación web, misma que se encuentra alojada en el servidor web 000webhost, la cual permite procesar la información del consumo y localización dependiendo de número de cuenta del cual se haga la consulta respectiva, además de que guarda información del consumo y la debida tarificación del mes pasado.

Para realizar la tarificación se establece el tipo de categoría con el que se tiene contratado el servicio de agua potable, lo cual varía según el tipo de tratamiento que los usuarios le den a este recurso natural, mismo que pueden ser de uso doméstico, comercial, industrial o público y áreas verdes. Anexo I.

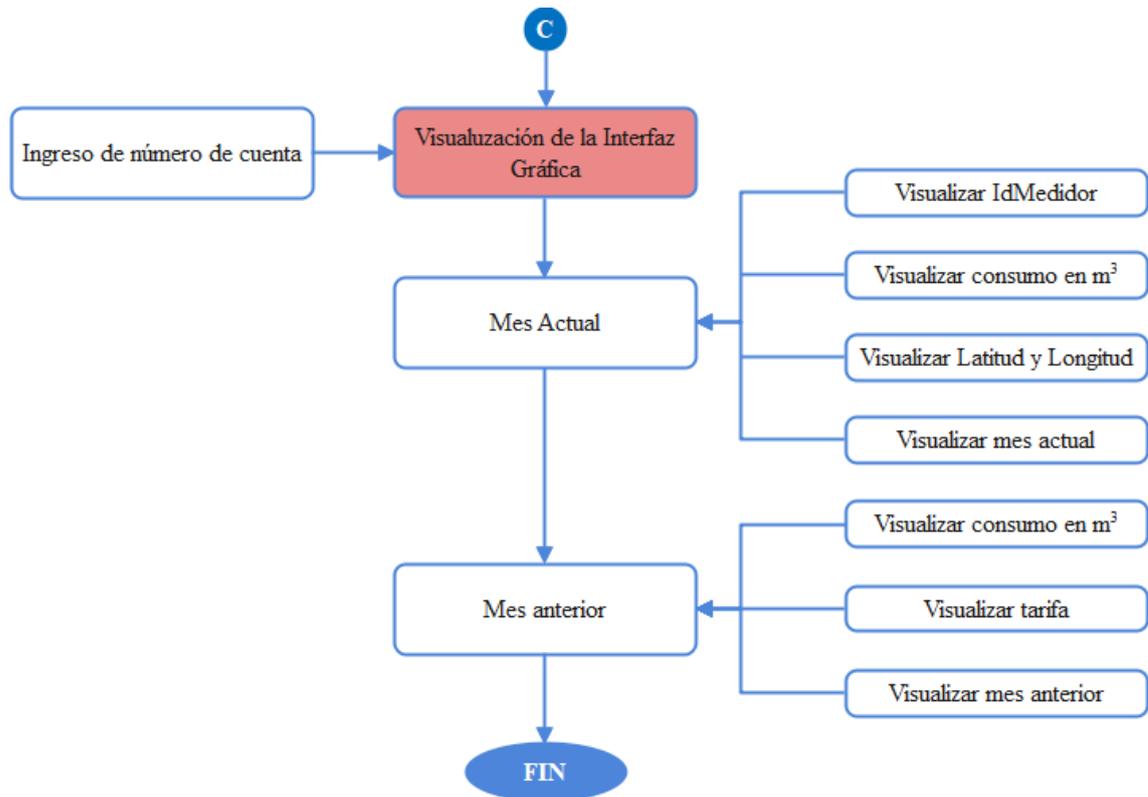


Figura 14-3: Diagrama de flujo de la etapa de procesamiento de la información.

Realizado por: Paredes, H. 2021

En la figura 15-3 se presenta la interfaz de usuario que se utiliza para la respectiva consulta del consumo de agua potable del mes actual, además de la ubicación actual del prototipo que se actualiza cada día, se indica también el consumo de agua potable acumulado del mes anterior con su correspondiente tarifación y la categoría contratada de servicio de agua potable; se puede acceder a la página web mediante el siguiente enlace: <https://waterc.000webhostapp.com/>.

SISTEMA DE TELEMEDICIÓN DE AGUA

INGRESE EL NÚMERO DE CUENTA:

DISPOSITIVO	CONSUMO	MES	UBICACION	
	(m ³)		LONGITUD	LATTIUD
tarjeta1	1.85	02	-78.6452	-1.60489

CONSUMO	TARIFA	CATEGORIA	MES
(m ³)	DÓLARES		
7.9	3.58	domestico	1

Powered by 000webhost

Figura 15-3: Interfaz de usuario para consulta del consumo de agua.

Realizado por: Paredes, H. 2021

3.7.5. Diseño de la PCB del prototipo

En el *software* *PROTEUS* se diseñó la placa de circuito impreso o también denominado PCB para montaje de los elementos electrónicos utilizados para el diseño del prototipo, en la figura 16-3 se indica la PCB con el diseño esquemático y las pistas enrutadas con los debidos identificadores o etiquetas, en el Anexo J se indica el procedimiento de diseño e implementación de la PCB del prototipo.

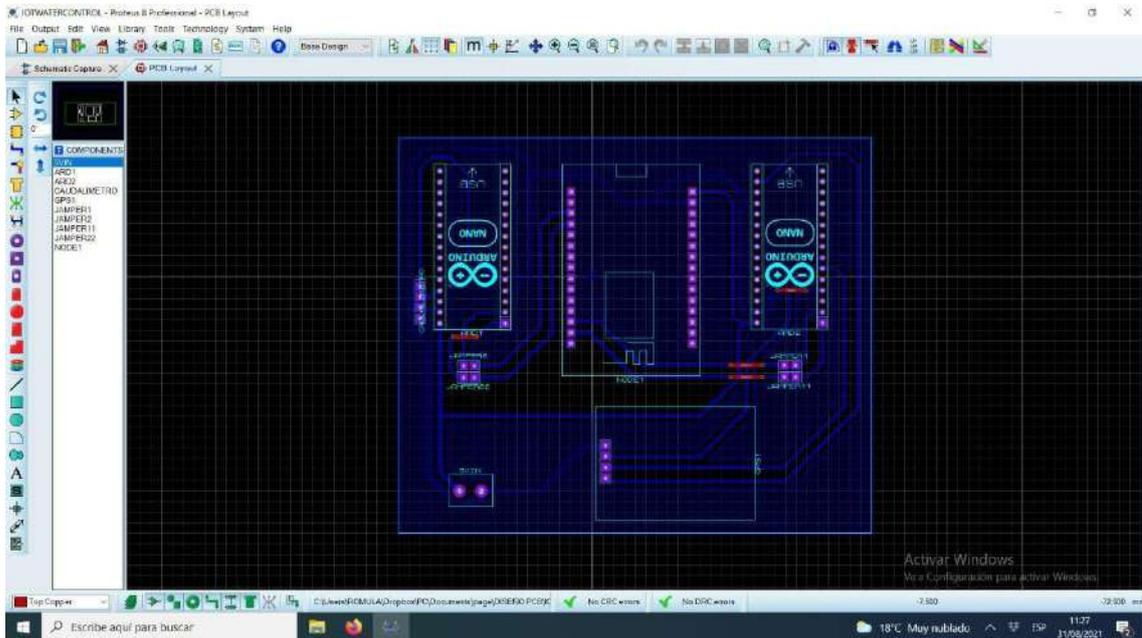


Figura 16-3: Diseño de PCB de circuito impreso del prototipo.

Realizado por: Paredes, H. 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados alcanzados en las pruebas realizadas, así como el análisis en cada una de ellas. Partiendo del diseño de *hardware* y *software* se evalúa el prototipo de nodo inteligente presentado en la figura 1-4 en función de los requerimientos mencionados en el capítulo anterior, corroborando valores medidos y errores en la comunicación, mediante pruebas de medición de consumo, localización, cobertura y conectividad.

Se realiza la simulación de la red Wi-Fi a la que se integra el prototipo, misma que debe presentar disponibilidad, cobertura y escalabilidad para que pueda ser añadido el nodo inteligente sin que interfiera con la calidad de la señal ni con el ancho de banda de la red LAN establecida por los diferentes puntos de acceso ubicados en la zona de diseño.

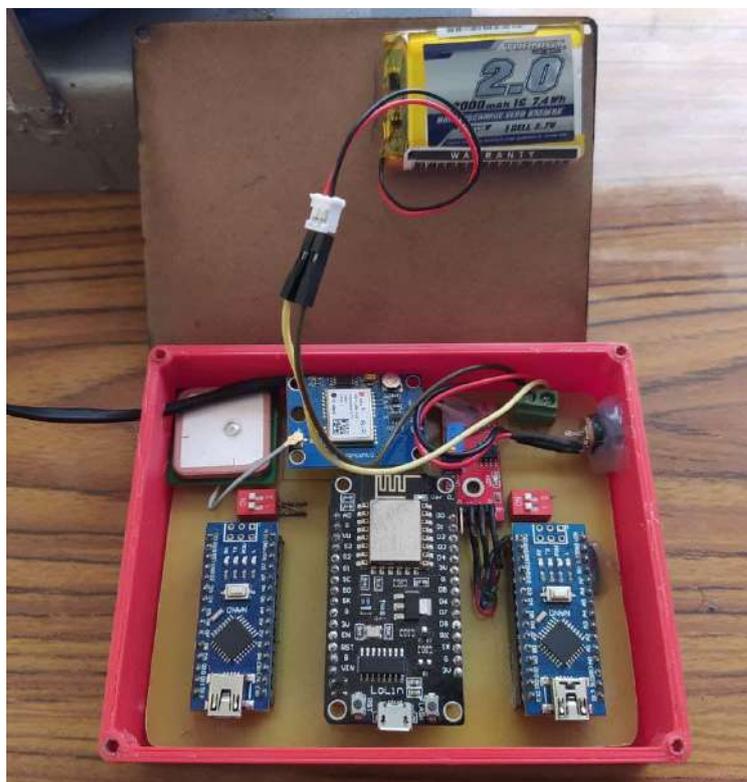


Figura 1-4: Prototipo de nodo inteligente de telemedición de agua.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.1. Simulación de la red Wi-Fi

Debido a que se presentan condiciones atmosféricas que resultan desfavorables para la propagación de las señales, así como también se presentan pérdidas por superficie a causa de la reflexión, difracción, entre otros, surge la necesidad de utilizar modelos ya establecidos para la simulación de las redes de comunicaciones.

El siguiente apartado tiene como objetivo el diseño de la red de comunicaciones en el *software* de simulación Atoll, mismo que se define como una herramienta de planificación, diseño y optimización de redes multiplataforma con usuarios móviles y fijos, tiene como funciones las de analizar la cobertura de los puntos de acceso y el acceso de los usuarios a la red.

4.1.1. *Parámetros georreferenciales del barrio La Magdalena del Cantón Guano*

Para trabajar en el *software* de simulación Atoll, se utiliza el sistema de coordenadas adecuado para la ubicación de la zona de estudio, se escoge el WGS 84 / UTM zona 17S posicionada en Ecuador, para cargar el mapa respectivo que contenga el modelo del terreno digital o DTM (por sus siglas en inglés de *Digital Terrain Model*) mismo que trabaja con la altimetría de la zona de estudio mostrado en la figura 2-4 en el que se observa el mapa respectivo con los predios de cada uno de los usuarios del Barrio La Magdalena.

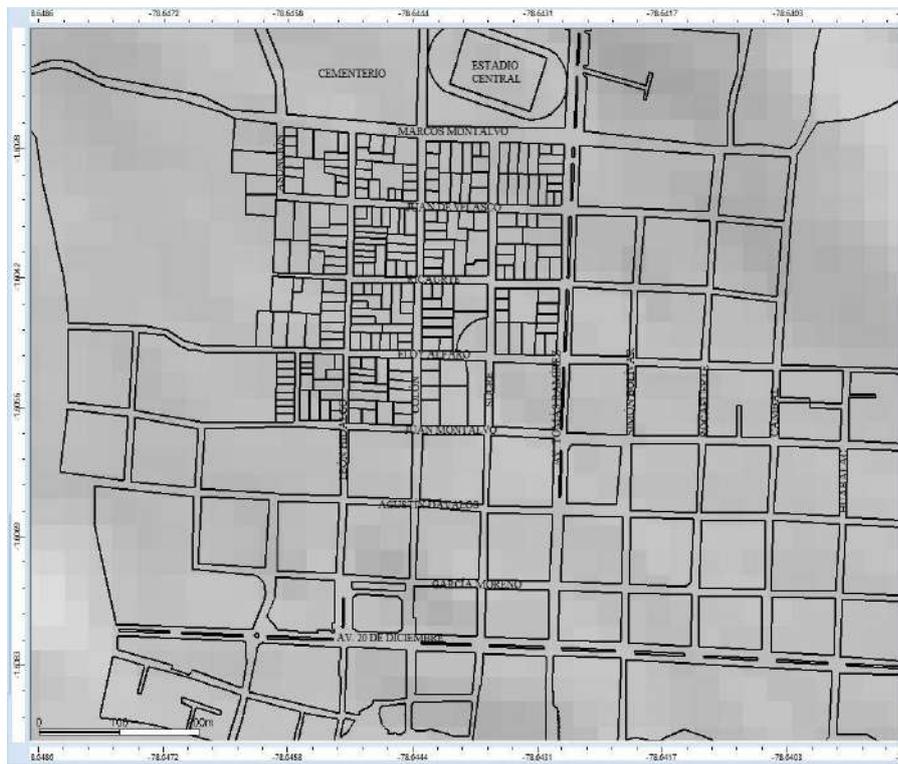


Figura 2-4: Predios de los usuarios del Barrio La Magdalena del Cantón Guano.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.1.2. *Parámetros de red*

Se configuran los componentes y los eventos principales para la planificación de la red, tal como emplazamientos, puntos geográficos de los puntos de acceso, predicciones de cobertura, potencia de transmisión por cada punto de acceso, modelo de propagación adecuado, número de usuarios, potencia de transmisión, entre otros. En el Anexo K se indican las configuraciones de los parámetros de tráfico utilizados en la simulación en el *software* Atoll.

4.1.2.1. Parámetros de los puntos de acceso

Las características de los puntos de acceso se encuentran detallados en la tabla 1-4, mismos que se determinan a partir de los puntos de acceso utilizados por los usuarios (Anexo L) instalados en los diferentes predios a considerar en la simulación.

Tabla 1-4: Parámetros de los puntos de acceso.

<u>PARÁMETROS</u>	<u>PUNTOS DE ACCESO</u>
Tipo de transmisor	Intra-network (Server and Interferer)
Altura	1m, 2m, 3m, 4m, 5m
Tipo de antena	2,400MHz Omni 5.7dBi
<u>CELDA</u>	
Banda de frecuencias	2.4GHz – 20MHz
Número de canal	1, 6, 11
Potencia (dBm)	20
Configuración de trama	802.11n – 20MHz
Equipo de recepción	IEEE802.11b/g/n
Número de usuarios	20 - 30
<u>PROPAGACIÓN</u>	
Modelo de propagación	Erceg-Greenstein (SUI)
Radio	50

Realizado por: Paredes, H. 2021

Para determinar la cantidad de puntos de acceso a utilizar en la simulación se toma una muestra de la población total de usuarios de agua potable que cuentan con acceso a internet, que es de 179 abonados, para lo cual se pretende obtener un nivel de confianza del 80% con un límite aceptable de error de muestra del 10%, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

Donde:

- η : Tamaño de la muestra
- Z : Nivel de confianza (80%)
- σ : Desviación estándar (0.5)
- e : Límite aceptable de error de muestra (10%)
- N : Tamaño de la población (179)

Por lo que se obtiene una muestra de 34 puntos de acceso con los cuales se realiza la simulación respectiva sin irrumpir con el estudio de la población objeto. En la figura 3-4 se establecen las ubicaciones de los usuarios que disponen de puntos de acceso, mismos que debido a su cercanía

se ha realizado la reutilización de frecuencias, asignándoles un canal distinto a cada uno y de la misma manera se controla la potencia transmitida para garantizar mínimos niveles de interferencias y solapamientos de señales.

La selección del modelo de propagación para este caso es Erceg-Greenstein (SUI) debido a las características del proyecto tales como frecuencias, tecnologías, equipamiento, condiciones, entre otros, debido a que este modelo se encuentra basado en mediciones que incluyen las características mencionadas y añade difracciones y pérdidas por espacio libre.

