

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA – SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS



**RED LPWAN QUE MIDE EL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL
DISTRITO DE DANIEL HERNÁNDEZ**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y REDES AVANZADAS

PRESENTADO POR:

Bach. Erika Rossi CASTILLO ZAMBRANO

Bach. Percy MARTICORENA CONTRERAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

HUANCVELICA, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA – SISTEMA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Mediante el aplicativo Google Meet con enlace: meet.google.com/smu-mowh-wec, habilitado por Secretaría Docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, en mérito a la **Resolución de Consejo de Facultad N° 115-2022-FIES-UNH** de fecha 04 de mayo del 2022, a los 11 días del mes de Mayo del año 2022, a horas 11:00, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente : Dr. Javier Francisco MÁRQUEZ CAMARENA

Secretario : Dr. Marco Aurelio ROSARIO VILLARREAL

Vocal : Mg. Raúl PADILLA SÁNCHEZ

Designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 0114-2022-FIES-UNH, de fecha 04 de Mayo 2022 del proyecto de investigación, Titulado:

“RED LPWAN QUE MIDE EL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL DISTRITO DE DANIEL HERNÁNDEZ”

Cuyos autores son los siguientes graduados: Bachiller **Erika Rossi CASTILLO ZAMBRANO** y Bachiller **Percy MARTICORENA CONTRERAS**

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Se dio inicio a la sustentación del proyecto de investigación en mención, a Horas 11 con 05 minutos, concluyendo a horas 12 con 35 minutos.

Finalizado la sustentación; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar la sala de actos; y, luego de una amplia deliberación y calificación por parte del jurado, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR: UNANIMIDAD

.....
Dr. Javier Francisco MÁRQUEZ CAMARENA
Presidente

.....
Dr. Marco Aurelio ROSARIO VILLARREAL
Secretario

.....
Mg. Raúl PADILLA SÁNCHEZ
Vocal

TÍTULO DEL PROYECTO

**“RED LPWAN QUE MIDE EL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL
DISTRITO DE DANIEL HERNÁNDEZ”**

AUTORES

Erika Rossi CASTILLO ZAMBRANO

Percy MARTICORENA CONTRERAS

ASESOR

Mg. Raúl PADILLA SÁNCHEZ

TABLA DE CONTENIDO

TÍTULO DEL PROYECTO	iii
AUTORES	iv
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación	21
1.4.1. Justificación teórica.....	21
1.4.2. Justificación social	21
1.4.3. Justificación económica	21
1.4.4. Justificación tecnológica	22
1.4.5. Justificación legal	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1. Red LPWAN	25
2.2.1.1. Características	25

2.2.1.2. Arquitectura de red LPWAN	26
2.2.1.3. Tecnologías de comunicación LPWAN.....	28
2.2.2. TTGO LoRa32	32
2.2.3. Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201	35
2.2.4. Consumo de agua potable	37
2.3. Definición de términos.....	40
2.4. Identificación de variables	40
2.5. Operacionalización de variables	41
CAPÍTULO III	42
MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1. Ámbito de estudio.....	42
3.2. Tipo de investigación.....	43
3.3. Nivel de investigación	43
3.4. Método de investigación.....	43
3.4.1. Diseño del prototipo	43
3.4.1.1. Determinar el porcentaje de pérdida de los registros enviados.....	44
3.4.1.2. Determinar el tiempo promedio de entrega de un registro.....	47
3.4.1.3. Determinar el consumo de energía en el envío de un registro	49
3.4.1.4. Determinar el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal	51
3.4.1.5. Determinar la Red LPWAN	53
3.5. Diseño de investigación	54
3.6. Población, muestra, muestreo	55
3.6.1. Población.....	55
3.6.2. Muestra.....	56
3.6.3. Muestreo	56
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
3.8. Procedimiento de recolección de datos.....	57
3.9. Técnica de procesamiento y análisis de datos	57
CAPÍTULO IV	58