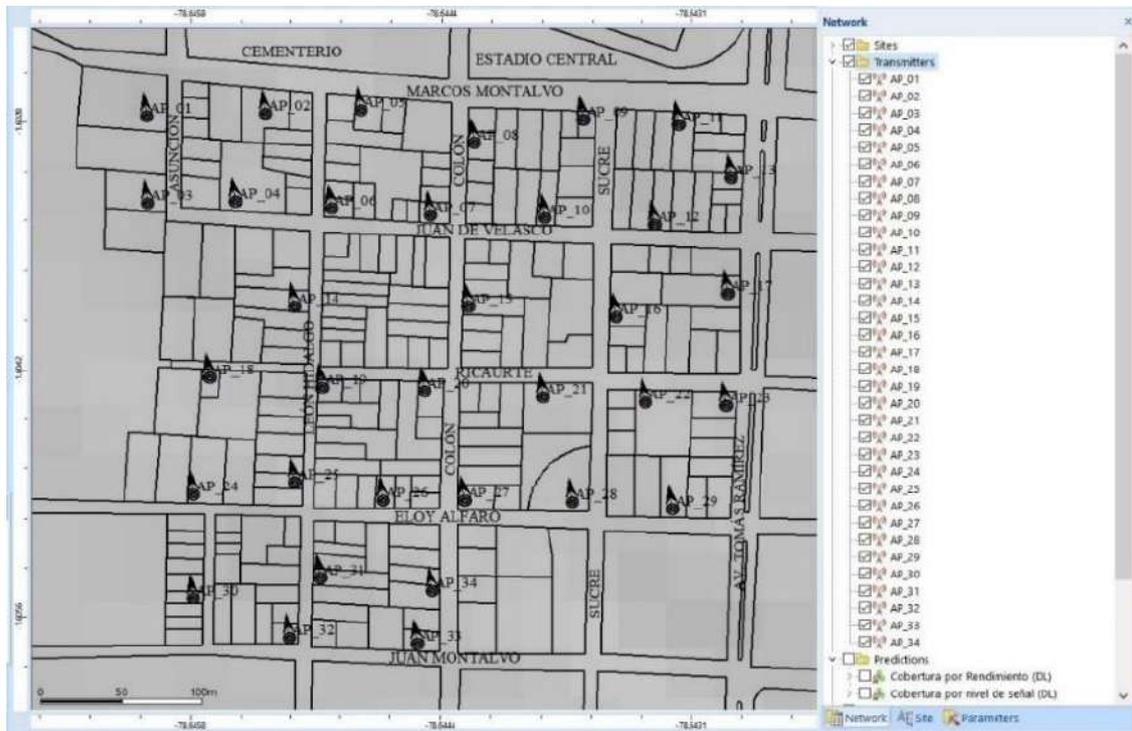


Figura 3-4: Ubicaciones de los puntos de acceso disponibles.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.1.2.2. Parámetros de predicciones por cobertura

Los estudios de cobertura se realizan basándose en el modelo de propagación Erceg-Greenstein, se considera una sensibilidad de -72dBm para el estándar IEEE 802.11n de Wi-Fi para garantizar que la mejor recepción sea por encima de este umbral y que el prototipo se conecte a la red previniendo la interrupción de la conexión por desvanecimiento de la señal.

En la figura 4-4(a), se indica el resultado de la simulación de cobertura por nivel de señal, en un rango de -40 dBm a -72 dBm , consiguiendo niveles por encima del umbral de recepción, donde cada terminal tiene mayor probabilidad de conexión mientras más cerca se encuentre del punto de acceso. En la figura 4-4(b) se presenta el intervalo de transferencia de datos que empieza de 0 hasta un máximo valor de 50000 Kbps , donde, mientras la tasa de transferencia sea mayor, mayor será la velocidad de trasmisión de datos.

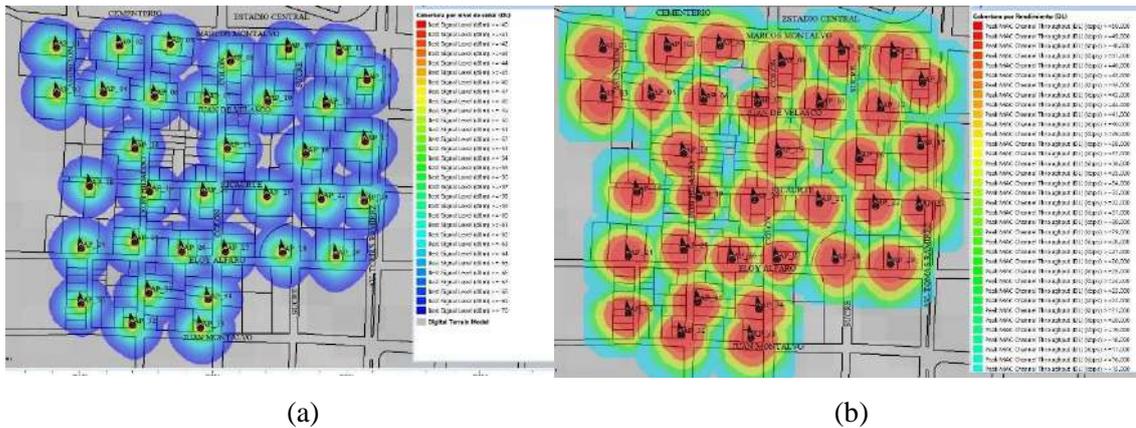


Figura 4-4: Predicciones de cobertura (a) Por nivel de señal (b) Por rendimiento.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.1.2.3. Parámetros de escalabilidad de la red

El objetivo de este parámetro permite determinar hasta qué punto soporta la red antes de presentar problemas de saturación; en teoría, un punto de acceso soporta hasta 254 dispositivos que se conecten simultáneamente, debido a la limitante de direcciones IP que puede asignarse a los dispositivos, desde 192.168.1.1 hasta 192.168.1.255.

Sin embargo, no todas las direcciones están disponibles, ya que todo depende del tipo de punto de acceso que se utilice, por lo general ofrecen menos cantidad de conexiones que varían de 10 hasta 150 dispositivos (Casas, 2021, pp.1).

Como referencia se utilizan los puntos de acceso ZTE ZXHN F660 y Huawei HG8045H, ya que presentan características fundamentales de trabajo, ofrecen un pool de direcciones IP usando el protocolo DHCP que va de 192.168.1.2 hasta 19.168.1.62, es decir ofrecen 60 direcciones IP para la conexión de dispositivos, alámbrica e inalámbricamente.

Para utilizar Wi-Fi ofrecen únicamente 32 clientes finales que puedan acceder a los mismos (Casas, 2021, pp.1). Ver Anexo M.

Según Casas (2021, pp.1), el promedio de dispositivos inteligentes que se conectan en los hogares alcanza los 10 terminales, de acuerdo con esta primicia, los dispositivos que pueden conectarse a la red inalámbrica Wi-Fi que establecen los puntos de acceso ZTE y Huawei serían 22, ya que los 10 primeros están destinados a los usuarios propietarios de la red.

Dado que existen 179 usuarios con acceso a internet, significa que en el mejor de los casos existen 3938 direcciones IP libres que pueden ser utilizadas por los 248 prototipos de telemedición de agua previstos en el capítulo anterior, lo que implica que la red inalámbrica existente en el barrio La Magdalena sobrepasa la capacidad esperada en los requerimientos, es decir, la red soporta hasta 3938 nodos antes de presentar problemas de saturación.

4.1.3. Simulación de la red inalámbrica Wi-Fi existente en el barrio la Magdalena

Se realiza con distribuciones reales de usuarios y puntos de acceso, la cual trabaja con los 248 usuarios iniciales y se establecen 34 puntos de acceso para el análisis de conexión de los mismos. En la figura 5-4 se observa los usuarios que disponen de cobertura en color verde y los que están sin cobertura en color rojo; en este caso en particular, se garantiza un total de 100% de usuarios que logran conectarse al punto de acceso disponible dentro de su rango de cobertura por lo tanto pueden acceder al servicio; debido a que el tamaño del paquete que pasa por los puntos de acceso es relativamente pequeño y no afecta en el rendimiento de la red.

Los 34 puntos de acceso ofrecen 748 direcciones IP para establecer conexión inalámbricamente sin interferir con la conexión de los propietarios de la red, es decir que, inclusive la simulación realizada con la muestra de la población sobrepasa lo esperado en los requerimientos, por lo que incide positivamente en la implementación del prototipo.



Figura 5-4: Simulación de usuarios con acceso a Wi-Fi.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.2. Validación de los sensores

El objetivo de esta prueba es determinar el error absoluto y la estabilidad del prototipo de telemedición de agua potable, para lo cual se comparan los sensores utilizados con equipos referenciales para obtener de esta manera la respectiva validación de los sensores utilizados, para determinar si el prototipo añade algún error a los errores propios de los sensores.

4.2.1. Validación del sensor de efecto HALL

El objetivo de esta prueba es determinar si el prototipo es capaz de detectar el pulso magnético generado por el medidor Zenner cuando mide 10 litros consumidos de agua, dicho valor se compara con la medición efectuada por el propio medidor Zenner y se añadió un medidor Baylan (Anexo N) como referencia ya que este contador de agua posee en su dial digital la manera de visualizar el consumo por litro de agua detectados.

En la tabla 2-4 se presentan las mediciones realizadas por el prototipo, el medidor Zenner y el medidor Baylan (Anexo O), de esta manera se pretende determinar si el prototipo añade errores al momento de realizar la toma de lectura del medidor de agua.

Tabla 2-4: Mediciones de agua del prototipo, del medidor Zener y del medidor Baylan.

N° de Pruebas	Cantidad medida (L)	Prototipo	Zenner	Baylan
		Cantidad de pulsos	Medición (L)	Medición (L)
1	10	1	10	10
2	20	1	20	20
3	30	1	30	30
4	40	1	40	40
5	50	1	50	50
6	60	1	60	60
7	70	1	70	70
8	80	1	80	80
9	90	1	90	90
10	100	1	100	100

Realizado por: Paredes, H. 2021

De los datos obtenidos en la tabla 2-4 se observa que el sensor de efecto Hall detecta satisfactoriamente con un 100% de precisión el pulso generado por el medidor de agua Zenner, no existe pérdida de información en cuanto al consumo de 10 litros por pulso, al utilizar este tipo de medidores como referencia el error absoluto que añaden en la medición de agua es ínfimo, por lo que el prototipo no añade errores en la detección del consumo de agua, por lo que se concluye que cumple con los requerimientos planteados.

Al trabajar con este tipo de medidores que cuentan con el imán en la aguja de los 10 Litros facilitan la detección del pulso magnético por lo cual se puede añadir un detector magnético o un emisor de impulsos para facilitar la telemedición de consumo de agua. En la figura 6-4 se indica la implementación del prototipo de telemedición de agua en el medidor Zenner.

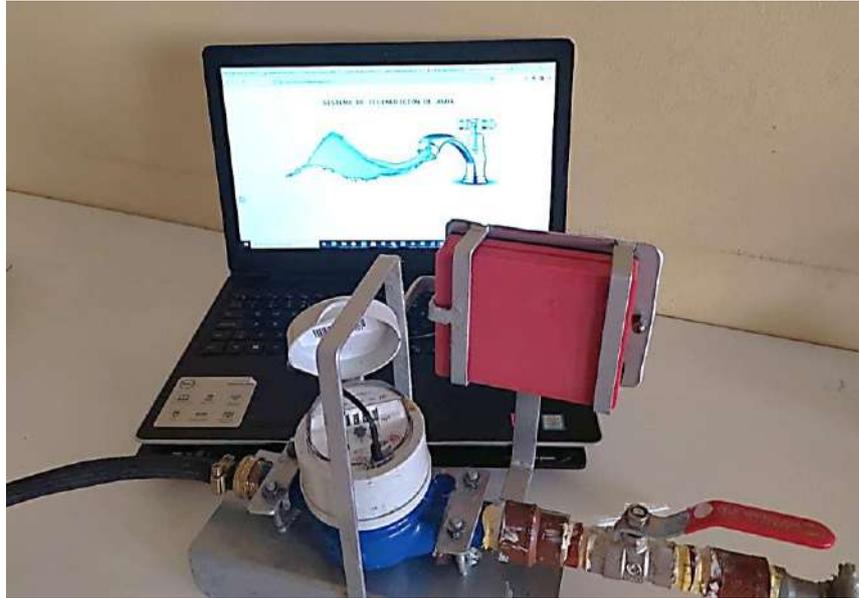


Figura 6-4: Implementación del prototipo de telemedición de agua en el medidor Zenner.

Realizado por: Paredes, H. 2021

4.2.2. Validación del módulo GPS

El objetivo de esta prueba es determinar si el prototipo de telemedición de agua añade errores adicionales a los errores propios del módulo GPS utilizado, para lo cual se toman los valores de posicionamiento del GPS del prototipo y se los compara con los valores de posicionamiento de un equipo GPS de referencia, en este caso se utilizó el *SMARTPHONE XIAOMI REDMI NOTE 8* (Anexo P), mismo que brinda una precisión de ubicación de 1m según Pekín (2020, pp.1).

Para determinar el error de posicionamiento en metros se colocaron los dos dispositivos en la misma posición (Anexo Q) y se tomaron 30 muestras de latitud y longitud en un período de 1 minuto en condiciones normales y en condiciones adversas, se calcula la distancia generada entre el GPS del dispositivo referencial con el GPS del prototipo.

Para calcular la distancia entre dos puntos se utiliza la fórmula de Haversine (Miguel, 2016), la cual contempla la curvatura terrestre para el cálculo de la distancia lineal, la fórmula se expresa a continuación como:

$$D = 2 * R * \text{asin} \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta \text{lat}}{2} \right) + \cos(\text{lat}1) * \cos(\text{lat}2) * \sin^2 \left(\frac{\Delta \text{lon}}{2} \right)}$$

Donde:

- D: distancia entre dos puntos geográficos
- R: Radio ecuatorial. 6378Km
- Lat1: latitud en el punto 1

- Lat2: latitud en el punto 2
- Lon1: longitud en el punto 1
- Lon2: longitud en el punto 2
- Δlat : lat2 - lat1
- Δlon : lon2 - lon1

En la tabla 3-4 se indica la distancia entre los valores del GPS patrón y los valores de GPS del prototipo en condiciones normales.

Tabla 3-4: Distancia entre GPS patrón con GPS del prototipo en condiciones normales.

DATOS EN CONDICIONES NORMALES					
N°	EQUIPO PATRÓN		PROTOTIPO		DIFERENCIA EN METROS
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD	
1	-1.604396	-78.645193	-1.604335	-78.645248	0.389236
2	-1.604400	-78.645189	-1.604330	-78.645248	0.447276
3	-1.604408	-78.645191	-1.604332	-78.645241	0.484846
4	-1.604406	-78.645191	-1.604330	-78.645233	0.485449
5	-1.604390	-78.645193	-1.604329	-78.645226	0.389122
6	-1.604402	-78.645191	-1.604333	-78.645226	0.440146
7	-1.604478	-78.645180	-1.604340	-78.645218	0.880202
8	-1.604474	-78.645194	-1.604347	-78.645210	0.810013
9	-1.604466	-78.645197	-1.604349	-78.645210	0.746231
10	-1.604462	-78.645199	-1.604349	-78.645203	0.720715
11	-1.604406	-78.645218	-1.604363	-78.645195	0.274298
12	-1.604398	-78.645205	-1.604376	-78.645195	0.140332
13	-1.604448	-78.645207	-1.604378	-78.645187	0.446481
14	-1.604475	-78.645145	-1.604388	-78.645187	0.554959
15	-1.604480	-78.645165	-1.604396	-78.645180	0.535762
16	-1.604490	-78.645291	-1.604399	-78.645180	0.580886
17	-1.604393	-78.645197	-1.604399	-78.645164	0.038916
18	-1.604380	-78.645201	-1.604408	-78.645164	0.178760
19	-1.604313	-78.645207	-1.604408	-78.645157	0.606004
20	-1.604368	-78.645211	-1.604417	-78.645157	0.312736
21	-1.604381	-78.645199	-1.604423	-78.645157	0.268027
22	-1.604349	-78.645210	-1.604429	-78.645195	0.510250
23	-1.604389	-78.645195	-1.604437	-78.645218	0.306184
24	-1.604361	-78.645217	-1.604447	-78.645233	0.548519
25	-1.604378	-78.645195	-1.604431	-78.645241	0.338178
26	-1.604385	-78.645197	-1.604415	-78.645256	0.192394
27	-1.604376	-78.645202	-1.604405	-78.645248	0.185224
28	-1.604363	-78.645217	-1.604395	-78.645248	0.204204
29	-1.604382	-78.645198	-1.604392	-78.645248	0.065302
30	-1.604340	-78.645213	-1.604396	-78.645241	0.357218

Realizado por: Paredes, H. 2021

En la tabla 4-4 se indica la distancia entre los valores del GPS patrón y los valores de GPS del prototipo en condiciones adversas.

Tabla 4-4: Distancia entre GPS patrón con GPS del prototipo en condiciones adversas.

DATOS EN CONDICIONES ADVERSAS					
N°	EQUIPO PATRÓN		PROTOTIPO		DIFERENCIA EN METROS
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD	
1	-1.604395	-78.645186	-1.604302	-78.645126	0.593293
2	-1.604398	-78.645182	-1.604308	-78.645134	0.574112
3	-1.604394	-78.645186	-1.604314	-78.645134	0.510361
4	-1.604391	-78.645183	-1.604325	-78.645142	0.420402
5	-1.604391	-78.645183	-1.604336	-78.645149	0.350865
6	-1.604396	-78.645178	-1.604338	-78.645164	0.369298
7	-1.604396	-78.645178	-1.604348	-78.645126	0.306984
8	-1.604395	-78.645179	-1.604351	-78.645180	0.280632
9	-1.604384	-78.645180	-1.604355	-78.645164	0.184994
10	-1.604414	-78.645151	-1.604363	-78.645180	0.325337
11	-1.604392	-78.645186	-1.604367	-78.645164	0.159520
12	-1.604390	-78.645190	-1.604376	-78.645164	0.289465
13	-1.604390	-78.645190	-1.604380	-78.645164	0.464023
14	-1.604391	-78.645192	-1.604384	-78.645164	0.745679
15	-1.604391	-78.645189	-1.604385	-78.645157	0.638877
16	-1.604391	-78.645189	-1.604385	-78.645157	0.538877
17	-1.604391	-78.645189	-1.604390	-78.645157	0.159363
18	-1.604392	-78.645190	-1.604394	-78.645157	0.314584
19	-1.604384	-78.645193	-1.604396	-78.645164	0.676788
20	-1.604384	-78.645193	-1.604401	-78.645157	0.188700
21	-1.604387	-78.645192	-1.604407	-78.645157	0.227780
22	-1.604387	-78.645192	-1.604405	-78.645164	0.214961
23	-1.604386	-78.645193	-1.604474	-78.645157	0.560679
24	-1.604393	-78.645194	-1.604474	-78.645233	0.516048
25	-1.604393	-78.645194	-1.604483	-78.645233	0.574081
26	-1.604387	-78.645210	-1.604488	-78.645241	0.644212
27	-1.604387	-78.645210	-1.604489	-78.645248	0.650607
28	-1.604317	-78.645127	-1.604490	-78.645248	1.103699
29	-1.604317	-78.645127	-1.604484	-78.645248	1.065442
30	-1.604283	-78.645062	-1.604474	-78.645248	1.218212

Realizado por: Paredes, H. 2021

Del análisis de las tablas 3-4 y 4-4 se obtiene que las mediciones capturadas del prototipo comparadas con el equipo patrón presentan un error absoluto mínimo en condiciones normales y en condiciones adversas; la mayor distancia en condiciones normales es de 0.88m y la menor distancia es de 0.03m, y en condiciones adversas la mayor distancia es de 1.21m y la menor distancia es de 0.15m, estas distancias son menores al error esperado del sensor, lo que implica que el prototipo mantiene los errores propios del sensor que es de 2.5m.

4.3. Prueba de conectividad

El objetivo de este apartado consiste en determinar la fiabilidad de la conectividad entre el prototipo de telemedición de agua con el punto de acceso dentro del área de cobertura, se basa en alcance de los puntos de acceso utilizados, ZTE y Huawei, hasta que exista pérdida de conexión.

Se utiliza el propio módulo ESP8266 para la realización de esta prueba, ya que puede imprimir la intensidad de señal que se recibe por parte del punto de acceso al que se encuentra conectado, se ejecuta el comando **Serial.println (WiFi.RSSI ())**, con la librería **#include <ESP8266WiFi.h>** (Anexo R), y se traslada el prototipo a diferentes distancias del punto de acceso, de esta manera se puede visualizar la potencia de señal del punto de acceso que recepta el prototipo, se consideran estas mediciones con obstáculos existentes en las viviendas tal como paredes, ventanas y puertas sin línea de vista, en la tabla 5-4 se presenta el nivel de potencia recibida por el prototipo de los puntos de acceso existentes en el barrio la Magdalena definidos anteriormente.

Tabla 5-4: Nivel de potencia recibida desde los puntos de acceso.

N° de Pruebas	Distancia (m)	ZTE ZXHN F660	Huawei HG8045H
		Potencia recibida (dBm)	Potencia recibida (dBm)
1	1	-42	-38
2	3	-47	-41
3	5	-53	-46
4	7	-58	-51
5	10	-65	-56
6	13	-71	-61
7	15	-76	-69
8	20	-81	-74
9	22	-87	-79
10	24	-91	-84

Realizado por: Paredes, H. 2021

De las pruebas de conectividad realizadas y presentadas en la tabla 5-4 se determina que la potencia de la señal a distancias establecidas con obstáculos propios de las viviendas, se obtuvo que el punto de acceso de Huawei tiene mayor alcance debido a las características que este presenta, por lo tanto, la distancia máxima a la que pueden estar ubicados los puntos de acceso es de 22m, con una potencia recibida de -87dBm y -79dBm, para que el prototipo pueda tener una comunicación Aceptable considerando la sensibilidad del módulo ESP8266 detallado en la tabla 1-3, lo que implica que se cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación, pero se debe considerar que los obstáculos pueden ser variados por lo que no se recomienda basarse en la distancia existente entre el prototipo con el punto de acceso al que se tiene cobertura, sino que se debería ubicar el prototipo donde se pueda obtener una potencia de recepción aproximada de -80dBm o superior para no tener pérdidas de comunicación.

- Prueba de almacenamiento de información

Dado que la información se sube correctamente al servidor web, para esta prueba se envió un pulso desde el prototipo lo que equivale a 10 litro de agua, se registró esta información en la base de datos de manera correcta, esto permite que la aplicación web se actualice adecuadamente, en la figura 8-4 se indica la actualización de la cuenta 210 en la que se registró el consumo de 10 litros, además que la información del posicionamiento varía dentro del rango de error permitido.

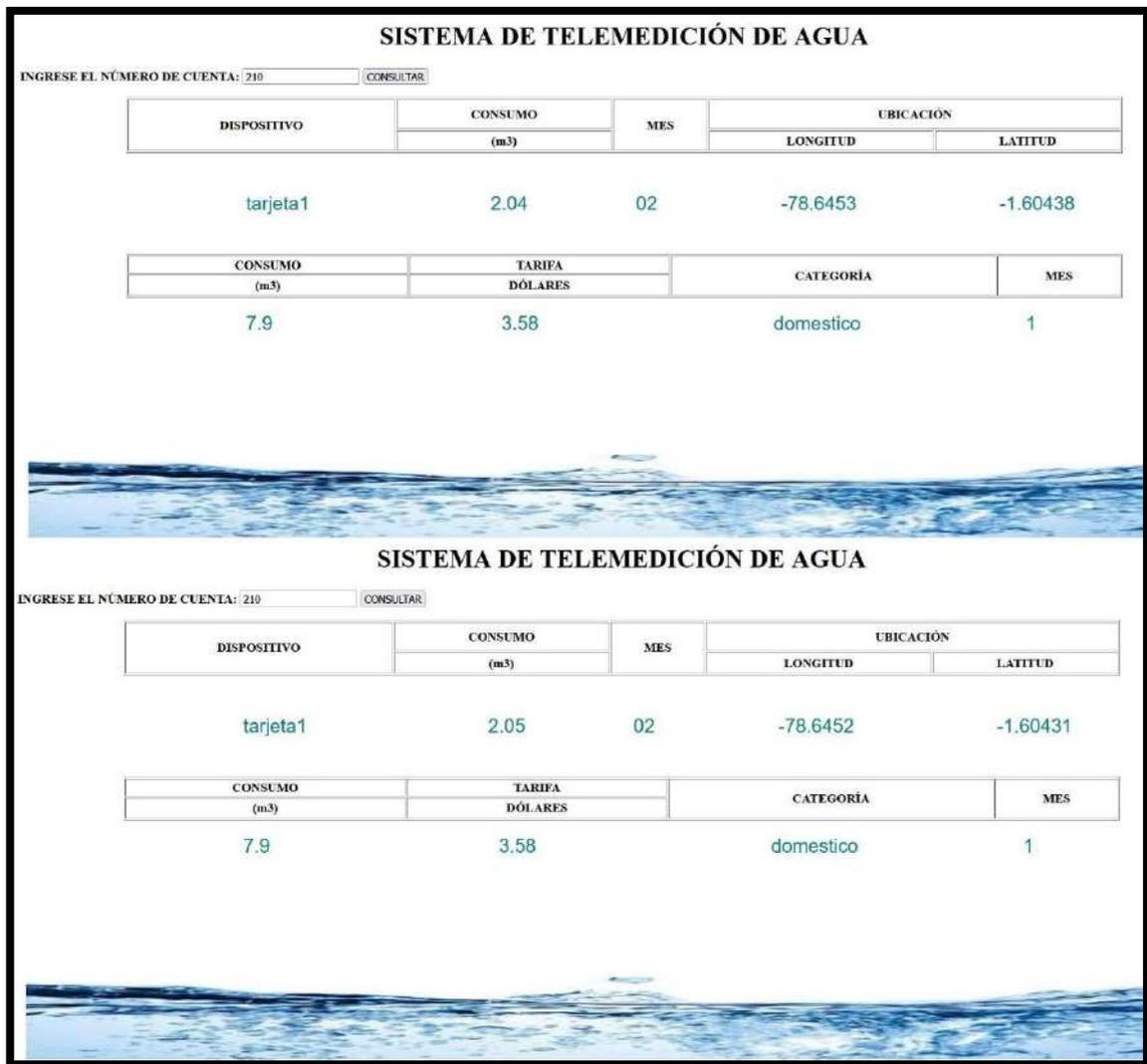


Figura 8-4: Actualización de información de consumo y posicionamiento del prototipo.

Realizado por: Paredes, H. 2021

Por observación se concluye que de los datos transmitidos el 100% son registrados adecuadamente en el base de datos (Anexo S), lo que permite su tratamiento para actualizar la página web con información actualizada todos los días, y cada fin de mes se calcula la debida tarifación según el tipo de categoría contratada por los usuarios del servicio de agua potable que brinda la DIMAPAG.

4.5. Prueba de alimentación del prototipo

Consta de dos partes, la comprobación de la autonomía de la batería del prototipo y el consumo de energía eléctrica que ocupa el prototipo de telemedición de agua, para lo cual se realiza la tabla 6-4 que expone la potencia de consumo del prototipo con cada uno de sus componentes.

Tabla 6-4: Potencia de consumo del prototipo.

Componentes	Voltaje(V)	Corriente(A)	Potencia(W)
Tarjeta ESP8266	3.3	0.08	0.264
Tarjeta Arduino Nano_1	3.5	0.04	0.14
Tarjeta Arduino Nano_2	3.5	0.04	0.14
Módulo GPS NEO-6M	3.5	0.04	0.14
Sensor efecto Hall	3.3	0.02	0.066
Potencia de consumo del prototipo			0.75

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 6-4 se obtiene que la potencia utilizada por el prototipo de telemedición de agua es de 0.75W con una alimentación de 3.5V y una corriente de 0.22A.

4.5.1. Autonomía de la batería del prototipo

Permite determinar la capacidad de duración de la batería, que se calcula con la siguiente ecuación

$$Cd = \frac{Cb}{Cc} * 0.7$$

Dónde:

- Cd: Capacidad de duración en horas
- Cb: Capacidad de la batería en mAh
- Cc: Corriente de carga en mA
- 0.7: Tolerancia a factores externos de la batería

La duración de la batería para el prototipo es:

$$Cd = \frac{Cb}{Cc} * 0.7$$

$$Cd = \frac{2000mAh}{220mA} * 0.7$$

$$Cd = 6.36 \text{ horas}$$

Se obtiene que la capacidad de duración de la batería para el prototipo de telemedición de agua es de 6.36 horas de funcionamiento continuo que logra sobrevivir el embebido sin apagarse.

4.5.2. Consumo de energía del prototipo

Para determinar el consumo de energía del prototipo se debe considerar la cantidad de horas al día en que va a pasar conectado a la red eléctrica para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$CM = P * hd * dm$$

Dónde:

- CM: Consumo mensual en kWh
- P: Potencia del dispositivo en W
- hd: Horas de uso por día
- dm: Días de uso al mes

Dado que el prototipo estará conectado las 24 horas del día con una potencia de 0.75W, se procede a calcular el consumo de energía mensual:

$$CM = P * hd * dm$$

$$CM = 0.75W * 24h * 30$$

$$CM = 0.54kWh$$

Se obtiene como resultado que el consumo de energía eléctrica mensual en el prototipo de telemedición de agua es de 0.54kWh lo que significa que el prototipo es de bajo consumo de energía y cumple con los requerimientos planteados al inicio de la investigación.

4.6. Análisis de costos

En este apartado se indica el costo unitario que conlleva la implementación del prototipo de telemedición de consumo de agua potable, se analiza además el costo de la implementación real en el barrio la Magdalena del cantón Guano, tomando en consideración la infraestructura existente, comparando el costo que conlleva la toma de lectura que ofrece este prototipo con la toma de lectura tradicional de la DIMAPAG.

Se realiza el análisis de tiempo en que tomaría recuperar la inversión comparado con el sueldo mensual de un trabajador de la DIMAPAG que se encarga de tomar lectura manual de los medidores, y se analiza además una comparativa de costos con un sistema desarrollado de telemedición de agua existente para una implementación de un proyecto piloto con 300 medidores.

Dado que en el diseño del prototipo se utiliza un servidor web gratuito, se debe considerar en contratar un host privado en el cual la información almacenada esté segura, por consiguiente, se añade el costo que conlleva adquirir el *software* de gestión Delphi 10.4.2 Professional (Anexo T).

En la tabla 7-4 se presenta el costo unitario y el costo que conllevaría una implementación real con 300 nodos inteligentes en el barrio La Magdalena del Cantón Guano tanto del prototipo como de un sistema desarrollado.

Tabla 7-4: Costo unitario y costo de implementación real con 300 nodos inteligentes en el barrio La Magdalena del Cantón Guano tanto del prototipo como de un sistema desarrollado.

Costo unitario del prototipo				
	Elementos	Cantidad	Precio/Unidad	Precio total
Prototipo	NodeMCU ESP8266	1	\$6.00	\$6.00
	Arduino Nano	2	\$5.00	\$10.00
	GPS NEO-6M	1	\$12.50	\$12.50
	Sensor HALL	1	\$2.50	\$2.50
	Batería 3.7V-2000mAh	1	\$6.00	\$6.00
	Componentes electrónicos	1	\$10.00	\$10.00
	Costo total			\$42.00
Sistema desarrollado	Medidor inalámbrico AMR de agua potable (Anexo U)	1	\$60.00	\$60.00
	Concentrador de datos	1	\$460.00	\$460.00
	Software de gestión	-	N/A	N/A
	Costo de envío	-	\$158.00	\$158.00
	Costo total	-	\$678.00	\$678.00
Costo para implementación real				
Prototipo	Prototipo (Sensor Hall, módulo GPS NEO-6M, ESP8266, Arduinos Nano)	300	\$47.00	\$14,100.00
	<i>Software</i> de gestión (Delphi 10.4.2 Professional)	1	\$1,599.00	\$1,599.00
	Costo total		\$1,646.00	\$15,699.00
Sistema desarrollado	Medidor inalámbrico AMR de agua potable (Anexo U)	300	\$60.00	\$18,000.00
	Concentrador de datos	10	\$460.00	\$4,600.00
	Software de gestión	1	\$5,000.00	\$5,000.00
	Costo de envío	-	\$500.00	\$500.00
	Costo total	-	\$6,020.00	\$28,100.00

Realizado por: Paredes, H. 2021

De la tabla 7-4 se analiza que el costo para la implementación de un prototipo de telemedición de agua es de \$47.00, por lo que la implementación de 300 nodos finales como base para satisfacer la necesidad de lectura de agua potable en el barrio la Magdalena es de \$14,100.00, el cual en

conjunto con el *software* de gestión Delphi se obtiene un costo total de \$15,699.00, mismo que, al ser comparado con el salario básico unificado de un trabajador municipal de \$450.00 se obtiene que la inversión se recuperará en alrededor de 3 años, por lo que se concluye que sí representa ahorro para la DIMAPAG siendo este prototipo una herramienta de medición que resulta de bajo costo en comparación con la toma de lectura manual y tradicional.

Al comparar el costo que conlleva la construcción del prototipo que es de \$15,699.00 con la de un sistema desarrollado existente en el mercado que tiene un costo total de \$28,100.00, se obtiene un ahorro del 44.13% en términos de inversión, esto debido a la reutilización de elementos ya existentes en la zona de trabajo, tal como son los medidores convencionales instalados, así como también la infraestructura de red Wi-Fi ya existente.

CONCLUSIONES

Se diseñó un prototipo de nodo inteligente para la telemedición de agua potable, dirigido para el barrio La Magdalena del cantón Guano, el cual consta de GPS y sensor Hall que mide 10 litros de agua por pulso magnético, para su acoplamiento con los medidores digitales ya instalados en la zona, además que aprovecha la infraestructura existente de Wi-Fi para comunicarse vía Internet con un servidor web desarrollado en 000webhost el cual almacena los datos de consumo y posicionamiento en el usuario respectivo una vez por día, además que cada fin de mes genera la debida tarificación dependiendo del consumo acumulado y tipo de categoría contratada.

De las pruebas de simulación de la red se determinó que con 34 puntos de acceso existen 748 direcciones IP para establecer conexión inalámbrica sin que se interfiera con la conexión de los propietarios de la red, es decir, que la infraestructura existente de Wi-Fi en la zona soporta los 248 usuarios iniciales, obteniendo así el 100% de usuarios que logran conectarse a la red para acceder al servicio, lo que cumple con los requerimientos planteados al inicio de la investigación.

De la prueba de validación del sensor Hall se determinó que detecta satisfactoriamente el pulso magnético generado al medir los 10 litros de consumo que se genera en el medidor de agua Zenner, por lo que no existe pérdida de información en cuanto al consumo de agua, por lo que el prototipo no añade errores en la detección de consumo de agua y cumple con los requerimientos planteados.

De la prueba de validación del módulo GPS se determina que en comparación con el equipo *Xiaomi Redmi Note 8* tomado como referente para determinar la precisión del prototipo, mantiene los errores de posicionamiento dentro del rango de 2.5m propios del módulo GPS Neo-6M, lo que implica que el prototipo mantiene el error esperado de posicionamiento GPS.

De la prueba de conectividad realizada se determinó que la máxima distancia a la que se puede ubicar el prototipo es de 22m ya que recibe una potencia entre -87dBm y -79dBm lo que implica una comunicación Aceptable, por lo que el prototipo cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación donde se definió 20m como la distancia más extensa entre el prototipo más alejado con el punto de acceso dentro del rango de cobertura.

De la prueba de transmisión de la información se concluyó que el prototipo envía los datos obtenidos satisfactoriamente al servidor web a través del puerto 80 de http no seguro, con un tamaño del paquete de 322 bytes, y del servidor se obtiene un código de estado de respuesta de 200, lo que implica que la información se subió satisfactoriamente y dado que el mensaje es pequeño en relación con otras peticiones web, no consume el ancho de banda del servicio de internet.

De la prueba de almacenamiento de la información en la base de datos se concluye que el 100% de datos transmitidos son registrados adecuadamente en la base de datos, esto permite la actualización de los datos visualizados en la página web todos los días, y cada fin de mes se calcula la debida tarificación.

De la prueba de alimentación del prototipo se concluyó que la capacidad de duración de la batería es de 7.78 horas de funcionamiento continuo que logra sobrevivir el embebido sin apagarse y el consumo de energía eléctrica mensual es de 0.54kWh lo que implica que el prototipo es bajo consumo de energía por lo que se cumple con los requerimientos planteados al principio de la investigación.

Se concluye que el prototipo de nodo inteligente de telemedición de consumo de agua resulta ser de bajo costo en comparación con la toma de lectura manual y tradicional de la DIMAPAG, por lo que la implementación real de un sistema de telemedición de consumo de agua para el barrio La Magdalena tendría inversión inicial de \$15,699.00 la cual se puede recuperar en 3 años, lo que implica que se cumple con los requerimientos propuestos.

Se concluye que utilizando la red de Wi-Fi existente en el barrio La Magdalena en conjunto con el prototipo de telemedición de agua potable se optimizan procesos y tiempos de operación a diferencia de otros tipos de lectura tradicional, además de que resulta una solución económica y escalable debido que se pueden agregar medidores sin interferir en la estructura inicial.

RECOMENDACIONES

Ampliar los tiempos de prueba para encontrar posibles mejoras al prototipo además de que se pueda añadir un sistema de facturación.

Programar el módulo central ESP8266 de manera que pueda conectarse a múltiples redes Wi-Fi dentro del rango de cobertura para garantizar de esta manera la disponibilidad del servicio de internet.

Estudiar la posibilidad de implementar análisis de procesos de encriptación de datos para asegurar la información de consumo de agua de cada usuario.

Estudiar la posibilidad del envío de datos utilizando otro tipo de comunicación inalámbrica en el cual se tenga que diseñar la red de comunicaciones propia basados en sistemas europeos.

Estudiar la posibilidad de diseñar una red con inteligencia artificial para que pueda predecir los posibles daños dentro de la red de tuberías, y que permita enviar órdenes como apertura o cierre del medidor en caso de emergencias.

Incorporar nuevas funcionalidades a la red tal como análisis del agua, en la que, además que mida el consumo de agua pueda determinar posibles agentes contaminantes que se puedan presentar.

BIBLIOGRAFÍA

ADAFRUIT. *Lithium Ion Battery* - 3.7v 2000mAh. [En línea], 2020. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://www.adafruit.com/product/2011>.

ALBADALEJO, A. Tendencias del consumo de agua tras la COVID-19. *ACCIONA* [En línea], 2020. Disponible en: <https://www.iagua.es/magazine/29>.

ALVARADO, E.; et al. Sensores y Actuadores: Sensor de Efecto Hall (Sensor de corriente inductivo). *Sensores y Actuadores* [En línea], 2015. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <http://sensoresyactuadores.blogspot.com/2015/02/sensor-de-efecto-hall-sensor-de.html>.

ARAUJO, M. Módulo Sensor Magnético de Efecto Hall. [En línea], 2019. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-sensor-magnetico-de-efecto-hall/>.

ARCA. *Benchmarking* de prestadores públicos de los servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador. [En línea], 2018. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Boletin-Estadistico-APS_Vfinalvv.pdf.

ARDUINO. ¿Qué es Arduino? *Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea* [En línea], 2018. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.

ARDUINO CLIENT. Arduino - WiFiClient. [En línea], 2020. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFiClient>.

ARDUINO HTTP. Cómo emplear el ESP8266 o ESP32 como cliente HTTP. [En línea], 2020. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/como-emplear-el-esp8266-como-cliente-http/>.

ARDUINO UART. Arduino en español: Biblioteca Software Serial. [En línea], 2020. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/biblioteca.html>.

ASADOBAY, M., & PACA, A. Propuesta de un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de Contaminantes del Aire. [En línea], 2019, pp. 128. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/10963/1/98T00235.pdf>

BAHAMONDE, J. Desarrollo de un prototipo de sistema distribuido para la medición de consumo de agua y visualización de información. [En línea], 2020, pp. 169-172. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20905/1/CD%2010417.pdf>

BBC NEWS. Cómo es el sistema de navegación BDS de China y en qué supera al GPS estadounidense. [En línea]. 2020. [Consulta: 2 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53172660>.

CALERO, P., & SARANGO, J. Medidor electrónico de consumo de agua con interfaz inalámbrica. [En línea], 2008, pp. 187. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11151/1/T10920.pdf>

CASAS, A. ¿Cuál es el número máximo de dispositivos conectados que soporta mi router? [En línea], 2021. [Consulta: 1 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.pcworld.es/tutoriales/internet/router-soporte-dispositivos-conectados-3804472/>.

CASTILLO, I. & MURILLO, A. Diseño de una red de comunicaciones para la medición y control del consumo de agua potable en tiempo real para la parroquia Yaruquíes perteneciente a la ciudad de Riobamba. [En línea], 2017, pp. 104. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8440/1/98T00187.pdf>

DIR ARCA. REGULACION-Nro.-DIR-ARCA-RG-006-2017. [En línea], 2017. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/REGULACION-Nro.-DIR-ARCA-RG-006-2017.pdf>.

DSET. TECNOLOGÍA M-BUS para la monitorización de consumos. [En línea], 2019. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.dset-energy.com/2019/03/15/tecnologia-m-bus-para-la-monitorizacion-de-consumos/>.

DUALTRONICA. GPS ARDUINO NEO-6M. [En línea], 2020. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://dualtronica.com/modulos/86-modulo-gps-neo-6m.html>.

EL COMERCIO. En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región. [En línea], 2018. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>.

ELECTRONILAB. NodeMCU – Board de desarrollo con módulo ESP8266 WiFi y Lua. [En línea], 2017. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/nodemcu-board-de-desarrollo-con-esp8266-wifi-y-lua/>.

ESP8266. Librería ESP8266WiFi — documentación de ESP8266 Arduino Core - 2.4.0. [En línea], 2020. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <https://esp8266-arduino-spanish.readthedocs.io/es/latest/esp8266wifi/readme.html>.

FERNÁNDEZ, Y. Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. [En línea], 2020. [Consulta: 20 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.

FUTRERA. 000webhost, una plataforma de Hosting gratuito. [En línea], 2020. [Consulta: 20 agosto 2021]. Disponible en: <https://smartfreehosting.com/hosting-gratuito-con-000webhost/>.

GADM GUANO. ORDENANZAN°013-2020. [En línea], 2020. [Consulta: 16 julio 2021]. Disponible en: <https://www.municipiodeguano.gob.ec/index.php/enlaces/summary/4-ordenanzas/2-ordenanza-013-2020>.

GEIER, J. Wireless System Architecture: How Wireless Works. [En línea], 2008. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: http://www.wireless-nets.com/resources/sample_chapters/wireless_first_step_C1.pdf.

GENEBRE. Emisor de impulsos para Woltmann [En línea], 2014. Disponible en: <https://www.genebre.es>.

GONZÁLEZ, C. Qué es el WiFi, cómo funciona y qué tipos de cifrado existen. [En línea], 2020. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>.

GPS. Sistema de Posicionamiento Global. [En línea], 2017. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.gps.gov/spanish.php>.

GPS AIR530. Estudio Seed - GPS Air530. [En línea], 2020. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/new/seeed-studio/seeedstudio-grove-gps-air530-module/>.

GROVE GPS. Módulo GPS Grove | MCI Electronics.cl. [En línea], 2020. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/modulo-gps-grove-15477>.

GUSQUI, G. & CHAGLLA, A. Implementación de un sistema electrónico inteligente de asignación, medición y alerta del consumo de agua potable para hogares residenciales de la ciudad de Riobamba. [En línea], 2016, pp.120. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6130/1/108T0185.pdf>

HART, M. TinyGPS | Arduiniana. [En línea], 2020. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <http://arduiniana.org/libraries/tinygps/>.

HERNÁN, M. Telemetría o telelectura para medidores de agua potable en el centro del DMQ. [En línea], 2008. Quito: Instituto de altos estudios nacionales. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/24000/215/IAEN-013-2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HERNÁNDEZ, S. Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. [En línea], 2020, pp. 89. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>

HETPRO. ¿Qué es Raspberry PI? - una breve introducción. [En línea], 2017. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-raspberry/>.

HOUSE, E. ¿Qué es una red de agua inteligente? [En línea], 2020. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.swan-forum.com/what-is-a-smart-water-network/>.

HSIA, S., et al. Monitoreo remoto y detección inteligente para sistemas de medidores de agua y detección de fugas. [En línea], 2012 vol. 2, no. 4, pp. 402-408. ISSN 2043-6394. DOI 10.1049/iet-wss.2012.0062. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-wss.2012.0062>

IAGUA. Lectura remota de contadores con la solución innovadora SensusRF. *iAgua* [En línea], 2017. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/espana/sensus/17/10/19/lectura-remota-contadores-solucion-innovadora-sensusrf>.

INEC. Módulo de información Ambiental en hogares. [En línea], 2018, pp. 15. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2018/Boletin_AMB_MULT_2018.pdf

IQNEXUS. Medidor de agua ultrasónico con LORAWAN Y NB-IOT. [En línea], 2018. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://iqnexus.com/component/content/article/2-blog/35-ultrasonic-water-meter-with-lorawan-nb-iot?Itemid=101>.

ISAAC. Arduino Nano: todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo. *Hardware libre* [En línea], 2020. [Consulta: 24 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.hwlibre.com/arduino-nano/>.

KIM, T., et al. Smart City and IoT. *Future Generation Computer Systems*. [En línea], 2017, vol. 76, pp. 159-162. ISSN 0167-739X. DOI 10.1016/j.future.2017.03.034. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17305253>

LATURE, P. El medidor de caudal de ultrasonido, ventajas y funcionamiento. [En línea], 2018. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/hidraulica_mecanica/1999_n1/medidor.htm.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. [En línea], 2014. [Consulta: 8 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>.

LLAMAS, L. NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266. *Luis Llamas* [En línea], 2021. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>.

LUGO. Sensores de efecto Hall. *Electronica Lugo* [En línea], 2018. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <https://electronicalugo.com/sensores-de-efecto-hall/>.

MARAIS, J., et al. A Review of the Topologies Used in Smart Water Meter Networks: A Wireless Sensor Network Application. *Journal of Sensors* [En línea], 2016. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/9857568/>.

MARTRES, P. Particularidades de la red Sigfox. [En línea], 2020. [Consulta: 5 julio 2021]. Disponible en: <https://ude.edu.uy/particularidades-de-la-red-sigfox/>.

MIGUEL, J. ¿Cómo calcular la distancia entre dos puntos geográficos en C#? (Fórmula de Haversine). *Genbeta* [En línea], 2011. [Consulta: 2 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.genbeta.com/desarrollo/como-calcular-la-distancia-entre-dos-puntos-geograficos-en-c-formula-de-haversine>.

MORAN, M. Agua y saneamiento. *Desarrollo Sostenible* [En línea], 2020. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.

MOYÓN, C. & ORDÓÑEZ, D. Construcción de un prototipo de red de nodos inteligentes para supervisar la calidad del agua potable en los tanques de reserva de EP-EMAPAR. [En línea], 2019. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13488/1/98T00257.pdf>.

MUDUMBE, M.J. & ABU-MAHFOUZ, A.M. Sistema de medidor de agua inteligente para la medición del consumo centrado en el usuario. [En línea], 2015, *IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. pp. 993-998. DOI 10.1109/INDIN.2015.7281870. [Consulta: 13 enero 2021] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7281870>

NODEMCU. NodeMCU una plataforma para IOT de código abierto. [En línea], 2019. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/nodemcu/>.

OMEGA. Medidores de flujo ultrasónicos. [En línea], 2017. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/medidor-de-flujo-ultrasonico.html>.

PALACIOS, L. & TRELLES, F. Diseño de un prototipo de sistema SCADA para el monitoreo y control de consumo de agua en viviendas residenciales. [En línea], 2018, pp. 91. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16277/1/UPS-CT007923.pdf>

PALLÁS, R. Sensores y acondicionadores de señal. [En línea], 2007. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/25807463/Sensores_y_acondicionadores_de_senal_ramon_pallas_arenly.

PALMER, L. Smart Water Networks. *Sensus* [En línea], 2020. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://sensus.com/news-events/news-releases/smart-water-networks-can-save-utilities-worldwide-up-to-12-5-billion-annually-concludes-global-survey-and-white-paper-released-by-sensus/>.

PANDYA, K. Network Structure or Topology. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*. [En línea], 2013. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=3DBF3CCE4BB57D7404D75218D00C6983?doi=10.1.1.1039.233&rep=rep1&type=pdf>

PHPMYADMIN. Bringing MySQL to the web. [en línea], 2019. [Consulta: 24 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.phpmyadmin.net/>.

PITÌ, A., et al. The Role of Smart Meters in Enabling Real-Time Energy Services for Households: The Italian Case. *Energies*. [En línea], 2017, vol. 10, pp. 199. DOI 10.3390/en10020199. [Consulta: 25 noviembre 2020] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/313781186>

POSTEL, J. Redes de comunicaciones. [En línea], 2009, pp. 99. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: http://index-of.co.uk/REDES/G-Redes_de_comunicaciones.pdf

RACKLEY, S. *Wireless networking technology: from principles to successful implementation*. [En línea], 2007, Amsterdam; Boston: Elsevier, Newnes. ISBN 978-0-7506-6788-3. TK5103.2.R33. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en: <http://home.ustc.edu.cn/~wfsun/lab/course/wireless/Steve%20Rackley%20-%20Wireless%20Networking%20Technology.pdf>

REHBEIN, C. Nueva tecnología para medidores de agua dará mayor información a los clientes. *Publmetro Chile* [En línea], 2017. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.publmetro.cl/cl/noticias/2017/02/15/nueva-tecnologia-medidores-agua-dara-mayor-informacion-clientes.html>.

SAIGUA, S. y VILLAFUERTE, M. Evaluación de las topologías físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A-ESPOCH [En línea], 2013. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3241/1/98T00043.pdf>.

SEPIA. ¿Qué son los sensores magnéticos de efecto Hall? *Sepia Automatización Industrial* [En línea], 2020. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <https://www.sepia.mx/que-son-los-sensores-magneticos-de-efecto-hall/>.

SHAWN. Arduino GPS Modules - Which one to use? Comparison and Arduino Tutorial. *Latest open tech from seed studio* [En línea], 2019. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/11/06/arduino-gps-modules-which-one-to-use-guide-and-comparisons/>.

SIGFOX. La gestión del agua entra en la era de la ciudad inteligente con la tecnología IoT de Sigfox. [En línea], 2020. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.sigfox.com/en/water-management-enters-age-smart-city-sigfoxs-iot-technology>

TRANTORO, T., et al. Image based water gauge reading developed with ANN Kohonen. [En línea], 2014, International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS). pp. 74-78. DOI 10.1109/ICEECS.2014.7045223. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7045223>

UBLOX. NEO-6_DataSheet. [En línea], 2011. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf).

U-BLOX. Módulos de posicionamiento GNSS - u-blox | DigiKey. [En línea], 2021. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/product-highlight/u/u-blox/gnss-positioning-modules>.

UNESCO. El agua, parte del problema, pero también de la solución ante el cambio climático. *Noticias ONU* [En línea], 2020. [Consulta: 16 noviembre 2020]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/03/1471492>.

UNIT. Modulo KY-024 Sensor de Campo Magnético. [En línea], 2019. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/modulo-ky-024-sensor-de-campo-magnetico/>.

WARTA. KY 024 Hall Sensor [En línea], 2017. [Consulta: 30 julio 2021]. Disponible en: <https://github.com/R2D2-2017/R2D2-2017>.

YomteY. Intelligent water meter, *YomteY* [En línea], 2019. [Consulta: 23 noviembre 2020]. Disponible en: <https://yomtey-meter.com/intelligent-water-meter-brass-coupling-rs485-amr-2/>.

ZENNER. Contadores de agua de acometida. [En línea], 2017. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.zenner-medidores.com/files/content/ZENNER_COM_SPANISH/ES_KT_HWZ_medidores_d_agua.pdf.

ZENNER. Medidor de agua Zenner MTKD-S. *Tecnología Energética* [En línea], 2017. [Consulta: 1 julio 2021]. Disponible en: https://www.zenner.es/files/content/ZENNER_COM_SPANISH/ES_BRO_MTK-S_ES_medidor_d_agua.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: Ficha técnica de medidor Zenner MTKD-S modelo DE-08-MI001-PTB017.



El MTKD-S es un medidor de chorro múltiple de esfera seca con proporción reducida de latón.

La relojería del nuevo MTKD se rediseñó conceptualmente y se mejoró técnicamente. El resultado es una relojería con acoplamiento magnético protegido, que ofrece unos óptimos resultados en cuestiones de precisión y estabilidad de medición. Así, el nuevo medidor de chorro múltiple garantiza un registro fiable de los datos para una facturación de consumo individual y está perfectamente preparado para el futuro gracias a un gran número de opciones técnicas.

El MTKD-S es la variante con proporción reducida de latón. Reduce el peso del contador aprox. un 25% sin modificar sus propiedades de medición.

Características del producto

Longitud contador sin racores	165 mm 190 mm
Material de cuerpo	Latón
Caudal Permanente Q3 (≈ Qn)	Q3=2,5 (≈ Qn 1,5) Q3=4 (≈ Qn 2,5)
Diámetro nominal DN (mm)	DN 15 DN 20
Registro	Esfera seca Esfera seca clase de protección IP 68 ("Copper Can")
Diámetro nominal (pulgada)	3/4 " 1"
Principio de medición	Medidores de chorro múltiple
Temperatura máxima	Agua fría 50° C
Indicadores	Indicador de metros cúbicos (m ³)
Opciones adicionales	Anillo-Anti-Imanes Envas de cobre (IP 68) Disco Modulador Nano-cubrimiento (Antifog) Soldadura ultrasónica (IP 67) Opción limpia brisas (Antifog)
Opciones para la lectura remota	Emisor de impulsos (reed) Emisor de impulsos (electrónico) M-Bus Radio vía sistema M-Bus inalámbricos

Características

- Barrido electrónico sin retroacción
- Ligero, robusto y bien pensado
- Casi un 25% más ligero que un medidor con carcasa de latón WVG
- Temperatura de servicio hasta 30 °C, seguridad hasta 50 °C
- Disponible relojería herméticamente sellada "cobre/vidrio" con protección antihumedad IP68, con pruebas IP68 por terceros
- Presión de servicio PN 16
- Intervalo de indicación desde 0,02 l hasta 99.999 metros cúbicos
- MTKD-S-N variante con salida de impulsos (reed) para sistemas de lectura a distancia
- Resolución estándar 100 l/imp., opcionalmente de 1 l/imp.
- MTKD-S-M variante con disco modulador para M-Bus o radio (wM-Bus)
- Homologado según MID
- Approved in accordance with MID

ANEXO B: Tarjeta de desarrollo NodeMCU ESP8266.

INTRODUCTION TO NodeMCU ESP8266

DEVKIT v1.0 JULY 2017

www.einstronic.com

Internet of Things

NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" by default refers to the firmware rather than the DevKit. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the eLua project, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as lua-openssl and eSpiffs.

Features

- Version : DevKit v1.0
- Breadboard Friendly
- Light Weight and small size.
- 3.3V operated, can be USB powered.
- Uses wireless protocol 802.11b/g/n.
- Built-in wireless connectivity capabilities.
- Built-in PCB antenna on the ESP-12E chip.
- Capable of PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, 1 analog pin.
- Uses CP2102 USB Serial Communication interface module.
- Arduino IDE compatible (extension board manager required).
- Supports Lua (lua-openssl) and Arduino C programming language.

PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0

Source: <https://github.com/wwtjames/nodemcu-pinout>

Safety Precaution
at GPIO pin of 3.3V

NodeMCU ESP8266

Front View Front View

Specifications of ESP-12E WiFi Module

Wireless Standard	IEEE 802.11 b/g/n 2.412 - 2.484 GHz
Power Transmission	802.11b : +16 ± 2 dBm (at 11 Mbps) 802.11g : +14 ± 2 dBm (at 54 Mbps) 802.11n : +13 ± 2 dBm (at HT20, MCS7)
Receiving Sensitivity	802.11b : -93 dBm (at 11 Mbps, CCK) 802.11g : -85 dBm (at 54 Mbps, OFDM) 802.11n : -82 dBm (at HT20, MCS7)
Wireless Form	On-board PCB Antenna
IO Capability	UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC
Electrical Characteristic	3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 uA standby current
Operating Temperature	-40 to +125 °C
Serial Transmission	110 - 921600 bps, TCP Client 5
Wireless Network Type	STA / AP / STA + AP
Security Type	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
Encryption Type	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
Firmware Upgrade	Local Serial Port, OTA Remote Upgrade
Network Protocol	IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP
User Configuration	AT + Order Set, Web Android / iOS, Smart Link APP

Disclaimer: Espressif provides this document and examples for reference only. Espressif does not assume any responsibility for the completeness, accuracy and reliability of the information provided in this document. Information provided should be reviewed before implementation.

July 2017

Related Sites

- NodeMCU Official Site: <http://www.nodemcu.com>
- NodeMCU Documentation: <http://docs.nodemcu.com/en/master/index.html>
- NodeMCU Firmware (GitHub): <https://github.com/node-mcu/node-mcu-firmware>
- Project based with NodeMCU: <http://www.instructables.com/NodeMCU-Projects/>
- ESP8266 Getting started: http://www.espressif.com/en_US/esp8266/support/view/faq
- Quick Start to NodeMCU (ESP8266) on Arduino IDE: <http://www.instructables.com/Quick-Start-to-NodeMCU-ESP8266-on-Arduino-IDE/>
- GETTING STARTED WITH PLATFORMIO AND ESP8266 NODEMCU: <http://www.instructables.com/Getting-Started-with-PlatformIO-and-ESP8266-NodeMCU/>
- Programming ESP8266 ESP-12E NodeMCU v1.0 With Arduino IDE: <http://www.instructables.com/Programming-ESP8266-ESP-12E-NodeMCU-v1.0-With-Arduino-IDE/>

For more details, visit our electrical & software website.
Team @ Einstronic

CONTACT INFORMATION

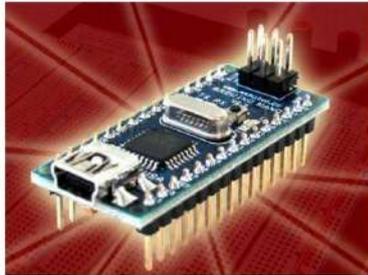
www.einstronic.com | 013-2181114 | Henry - Owner | henry@einstronic.com | [facebook.com/einstronic](https://www.facebook.com/einstronic)

Pages 1 and 2 are for informational purposes only and is property of Einstronic Enterprise, unless stated otherwise. All Rights Reserved. Einstronic Enterprise 2017

ANEXO C: Tarjeta de desarrollo Arduino Nano.

Arduino Nano (V2.3)

User Manual

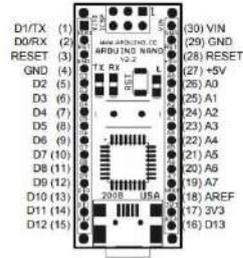


Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

More information:
www.arduino.cc

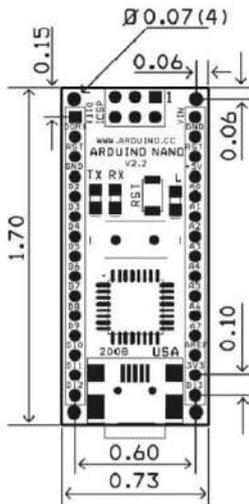
Rev. 2.3

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES

Arduino Nano Bill of Material

Item Number	Qty.	Ref. Des.	Description	Mfg. P/N	MFG	Vendor P/N	Vendor	
1	5	E1 (1,3,4,7) (2)	Capacitor, 0.1uF 50V 10% Ceramic X7R 0805	C100KC100K5RACTU	Kemet	80-C0805C100K5R	Mouser	
2	2	C8,C9,C10	Capacitor, 4.7uF 10V 10% Tantalum Case A	T491A475K010AT	Kemet	80-T491A475K010	Mouser	
3	2	C5,C6	Capacitor, 100pF 50V 5%	C0805C100P5GACTU	Kemet	80-C0805C100P5G	Mouser	
4	1	D1	Ceramic NCP/COG 0805	C0805C180J5GACTU	Kemet	80-C0805C180J5G	Mouser	
5	1	D1	Diode, Schottky 0.5A 20V	MBR020D1TG	Diodes	863-MBR020LT1G	Mouser	
6	1	J5,J2	Header, 35 Pin, 1 Row	61000-1368LF	PI	649-61000-136-8F	Mouser	
7	1	J4	Connector, Mini-B Recept	67505-1020	Molex	538-67505-1020	Mouser	
8	1	J3	Header, 72 Pin, 2 Rows	67996-2724LF	FD	649-67996-272-4F	Mouser	
9	1	L08	LED, Super Bright RED 100mcd 640nm 120degree 0805	APT2012SRCPRV	Kingbright	604-APT2012SRCPRV	Mouser	
10	1	L09	LED, Super Bright GREEN 50mcd 570nm 140degree 0805	APHCM3012CGOK-F03	Kingbright	604-APHCM3012CGOK	Mouser	
11	1	L0A	LED, Super Bright ORANGE 150mcd 661nm 110degree 0805	APHCM3012SECK-F01	Kingbright	604-APHCM3012SECK	Mouser	
12	1	L0B	LED, Super Bright BLUE 80mcd 470nm 140degree 0805	LTST-C170T8MT	Lite-On inc.	160-1579-1-RD	Digkey	
13	1	R1	Resistor Pack, 5k +/- 5%	YC164-R-078RL	Yageo	YC164-1.0KCT-ND	Digkey	
14	1	R2	Resistor Pack, 680 +/- 5%	YC164-R-078BRL	Yageo	YC164-680CT-ND	Digkey	
15	1	R3	Resistor Pack, 680 +/- 5%	YC164-R-078BRL	Yageo	YC164-680CT-ND	Digkey	
16	1	SW1	Switch, Momentary Tact	SPST 150gf 3.5x2.5mm	B3U-1000P	Omron	1W1020CT-ND	Digkey
17	1	U1	IC, Microcontroller 8052 16kB Flash, 0.5kB EEPROM, 23 I/O Pins	ATmega168-28AU	Atmel	556-ATMEGA168-28AU	Mouser	
18	1	U2	IC, USB to SERIAL UART 2B Pins, SSOP	FT232RL	FTDI	895-FT232RL	Mouser	
19	1	U3	IC, Voltage regulator 5V, 500mA SOT-223	UA78M05CDCV801	Ti	195-UA78M05CDCV801	Mouser	
20	1	V1	Crystal, 16MHz +/- 2ppm MC-401US, Low Profile	ABL-16.000MHZ-02	Abrakon	815-ABL-16-02	Mouser	

ANEXO E: Sensor de efecto Hall KY-024.



Linear Magnetic Hall Sensor



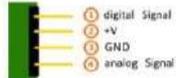
Linear Magnetic Hall Sensor
KY-024

1. OVERVIEW

Dear customer,
Thank you very much for choosing our product.
In the following we will show you what has to be observed during commissioning and use. Should you encounter any unexpected problems during use, please feel free to contact us.

Chipset	A3141
OP-Amplifier	LM393
Digital Output	If a magnetic field is detected, a signal is given out here.
Analog Output	Direct measured value of the sensor unit
LED1	Indicates that the sensor is powered.
LED2	Indicates that a magnetic field has been detected.

2. PIN-ASSIGNMENT



Pin Assignment Arduino	
Digital Signal	Pin 3
+V	Pin 5V
GND	Pin GND
Analog Signal	Pin 0

Veröffentlicht: 15.11.2018
Copyright by Joy-IT
3



Linear Magnetic Hall Sensor

In contrast to the Arduino, the Raspberry Pi has no analog inputs and no ADC (analog digital converter) is integrated in the chip of the Raspberry Pi. This limits the Raspberry Pi if you want to use sensors that do not output digital values, but should be a continuous, variable value (example: potentiometer -> other position = different voltage value).

To avoid this problem, there is our KY-053 module, with 16 bit accurate ADC, which you can use on the Raspberry to expand it by 4 analog inputs. This is connected via I2C to the Raspberry Pi, takes over the analog measurement and passes the value digitally to the Raspberry Pi.

Therefore we recommend to connect the KY-053 module with the ADC in between for analog sensors.

Pin Assignment Raspberry Pi	
Digital Signal	GPIO24 (Pin 18)
+V	3.3V (Pin 1)
GND	Ground (Pin 6)
Analog Signal	Analog 0 (ADS1115 - KY053)

Pin Assignment ADS1115	
VDD	3.3V (Pin 1)
GND	Ground (Pin 9)
SCL	GPIO03 / SCL (Pin 5)
SDA	GPIO02 / SDA (Pin 3)
A0	Analog Signal (Sensor)

6. SUPPORT

We are also there for you after the purchase. If you still have questions or problems, we are also available by e-mail, telephone and ticket support system.

E-Mail: service@joy-it.net
 Ticket System: <http://support-joy-it.net>
 Phone: +49 (0)2845 98469 - 66 (9:30 - 17:00 o'clock)

For further information please visit our website:

www.joy-it.net

Veröffentlicht: 15.11.2018
Copyright by Joy-IT
4



Linear Magnetic Hall Sensor

6. SUPPORT

We are also there for you after the purchase. If you still have questions or problems, we are also available by e-mail, telephone and ticket support system.

E-Mail: service@joy-it.net
 Ticket System: <http://support-joy-it.net>
 Phone: +49 (0)2845 98469 - 66 (9:30 - 17:00 o'clock)

For further information please visit our website:

www.joy-it.net

Veröffentlicht: 15.11.2018
Copyright by Joy-IT
11

ANEXO F: Batería Lipo 3.7V a 2000mAh.

Batería Lipo Turnigy 3.7V 2000mAh 1S 1C



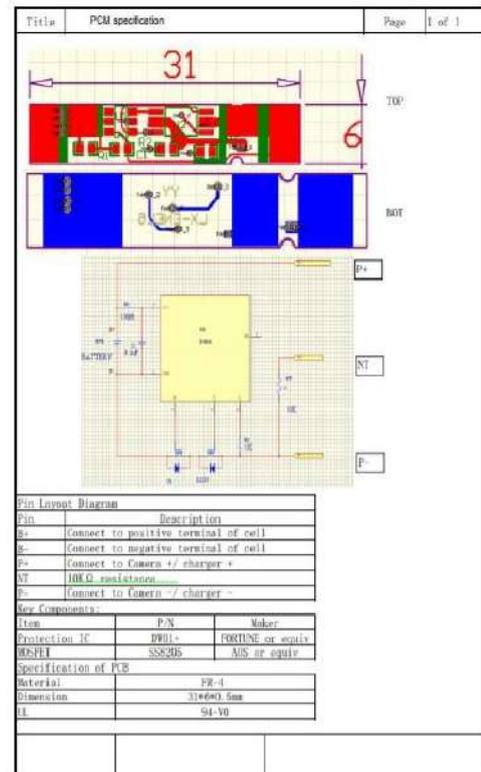
Descripción

Las baterías Turnigy son conocidas en todo el mundo por su rendimiento, confiabilidad y un nombre familiar en la comunidad RC. No nos sorprende que los paquetes Turnigy Lipo sean la opción para quienes están al tanto.

Las baterías Turnigy cumplen sus promesas de plena capacidad, rendimiento y a un precio con el que todos pueden estar de acuerdo.

• Las ventajas sobre las baterías tradicionales LIPOLY;

- La densidad de potencia alcanza 7,5 kW / kg.
- Menos hueco de tensión durante la descarga de alta velocidad, dando más poder bajo carga.
- Impedancia interna puede llegar tan bajo como 1.2mΩ en comparación con la de 3mΩ de un Lipoly estándar.
- control térmico más, paquete por lo general no supera 60degC
- Hinchazón durante la carga pesada no supera 5%, en comparación con 15% de un Lipoly normal.
- Mayor capacidad durante la descarga pesada. Más del 90% a la tasa de 100% C.
- Carga rápida capaz, hasta 15C en algunas baterías.
- Mayor duración del ciclo, casi el doble que el de la tecnología LiPoly estándar.



Características:

- Capacidad: 2000mAh.
- Configuración: 1S / 3.7v / 1Cell.
- Descarga constante: 1C.
- Peso: 33g.
- Dimensiones: 49 x 34 x 10 mm.
- Conector de carga / descarga: 2 pin JST-PH.

ANEXO G: Programación de las tarjetas de desarrollo.

Arduino Nano_1 (Sensor HALL)

```
#include <Arduino.h>
#include <SoftwareSerial.h> //incluimos SoftwareSerial

const int sensorPin = 2; //GPIO 0 (Flash Button) STEP 1

int m=1;
volatile int pulseconter;

float litrost=0.0;
String litrostt;
volatile byte pulseCount;
float m3Consumidos;

unsigned int pulsosAcumulados;
unsigned int pulsosTotales;
void ISRCountPulse()
{
  pulseconter++;
}

////////////////////////////////////
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(sensorPin,INPUT);

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin),ISRCountP
ulse,RISING);
  litrost=String(litrost,8);
}

void loop()
{
  //////////////////////////////////////
  if(pulseconter>=1)
  {
    pulsosAcumulados = pulseconter;
    pulseconter = 0;
    pulsosTotales += pulsosAcumulados;
    m3Consumidos = pulsosTotales * 10 / 1000.0;
    litrostt=String(m3Consumidos,8);
  }
  Serial.print(litrostt);Serial.print(":");
  m=Serial.read();
  //Serial.println(m);
  if(m==50)
  {
    litrost=0.0;
    pulsosTotales=0;
    litrostt=String(litrost,8);
  }
  delay(1000);
  //////////////////////////////////////
}
```

Arduino Nano_2 (Módulo GPS)

```
#include <SoftwareSerial.h> //incluimos SoftwareSerial
#include <TinyGPS.h> //incluimos TinyGPS

TinyGPS gps; //Declaramos el objeto gps
SoftwareSerial serialgps(4,3); //Declaramos el pin 4 Rxd y
3 Txd

//Declaramos la variables para la obtención de datos del gps
int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
float latitude, longitud;
int hora,minutos,segundos;
String latitud, longitud;
////////////////////////////////////
void setup()
```

```
{
  Serial.begin(57600);
  serialgps.begin(9600); //Iniciamos el puerto serie del gps
  Serial.print("conectando");
}

void loop()
{
  //////////////////////////////////////
  while(serialgps.available())
  {
    //Serial.print("e");
    int c = serialgps.read();
    if(gps.encode(c))
    {
      gps.f_get_position(&latitude, &longitude);

      gps.crack_datetime(&year,&month,&day,&hour,&minute,&
second,&hundredths);
      latitud=String(latitude,8);
      longitud=String(longitud,8);
      hora=hour;
      minutos=minute;
      segundos=second;

      Serial.print(hour);Serial.print(":");Serial.print(minute);Serial
.print(":");Serial.print(second);Serial.print(":");Serial.print(l
ongitud);Serial.print(":");Serial.println(latitud);
    }
  }
  delay(300);
}
```

ESP8266 (Tarjeta central)

```
#include <Arduino.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <SoftwareSerial.h> //incluimos SoftwareSerial
SoftwareSerial serialgps(4,5); //Declaramos el pin 4 Rxd y
5 Txd

//configuracion de la red y el servidor
const char* ssid = "RED PAREDES";
const char* password = "JP@REDES1802182053@";
String serverName =
"http://waterc.000webhostapp.com/prueba_recibe.php";
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 5000;
String hora,minutos,segundos,metrostt, control,caudal;
String latitud, longitud;
float latitudl,longitudl,caudal1;
//Declaramos la variables del caudalimetro
int cuenta=210,cc=1,m=1,mm=0;
String Device="tarjeta1";

////////////////////////////////////

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  serialgps.begin(57600);
  Serial.setTimeout(100); //establecemos un tiempo de
espera de 100ms

  WiFi.begin(ssid, password);

  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  //Serial.println("Connecting a Wifi");

  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(300);
  }
}
```

```

Serial.println(" ** CONECTADO A LA RED WIFI **");
Serial.println();

Serial.print(" Direccion IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.print(" Direccion MAC de ESP ---> ");
Serial.println(WiFi.macAddress());
Serial.print(" La intensidad de la señal es:");
Serial.println(WiFi.RSSI());
Serial.println();
}

void loop()
{
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
////////////////////////////////////
metrostt = Serial.readString();
for(int j=0;j<metrostt.length();j++)
{
if(metrostt[j]==':')
{
j=metrostt.length();
}
else
caudal=caudal+metrostt[j];
}
control = serialgps.readString();
for(int i=0;i<control.length();i++)
{
if(control[i]==':')
{
cc=cc+1;
}
if(control[i]!=':' & cc==1)
{
hora=hora+control[i];
}
if(control[i]!=':' & cc==2)
{
minutos=minutos+control[i];
}
if(control[i]!=':' & cc==3)
{
segundos=segundos+control[i];
}
if(control[i]!=':' & cc==4)
{
longitud=longitud+control[i];
}
if(control[i]!=':' & cc==5)
{
latitud=latitud+control[i];
}
}
longitud1=longitud.toFloat()*1000000;
latitud1=latitud.toFloat()*1000000;
caudal1=caudal.toFloat()*1000000;

//Serial.print(hora);Serial.print(":");Serial.print(minutos);Serial.print(":");Serial.println(segundos);
//Serial.println(longitud1);
//Serial.println(latitud1);
//Serial.println(caudal1);
cc=1;
////////////////////////////////////
//enviar datos a la nube
if(m==1)
{
if(hora=="6" && minutos=="0")//5:00
{
// read the incoming byte:
//Serial.println("transmitiendo");
if ((millis() - lastTime) > timerDelay)
{
//Check WiFi connection status
if(WiFi.status()== WL_CONNECTED)
{
WiFiClient client;
HTTPClient http;
String serverPath = serverName +
"?iddDevice="+Device+"&consumo=" + caudal1 +
"&longitud="+longitud1+"&cuenta="+cuenta+"&latitud="+
latitud1;
// Your Domain name with URL path or IP address
with path
http.begin(client, serverPath.c_str());
// Send HTTP GET request
int httpResponseCode = http.GET();
if (httpResponseCode>0)
{
if (httpResponseCode == 200)
{
m=2;
Serial.print(m);

Serial.println();

Serial.print("INFORMACIÓN SUBIDA AL
SERVIDOR 000WEBHOST");

Serial.println();

}
/*Serial.print("HTTP Response code: ");
Serial.println(httpResponseCode);
String payload = http.getString();
Serial.println(payload);*/
}
else
{
// Serial.print("Error code: ");
//Serial.println(httpResponseCode);
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}
// Free resources
http.end();
}
else
{
Serial.println("WiFi Disconnected");
}
lastTime = millis();
}
}
caudal="";
hora="";
segundos="";
minutos="";
longitud="";
latitud="";
}
if(m==2)
{
mm++;
}
if(mm>=60)
{
m=1;
mm=0;
}
if(m==1)
Serial.print(m);
}
}

```

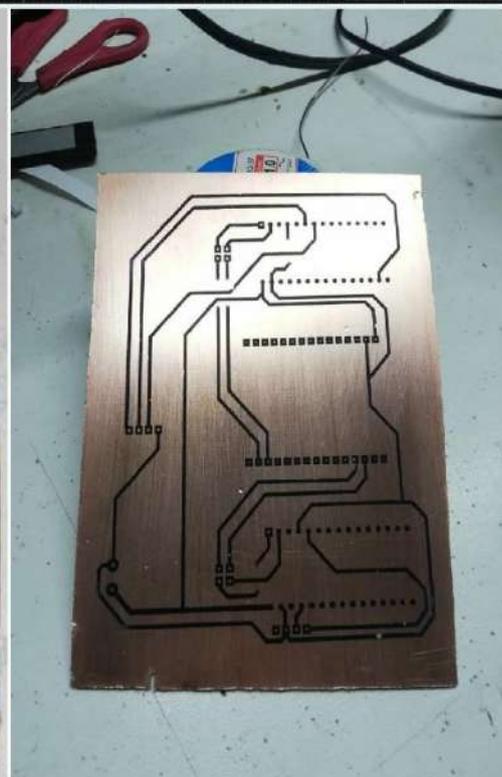
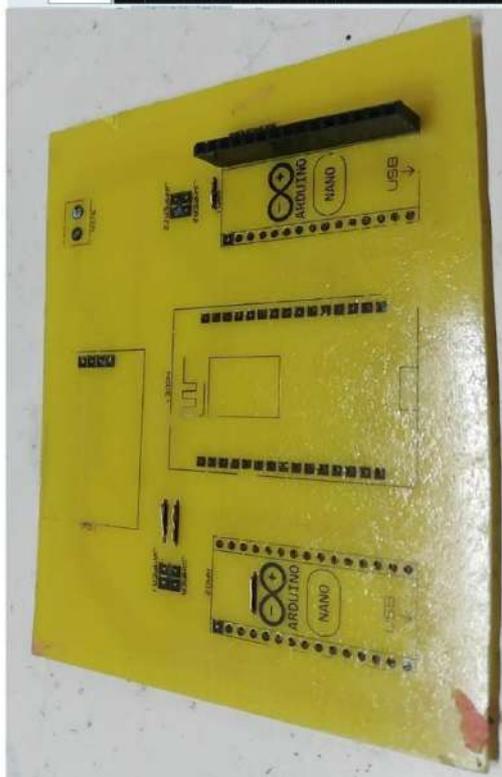
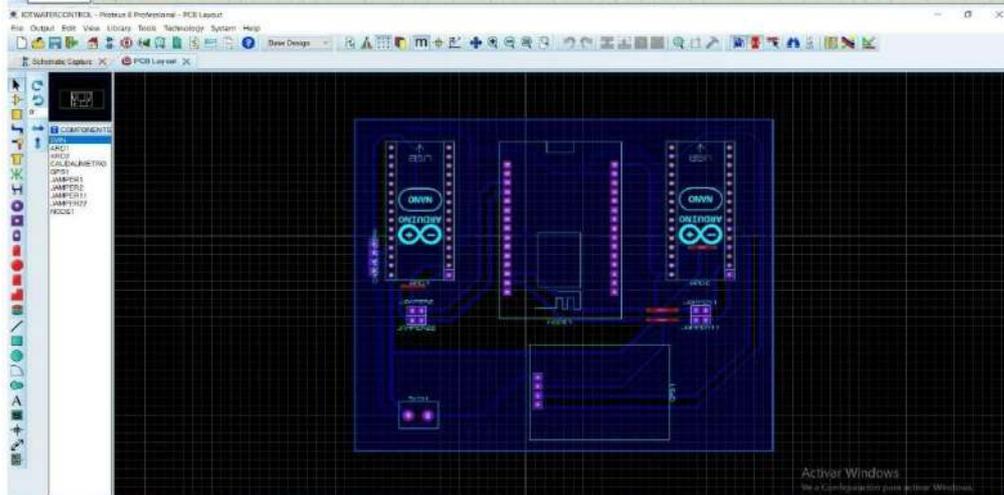
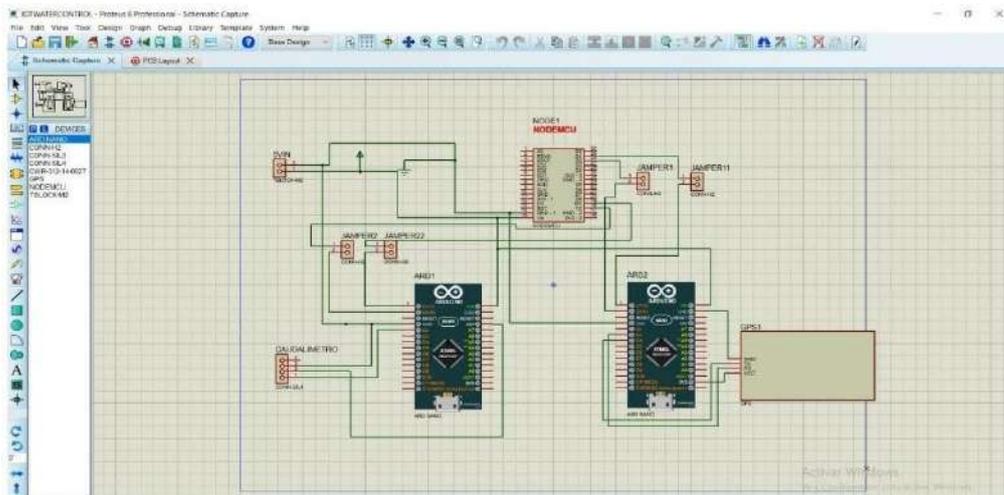
ANEXO H: Programación de la base de datos.

```
<?php
    echo date("H:i:s Y-m-d<br>");
    echo"<br>";//salto de linea
    $d=date('d');
    $m=date('m');
    $a=date('Y');
    $connect = new
mysqli("localhost","id17338716_water","Agu4m3d1d0r_",
id17338716_waterec");
    if($connect->connect_errno)
    {
        die("Error en la coneccion".$connect-
>connect_error);
    }
    $device = $_GET['iddDevice'];
    $consumoo = $_GET['consumo'];
    $longitud = $_GET['longitud'];
    $cuenta = $_GET['cuenta'];
    $latitud = $_GET['latitud'];
    $const = '1000000';
    $consumoo = $consumoo/ $const;
    $longitud = $longitud/$const;
    $latitud = $latitud/$const;
    //////////////////////////////////////
    $idv=$device .(String)$a .(String)$m;
    $consult = "SELECT `consumo` FROM
device_state WHERE `cuenta` = '$cuenta'";
    $q = mysqli_query($connect,$consult);
    if ($q->num_rows > 0)
    {
        // output data of each row
        while($row = $q->fetch_assoc())
        {
            $consg=$row["consumo"];
        }
    }
    else
    {
        echo "0 results";
    }
    $constdt=$consumoo+$consg;
    if($d<1)//2
    {
        if($constdt>=0 and $constdt<10)
            $precio=3.03+$constdt*0.07;
        if($constdt>=10 and $constdt<25)
            $precio=3.03+$constdt*0.17;
        if($constdt>=25 and $constdt<=40)
            $precio=3.03+$constdt*0.21;
        if($constdt>40)
            $precio=3.03+$constdt*0.28;
        $consultv = "SELECT `categoria` FROM valores
WHERE `cuenta` = '$cuenta'";
        $w = mysqli_query($connect,$consultv);
        $ma=$m-1;
        if ($w->num_rows > 0)
        {
            while($row = $w->fetch_assoc())
            {
                $gt=$row["categoria"];
            }
            $query = "INSERT INTO `valores`(`cuenta`,
`consumo`, `precio`, `categoria`, `mes`, `ipVar`) VALUES
('$cuenta', $constdt, $precio, $gt, $ma, $idv)";
            $insertv = mysqli_query($connect,$query);
            $constdt=0.00;
        }
    }
    else
    {
        echo "0 results";
    }
}

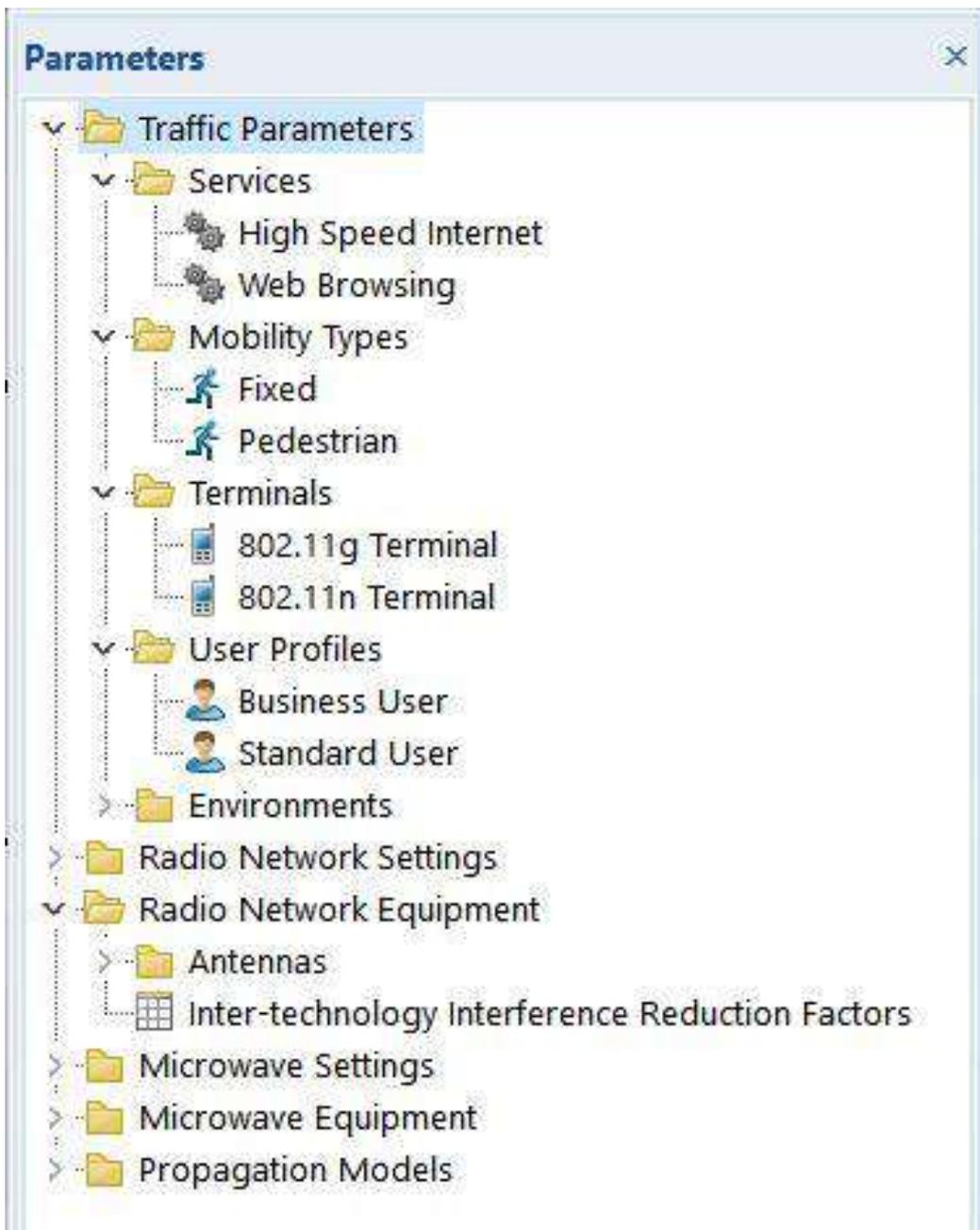
    $query = "UPDATE device_state SET
consumo=$constdt,longitud=$longitud,cuenta=$cuenta,la
titud=$latitud WHERE idDevice=$device";
    $update = mysqli_query($connect,$query);

    $connect->close();
    //$connect->close();
    //$query = "UPDATE `device_state` SET
`consumo`=$consumoo,`longitud`=$longitud,`cuenta`=$cu
entaa,`latitud`=$latitud WHERE `idDevice`=$device";
    //$query = "INSERT INTO
`device_state`(`idDevice`, `consumo`, `longitud`, `latitud`,
`cuenta`) VALUES ('$device',321,-1.2356,-
7.12365,211)";
    //$insert = mysqli_query($connect,$query);
?>
```


ANEXO J: Procedimiento de diseño e implementación de la PCB del prototipo.



ANEXO K: Parámetros de tráfico del *software* Atoll.



ANEXO L: Puntos de acceso de fibra óptica en la zona.

Marca ZTE ZXHN F660



ZXHN F660

Powerful GPON Gateway for Multi-play Services

The F660 is a high-end home gateway in ZTE FTTH solution. By using the GPON technology, ultra-broadband access is provided for home and SOHO users. The F660 provides two phone ports, four GE ports, one USB port, and one Wi-Fi port. The F660 features high performance forwarding capabilities to ensure excellent experience with VoIP, internet and HD video services.




Highlights

- Superior Wireless 11n Transmission Performance**
Adopting advanced 11n techniques including MIMO, an antenna array, and channel bonding, the F660 ensures superior wireless performance. With data rates up to 300Mbps, data transmission within the LAN becomes more efficient in high-bandwidth applications.
- Comprehensive VoIP Services**
The F660 offers VoIP/Voicemail services via two POTS ports. The user may have up to two phone numbers, one private and one public, when two hot-plugs are opened. It is suitable for SOHO applications.
- Native IPv6 Capability**
With support for IPv4/IPv6 Dual Stack and DS-Lite, the F660 helps operators and end users to achieve future-proof network with smooth evolution.
- Advanced Content Sharing DLNA Media Server**
The F660 can act as a DLNA Digital Media Server (DMS). Any DLNA Digital Media Player (DMP) connected to the network, could find and play all the media contents including audio, video and photos on the storage connected to the USB ports on F660.
- Multiple USB Functions**
The USB port can be connected with USB HUB, flash disk or printer to act as the server and print server so that it can easily support configuration backup and restore file sharing and network share printing. It can also provide data service hot-plug in 30 seconds.
- Quality of Service (QoS)**
The QoS features of the F660 enable service providers to design QoS policies and prioritize mission-critical services such as IPTV and VoIP timely based on their individual service plans. So, service providers could deliver real multi-play applications to users and ensure network efficiency.
- Flexible Management Modes**
Flexible management mode with port (OMC) or OMC+TRMM dual management based on TR-181 specification is convenient for operators to deploy quickly. Operator can manage the OMC with either LAN/DSL, telnet, or Web GUI with any platform.
- GPON and 3G+ POE1 Coexistence**
RJ-45 (RJ45) has defined the IEEE 802.3ah (Ethernet over PON) feature to coexist with IEEE 802.3 (Ethernet over CO) within one CO network system architecture. Now the optical modules installed in ZXHN F660 have been equipped with IEEE feature for future-proof evolution.



Technical Specifications

GPON

- ITU-T G.984/G.988 GPON standards
- Class B+ optical module
- 1.244Gbps burst mode upstream, 2.488Gbps downstream
- Upstream 1.310nm, Downstream 1490nm
- Class 1 Laser

Wi-Fi

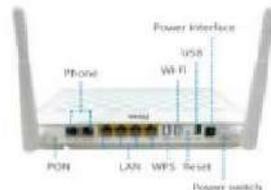
- Frequency: 2.4 GHz
- Two 3dB gain external antennas
- IEEE 802.11 b/g/n MIMO 2x2
- WEP/WPA/WPA2 security (personal)
- Up to four broadcast/hidden SSIDs

VoIP

- Number of VoIP accounts: 2
- SIP/H.248
- Codecs: G.711 (a-law and μ-law), G.729, G.723
- RTCP/RTCPFC (1890)
- Echo cancellation
- VAD/CNG
- DTMF
- T.38 FAX
- Caller Identification/Call Waiting/Call Forwarding/Call Transfer/Call Hold/3-way Conference

USB

- DLNA DMS
- File/Printer Sharing
- USB backup/restore configuration
- 3G dongle



ZXHN F660 Application Scenario



Networking

- IPv4/IPv6 Dual Stack and DS-Lite
- SNMP client
- NAT/ALG
- Static routing/Dynamic routing
- PPPoE Client/Passthrough
- DNS Client/Relay
- DHCP Client/server
- IGMP and MLD snooping/proxy

Security

- Traffic filtering based on UNI port, VLAN ID, 802.1p, UNI+802.1p or VLAN+802.1p
- DoS attack defending
- Multiple VPN (IPSec, PPTP) passthrough
- MAC address filtering
- Broadcast/Unicast/Multicast attack protection
- Broadcast packet rate limit
- Dual image for firmware auto rollback

QoS

- Flexible packet classification
- Up to eight queues
- SP/WRR/SP+WRR
- Ingress rate limit
- Egress shaping
- WMM/Wi-Fi Multi-Media

Management

- TR-069 remote management
- OMC management
- WEB GUI management
- Local built-in diagnostic function
- Logs and statistics
- Remote upgrade by HTTP

Hardware Characteristics

- WAN: one SC/APC connector for GPON
- LAN: four RJ-45 ports for GE interface
- FXS: two RJ-11 ports for VoIP
- USB: one USB 2.0 Host interface
- Wi-Fi: 802.11b/g/n(2x2)
- Button: Wi-Fi, WPS, Reset, Power On/Off
- LED status indicators: Power, PON, LOS, Internet, Wi-Fi, Phone 1, Phone 2, LAN1, LAN2, LAN3, LAN4, WPS, USB

Electrical Characteristics

- Power input: 12V DC
- Power consumption: less than 10W

Physical Characteristics

- Net weight: about 380g
- Dimensions(WxDxH): 220x160x44mm

Environmental Characteristics

- Operating Temperature: 0°C ~ 40°C (32°F ~ 104°F)
- Humidity: 5% ~ 95% (non-condensing)

Certification

- CE certification
- Wi-Fi certification

Note: Not every listed feature will be included in the shipping product. We reserve the right to make changes of technical specifications, housing or design without prior notice.

Marca Huawei HG8045H



Huawei EchoLife HG8045H 4GE+USB-WiFi EPON GPON ONT Media Optical Network Terminal

Device Parameters			
Dimensions (H x W x D) (mm)	175 mm x 130.5 mm x 29 mm	System power supply	11~14 V DC, 0.5 A
Weight	~ 500 g	Static power consumption	5 W
Operating temperature	0°C to +40°C	Maximum power consumption	15.5 W
Operating humidity	5% RH to 95% RH (non-condensing)	Ports	4GE+1USB+WiFi
Power adapter input	100~240 V AC, 50~60 Hz	Indicators	POWER/PON/LOS/LAN/TEL/USB/WLAN/WPS

Interface Parameters	
GPON Port	<ul style="list-style-type: none"> Class B+ Receiver sensitivity: -27dBm Wavelength: LIS 1310 nm, OS 1490 nm Wavelength blocking filter (WBF) Flexible mapping between QAM Port and TCONT GPON consistent with the SN or password authentication defined in G.984.3 Bidirectional FEC SR-DBA and LSR-DBA
Ethernet Port	<ul style="list-style-type: none"> Enabled port-based VLAN tags and tag removal 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent forwarding Q-in-Q VLAN Limit on the number of learned MAC addresses MAC address learning Transparent transmission of IPv6 packets at Layer 2
POTS Port	<ul style="list-style-type: none"> Maximum REIR G.711a, G.722ab, and G.722 encoding/decoding G.728, G.711 fax mode DTRP Emergency calls (with the SIP protocol)
USB Port	<ul style="list-style-type: none"> USB 2.0 1793-based external storage
WLAN	<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11 b/g/n 2 x 2 MIMO Antenna gain: 2 dBi MIMO Multiple SSIDs WPS

Product Function	
Smart Service	<ul style="list-style-type: none"> Smart Wi-Fi sharing Portal/802.1x authentication SoftGRE-based sharing Association of one account with two POTS ports
Smart interconnection	<ul style="list-style-type: none"> Smart Wi-Fi coverage SIP/NAT40 auto-negotiation Any port any service Parental control (V300R015C00) L2/L3 (IPv4) forwarding: 1G uplink, 2G downlink
Layer 3 Features	<ul style="list-style-type: none"> PPPoE/Static IP/DHCP NAT/NAPT Port forwarding ALG, UPnP DNS/DNS server/DNS client IPv6/IPv4 dual stack, and DS-Lite Static Default routes Multiple services on one WAN port
QoS	<ul style="list-style-type: none"> Ethernet port rate limitation 802.1p priority SP/WRR/SP+WRR Broadcast packet rate limitation Flow mapping based on the VLAN ID, port ID, or/and 802.1p
Security	<ul style="list-style-type: none"> SPI firewall Filtering based on MAC/IP/URL addresses
Power Saving	<ul style="list-style-type: none"> Indicator power saving Power consumption reduction of idle components in power-saving state CCCv4
Smart O&M	<ul style="list-style-type: none"> Variable-length OMCI messages Active/Passive rogue ONT detection and isolation PPPoE/DHCP simulation testing Call emulation, and circuit test and loop-line test
Common O&M	<ul style="list-style-type: none"> OMCI/Web UI Dual-system software backup and rollback 802.1ag Ethernet OAM Optical link measurement and diagnosis Loopback check
Multicast	<ul style="list-style-type: none"> IGMP v2/v3 snooping MLD v1/v2 snooping Fast leave VLAN tag translation, transparent transmission, and removal for downstream multicast packets IGMP/MLD protocol packet rate limitation
Power Saving	<ul style="list-style-type: none"> Dynamic power saving Indicator power saving Scheduled Wi-Fi shutdown

ANEXO M: Pool de direcciones IP disponibles por el protocolo DHCP y cantidad máxima de usuarios para uso inalámbrico de ZTE ZXHN F660.

The screenshot shows the ZTE F660 web interface for the DHCP Server configuration. The path is Network-LAN-DHCP Server. A note states: "The DHCP Start IP Address and DHCP End IP address should be in the same subnet as the LAN IP." The configuration includes:

- LAN IP Address: 192.168.1.1
- Subnet Mask: 255.255.255.192
- Enable DHCP Server:
- DHCP Start IP Address: 192.168.1.2
- DHCP End IP Address: 192.168.1.62
- Assign IspDNS:
- DNS Server1 IP Address: 192.168.1.1
- DNS Server2 IP Address: [empty]
- DNS Server3 IP Address: [empty]
- Default Gateway: 192.168.1.1
- Lease Time: 86400 sec

Below the settings is a table titled "Allocated Address":

MAC Address	IP Address	Remaining Lease Term	Host Name	Port
7c:2e:dd:79:d4:91	192.168.1.4	84391	android-74a8f4e	SSID1
fc:42:03:66:2d:85	192.168.1.5	69828	android-2623aa3	SSID1
ec:5c:68:8a:1e:19	192.168.1.6	81717	DESKTOP-I61DN	SSID1
c8:3d:dc:dd:df:fc	192.168.1.9	17799	RedmiNote8-Red	SSID1
cc:50:e3:3c:1e:1a	192.168.1.8	47292	ESP-3C1E1A	SSID1

The screenshot shows the ZTE F660 web interface for the WLAN-SSID Settings configuration. The path is Network-WLAN-SSID Settings. The configuration includes:

- Choose SSID: SSID1
- Hide SSID:
- Enable SSID:
- Enable SSID Isolation:
- Maximum Clients: 20 (1 ~ 32)
- SSID Name: RED PAREDES (1 ~ 32 characters)
- Priority: 0
- Authentication Type: WPA/WPA2-PSK
- WPA Passphrase: [masked] (8 ~ 63 characters)
- WPA Encryption Algorithm: TKIP+AES

At the bottom, there are "Submit" and "Cancel" buttons. The footer text reads: "©2008-2021 ZTE Corporation. All rights reserved."

ANEXO N: Medidor de agua Baylan TK-29.



BAYLAN

WATER METERS

TK-29

Multi jet Dry type Water Meter

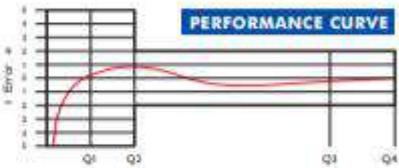




GENERAL

- MID Certified
- Suitable for potable water • 359° rotating dial
- Multi jet working principle assures a long service time
- Low pressure loss, high sensitivity at initial flow
- Vacuumed mechanism
- Special glass against for impact and pressure
- Electrostatic painted body made of corrosion resistant brass
- Protection against external magnetic fields
- For optical reading • Non return valve
- AMR reading features are optional
- 3 years of warranty • Almost no maintenance
- Suitable for cold water up to 50°C
- Service and spare parts available for 10 years

PERFORMANCE CURVE

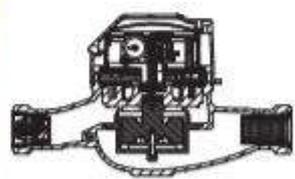


PERFORMANCE DATA

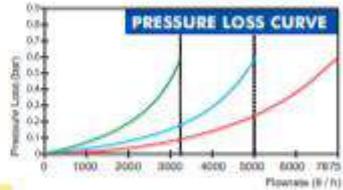
Nominal diameter	DN	15 / 20	20	25
Overload Flowrate	Q4	m ³ /h 3,125	5	7,875
Permanent Flowrate	Q3	m ³ /h 2,5	4	6,3
Transitional Flowrate	Q2	m ³ /h 0,0200 0,1	0,032 0,16	0,0504 0,252
Minimum Flowrate	Q1	m ³ /h 0,0125 0,0625	0,020 0,1	0,0315 0,1575
Q3/Q1 (MI-001 OIML R49)	-	≤200 ≤40	≤200 ≤40	≤200 ≤40
Mounting on the network	-	H V	H V	H V
Maximum Registration Capacity	m ³	9999 / 99999 / 99999,99 / 99999,999		
Initial Flow	Qi	l/h 4		
Maximum Working Pressure	bar	16		
Maximum Working Temperature	°C	50		
Pressure Loss	bar	0,63		
Smallest Reading Resolution	m ³	0.00005		
Class	-	Class 1 / Class 2		
Quantity per package	-	10		

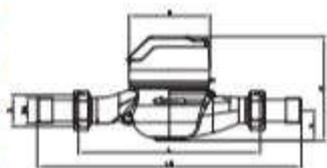
DIMENSIONS

Nominal diameter	DN	15	20	25	mm
Connecting diameter	D	G 3/4	G 1	G1 1/4	B
Total overall meter height	H	116	116	116	mm
Axis height	h	31,7	31,7	41,5	mm
Length	L	165 170 190	190	260	mm
Length with connections	LB	240 250 270	270	380	mm
Width	B	80	80	80	mm
Unit weight		1,07	1,00	1,70	kg
Package Weight (without connect)		11,51	10,76	18,30	kg
Package Weight (with connect)		13,11	12,66	22,70	kg
Package dimensions		27x48,5x20	27x48,5x20	26x52x30	cm



PRESSURE LOSS CURVE





Due to continuous development of our products, we reserve the right to modify our product design or construction without prior notice.

ANEXO O: Mediciones realizadas por el prototipo, el medidor Zenner y el medidor Baylan.



ANEXO P: Equipo GPS patrón *Smartphone* Xiaomi Redmi Note 8.

Xiaomi Redmi Note 8

El **Xiaomi Redmi Note 8** marca la octava generación de la serie Redmi Note, esta vez con una pantalla Full HD+ de 6.3 pulgadas y potenciado por un procesador Snapdragon 665 de ocho núcleos. Con opciones de 4GB de memoria RAM y 64GB de almacenamiento, 6GB de RAM y 64GB de almacenamiento o 8GB de RAM y 128GB de almacenamiento, el Redmi Note 8 cuenta con una cámara cuádruple en su posterior de 48 MP + 8 MP + 2 MP + 2 MP, y su cámara para selfies es de 13 megapíxeles. El Redmi Note 8 completa sus características con una batería de 4000 mAh con soporte para carga rápida, lector de huellas montado en su parte posterior, resistencia a salpicaduras y corre MIUI 10 basado en Android 9.0 Pie.



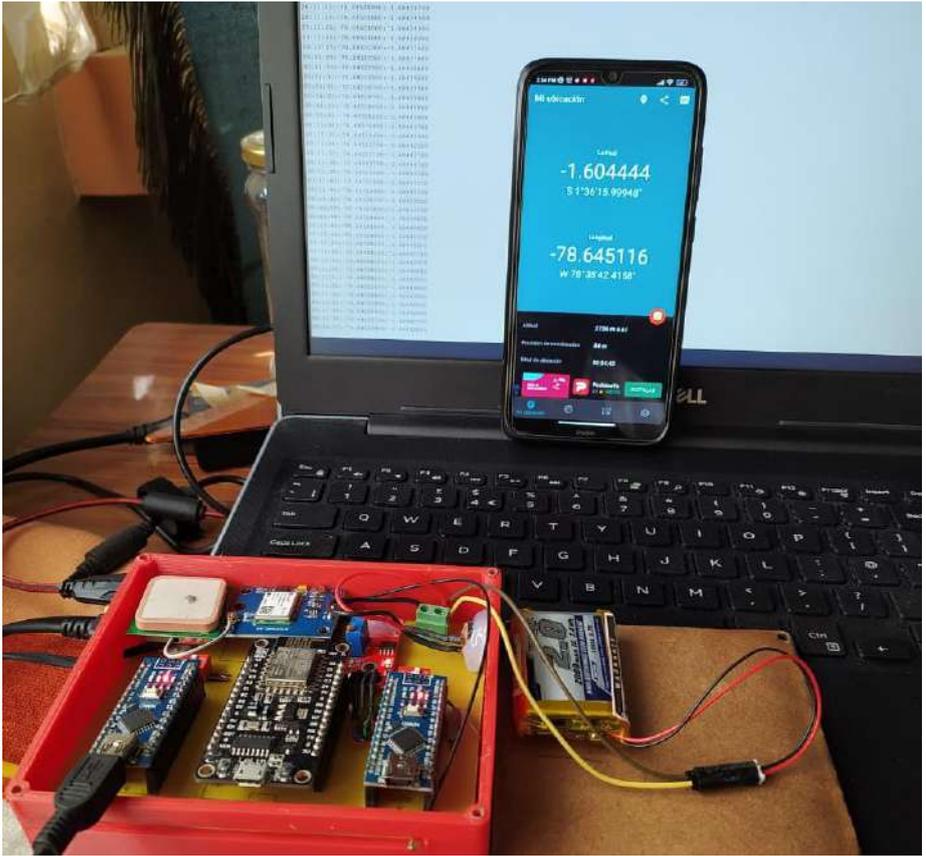
Características principales

- Pantalla:** 6.3", 1080 x 2340 pixels
- Procesador:** Snapdragon 665 2GHz
- RAM:** 4GB/6GB
- Almacenamiento:** 64GB/128GB
- Expansión:** microSD
- Cámara:** Cuádruple, 48MP+8MP+2MP+2MP
- Batería:** 4000 mAh
- OS:** Android 9.0
- Perfil:** 8.4 mm
- Peso:** 190 g
- Precio:** ~ 140 USD

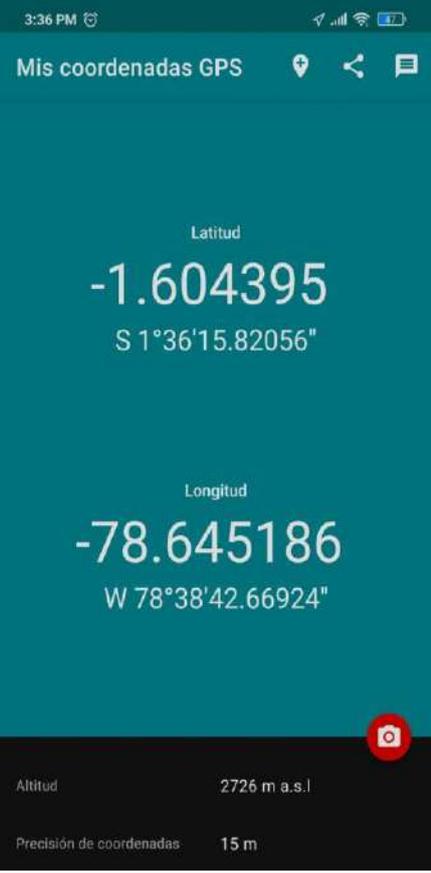
REDES	2G	GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 (GSM 1 & 900 2)
	3G	HSDPA 850 / 900 / 1700 (AWS) / 1900 / 2100
	4G	LTE
	GPRES	Si
	EDGE	Si
LAJUNTA DE SIM	SIM	nano-SIM dual
	Activación	2019, Agosto
ESTADO	Estado	Disponible
	Diseño	156.3 x 75.3 x 8.4 mm
DESPLAZAMIENTO	Peso	190 g
	Noticias	Delante de video, cuerpo de plástico
	Tubo	LCD IPS touchscreen capa capa, 16M colores
	Tamaño	6.3 pulgadas, 19.5:9
PLATAFORMA	Resolución	1080 x 2340 pixels
	Densidad	439 ppi
	Protección	Gorilla Glass 5
	OS	Android 9.0 Pie
	UI	MIUI 10
PROCESADOR	Procesador	Qualcomm SDM665 Snapdragon 665 octa-core 2GHz
	GPU	Adreno 610
MEMORIA	Interna	4GB RAM, 64GB almacenamiento interno / 6GB RAM, 64/128GB almacenamiento interno
	Slot de tarjeta	microSD, hasta 256GB
CÁMERA	Principal	Cuádruple, 48 MP (f1.8, PDAF, EIS) + 8 MP (ultra-wide) + 2 MP (f2.4, macro) + 2 MP (profundidad)
	Funciones	autofocus por teleselección de fase, flash LED dual, IA, geo-tagging, HDR
	Video	2160p@30fps
	Frontal	13 MP, f2.0, 1080p, HDR

CONECTIVIDAD	Wi-Fi	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, Wi-Fi Direct, banda dual	
	Bluetooth	v5.0 LE, A2DP	
	GPS	L1/L5 con soporte A-GPS, eL1, GLONASS, BDS	
	USB	USB Type-C 2.0, OTG	
	NFC	No	
SONIDO	Puerto Infrarrojo	Si	
	Pantalla	Altoparlante	
	Conector de audio	Conector de audio 3.5 mm	
	Notificaciones	Ringtone Polifónico, MP3, Vow, Vibración	
	Radio FM	Si	
	Reproductor de video	MP4/H.264	
	Reproductor de audio	MP3/AAC+/Vow/FLAC	
	Conexión activa de ruido	con micrófono dedicado	
	CALCULADORA	Sensores	Acelerómetro
			Proximidad
		Luz ambiente	
Seguridad		Lector de huellas	
		Desbloqueo facial	
Resistencia al agua		Capa P2, resistente a salpicaduras	
Mensajería		SMS, MMS, Email, Push Mail, IM	
Navegador		HTML5	
Colores		Negro, Azul, Blanco	
Extras		Visor de documentos	
BATERIA		Editor de fotos	
		Comandos de voz	
	Capacidad	4000 mAh	
	Tipo	Li-Po	
	Extraíble	No	
	Carga rápida	Si, 18W	
	Carga inalámbrica	No	
Stand-by			
Tiempo de conversión			

ANEXO Q: Muestreo de latitud y longitud con equipo GPS Patrón y GPS del prototipo.



```
COM9
20:11:15:-78.64520400;-1.60432000
20:11:16:-78.64524800;-1.60433500
20:11:17:-78.64524800;-1.60432990
20:11:18:-78.64524100;-1.60433200
20:11:19:-78.64523300;-1.60432990
20:11:20:-78.64522600;-1.60432900
20:11:21:-78.64522600;-1.60433300
20:11:22:-78.64521800;-1.60434000
20:11:23:-78.64521800;-1.60434700
20:11:24:-78.64521800;-1.60434900
20:11:25:-78.64521000;-1.60434900
20:11:26:-78.64521000;-1.60436300
20:11:27:-78.64520300;-1.60437600
20:11:28:-78.64519500;-1.60437800
20:11:29:-78.64519500;-1.60438800
20:11:30:-78.64519500;-1.60439600
20:11:31:-78.64518700;-1.60439900
20:11:32:-78.64518700;-1.60439900
20:11:33:-78.64518000;-1.60440800
20:11:33:-78.64518000;-1.60440800
20:11:34:-78.64516400;-1.60441700
20:11:35:-78.64516400;-1.60442300
20:11:36:-78.64515700;-1.60442900
20:11:37:-78.64515700;-1.60443700
20:11:38:-78.64515700;-1.60444700
20:11:39:-78.64519500;-1.60443100
20:11:40:-78.64521800;-1.60441510
20:11:41:-78.64523300;-1.60440500
20:11:42:-78.64524100;-1.60439500
```



ANEXO S: Almacenamiento de Información en la base de datos de 000webhost.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database. The table 'valores' is selected, and its data is displayed in a table format. The columns are 'cuenta', 'consumo', 'precio', 'categoria', 'mes', and 'ipVar'. The data is as follows:

	cuenta	consumo	precio	categoria	mes	ipVar
<input type="checkbox"/>	210	20	6.63	domestico	4	tarjeta1202104
<input type="checkbox"/>	210	30	9.33	domestico	5	tarjeta1202105
<input type="checkbox"/>	210	45	15.63	domestico	6	tarjeta1202106
<input type="checkbox"/>	210	120	36.63	domestico	7	tarjeta1202108
<input type="checkbox"/>	210	44.12	15.3836	domestico	8	tarjeta1202109
<input type="checkbox"/>	210	2.3	3.191	domestico	12	tarjeta1202201
<input type="checkbox"/>	211	22	6.99	domestica	4	tarjeta2202104
<input type="checkbox"/>	211	32	9.75	domestico	5	tarjeta2202105
<input type="checkbox"/>	211	42	14.79	domestico	6	tarjeta2202106
<input type="checkbox"/>	211	28	20.85	industrial	8	tarjeta2202109
<input type="checkbox"/>	211	28	20.85	industrial	12	tarjeta2202201
<input type="checkbox"/>	212	3.256	6.03	industrial	7	tarjeta3202108
<input type="checkbox"/>	212	50	34.22	comercial	8	tarjeta3202109

ANEXO T: Software de gestión Delphi 10.4.2 Professional.

Buy Delphi 10.4.2
El IDE definitivo para el desarrollo de aplicaciones multiplataforma compiladas de forma nativa

Ediciones de productos

	Professional	Enterprise	Architect
	Adecuado para desarrolladores individuales y pequeños equipos que crean aplicaciones móviles y de escritorio.	Adecuado para equipos de desarrollo que crean aplicaciones cliente / servidor o de varios niveles, servicios REST y similares.	Adecuado para equipos empresariales que crean bases de datos, nubes o aplicaciones habilitadas para la web.
	\$1,599 / \$399* <small>PRIMER AÑO RENOVACION</small>	\$3,999 / \$999* <small>PRIMER AÑO RENOVACION</small>	\$5,999 / \$1,399* <small>PRIMER AÑO RENOVACION</small>
	AGREGAR AL CARRO	AGREGAR AL CARRO	AGREGAR AL CARRO
Características			
Cree aplicaciones nativas de Windows con un marco y componentes de interfaz de usuario de alto rendimiento (VCL). i	✓	✓	✓
Cree aplicaciones móviles multiplataforma con Native Experience UI Framework (FMX) y componentes (iOS, Android, macOS, Windows). i	✓	✓	✓
Código fuente de la biblioteca en tiempo de ejecución. i	✓	✓	✓
Licencia de uso comercial completo. i	✓	✓	✓
Conéctese a bases de datos locales y cree aplicaciones compatibles con datos con soporte para múltiples fuentes de datos con FireDAC. i	✓	✓	✓
Base de datos integrada de InterBase. i	✓ Implementación móvil de IBLite	✓ Implementación móvil de IBToGo	✓ Implementación móvil de IBToGo
Cree aplicaciones conectadas con soporte para fuentes de datos remotas y empresariales con FireDAC. i	✓	✓	✓
Crear aplicaciones cliente / servidor Linux (incluye FMX GUI para Linux). i	✓	✓	✓
Construyendo sus servicios web REST en Linux o Windows con RAD Server. i	✓	✓ Herramientas de desarrollo e implementación de sitio de servidor único	✓ Herramientas de desarrollo e implementación en múltiples sitios de servidores.
Conectar con la nube usando Enterprise Connectors (CData). i	✓	✓	✓
Desarrollo y gestión de bases de datos. i	✓	✓	✓
Marco de desarrollo web de Ext JS (Pro). i	✓	✓	✓

ANEXO U: Cotización de medidor inteligente inalámbrico de agua potable

Correo de Outlook Isabel Juritza

Nuevo | Responder | Eliminar | Archivar | Correo no deseado | Limpiar | Mover a | Destruir

Dear **Santiago**,

Buenos días y gracias por su correo electrónico.

¿Quiere decir que quiere dos muestras de medidor de agua inalámbrico DN20?

Para este medidor de agua sin alfileres, ¿qué frecuencia de RF puede funcionar en su ciudad local: **433 Mhz o 470 Mhz?**

El sistema completo de medidor de agua inalámbrico incluye tres partes: **medidor de agua inalámbrico, adaptador y software (versión en inglés)**.

El precio de la muestra es el siguiente:

Precio de trabajo EX

Medidor de agua inalámbrico (DN20, batería seca): USD60 / pieza

Concentrador: USD460 / pieza

Software: USD6000

Tenga en cuenta que solo necesita comprar el software por una vez, luego puede copiarlo y venderlo a otros clientes.

Es una lástima que no podamos abrir su sitio web, ¿podría darnos una breve introducción de su empresa?

Espero escuchar pronto de ti.

Gracias y un saludo,

Catherine

SUNTRON Tech Co., Ltd. (ISO9001 CERTIFIED Factory)
Add: No.252 Hengsong Road, High and New Tech Industrial Development Zone, Zhengzhou City, Henan Province, China.
Mrs. Crystal Li (Export Director)
Tel: 86-371- 56160869 86-371-56160870 Fax: 86-371-67985228

Santiago 1 de 58

El coste de envío no se puede reducir más; no importa si el tiempo de entrega se incrementa un poco.

Santiago Murillo
ESPOCH
0998920050
santymurillo@gmail.com
Riobamba-Ecuador

El 6 jun, 2017 02:05, "suntron" <mater@suntron.com> escribió:

Dear **Santiago**,

Buenos días y gracias por su respuesta.

De acuerdo, para las pruebas de muestra, necesitará todo el sistema: medidor de agua inalámbrico, concentrador y software.

Para el software, es una pena que no tengamos copia de prueba.

El costo de envío será aproximadamente: USD158 (aproximadamente 6 \$KQ).

Espero escuchar pronto de ti.

Gracias y un saludo,

Catherine

SUNTRON Tech Co., Ltd. (ISO9001 CERTIFIED Factory)
Add: No.252 Hengsong Road, High and New Tech Industrial Development Zone, Zhengzhou City, Henan Province, China.
Mrs. Crystal Li (Export Director)
Tel: 86-371- 56160869 86-371-56160870 Fax: 86-371-67985228
Email: mater@suntron.com
www.suntron.net Skype: suntronmeter

Parece que está usando un bloqueador de publicidad. Para ampliar el espacio de su bandeja de entrada, suscríbese para tener un Outlook sin publicidad.



**GOBIERNO AUTÓNOMO
DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL
CANTÓN GUANO**

DIRECCION DE GESTION DE SERVICIOS PÚBLICOS
Tel: 032 900 133 Ex.30
aguapotable@municipiodeguano.gob.ec

CERTIFICADO

En la ciudad de Guano a los 14 días de septiembre del 2021, se certifica que el Señor Héctor Alexis Paredes Paucar, con cedula de identidad N° 0604378364, realizo el **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE NODO INTELIGENTE INTEGRABLE A UNA RED ANALAMBRICA PARA TELEMEDICION DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE COMO PROPUESTA PARA GADM-CGUANO**, con todos los requerimientos solicitados por la Institución, como proyecto previo a la titulación de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes.

Guano, 14 de septiembre del 2021.



Ing. Luis Alberto Gabela G.

ANALISTA DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA E INGENIERÍA CIVIL 2

032 900 133
Av. 20 de Diciembre y León Hidalgo