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1. Presentación de resultados	58
4.2. Discusión de resultados	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	68
APÉNDICE	70
Apéndice 1. Matriz de consistencia	71
Apéndice 2. Programa de comunicación.....	72
Apéndice 3. Ficha de observación	79
Apéndice 4. Resultados por objetivo específicos.....	80
Apéndice 5. Fotografías	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de tecnologías de comunicación LPWAN.....	29
Tabla 2 Configuraciones de comunicación LoRa	31
Tabla 3 Asignación máxima de consumo	39
Tabla 4 Operacionalización de variables	41
Tabla 5 Resumen de pérdida de registros	58
Tabla 6 Tiempo de entrega de registros	60
Tabla 7 Lecturas realizadas con el prototipo.....	61
Tabla 8 Calculo para autonomía del prototipo.....	61
Tabla 9 Resumen del error relativo del sensor.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Progreso en el Tiempo Para el Indicador 6.5.1	16
Figura 2. Fuente de Datos Indicador 6.5.1	16
Figura 3. Clasificación por País Indicador 6.5.1	17
Figura 4. Perú en cifras	17
Figura 5. Abastecimiento de Agua por Red Pública a Nivel de Manzana.....	18
Figura 6. Componentes de red	27
Figura 7. Estructura de nodo sensor.....	28
Figura 8. Chirp	30
Figura 9. Vista frontal y posterior del módulo TTGO lora32	33
Figura 10. Diagrama de pines	35
Figura 11. Sensor de flujo YF-S201	36
Figura 12. Distrito de Daniel Hernández	42
Figura 13. Diagrama de bloques de porcentaje de pérdida de los registros enviados.....	44
Figura 14. Diagrama de flujo de porcentaje de pérdida de los registros enviados.....	46
Figura 15. Diagrama de bloques del tiempo promedio de entrega de un registro	47
Figura 16. Diagrama de flujo del tiempo promedio de entrega de un registro	48
Figura 17. Diagrama de bloques el consumo de energía en el envío de un registro	49
Figura 18. Diagrama de flujo el consumo de energía en el envío de un registro.....	50
Figura 19. Diagrama de bloques del porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal	51
Figura 20. Diagrama de flujo del porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal	52
Figura 21. Tendencia de la pérdida de registros	59
Figura 22. Ubicación de los puntos geográficos medidos.....	59
Figura 23. Promedio del tiempo de entrega de un registro	60
Figura 24. Tendencia del error relativo del sensor de caudal	62
Figura 25. Prototipo en funcionamiento.....	63
Figura 26. Monitoreo del consumo de agua potable	63

RESUMEN

Se utiliza una red LPWAN en comunicación punto a punto a una frecuencia de 915 MHz con módulos LoRa cuya programación se realiza en la plataforma IDE de Arduino, para obtener la lectura del consumo de agua potable, debido a que no se cuenta actualmente con medidores. El nivel de la investigación es de tipo aplicada, a nivel descriptivo, el método utilizado es el de observación con diseño pre experimental de una sola medición, la población se encuentra constituida por 4784 conexiones a la red de agua potable de la cual se utilizaron los muestreos por conglomerados (se dividió por sectores, distancia del receptor al transmisor cada 100 metros) y de cada sector se realizó un muestreo aleatorio simple para realizar las mediciones de consumo de agua. En el porcentaje de pérdida de los registros enviados, se empezaron a perder a partir de los 400 metros con el 8%, a los 800 metros con el 54%, y perdiéndose el total a los 1100 metros. En el tiempo de entrega de un registro, se estableció en 5569 milisegundos sin importar la distancia en las que se realizó las mediciones. En cuanto al consumo de energía en el envío de un registro, se obtuvo 0.36 miliWatts-hora, derivado de ello se estableció el tiempo de autonomía en operación constante del prototipo de 3.52 años. El porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal en 5 litros el error es de 1.88% para 50 litros de 0.01% y en 100 litros de 1.33%. Y se concluye con que la comunicación con los módulos utilizados es muy buena hasta los 800 metros, que tiene alrededor de 3 años de autonomía de funcionamiento antes cambiar la batería del transmisor y que los errores de lectura son menores a 2%.

Palabras clave: Red LPWAN, módulos LoRa, IDE de Arduino.

ABSTRACT

An LPWAN network is used in point-to-point communication at a frequency of 915 MHz with LoRa modules whose programming is done in the Arduino IDE platform, to obtain the reading of drinking water consumption, because there are currently no meters. The level of the research is applied, at a descriptive level, the method used is that of observation with pre-experimental design of a single measurement, the population is constituted by 4784 connections to the drinking water network of which cluster sampling was used (it was divided by sectors, distance from the receiver to the transmitter every 100 meters) and from each sector a simple random sampling was performed to perform the measurements of water consumption. In the percentage of loss of the records sent, they began to be lost from 400 meters with 8%, at 800 meters with 54%, and the total was lost at 1100 meters. In the time of delivery of a record, it was established in 5569 milliseconds regardless of the distance at which the measurements were made. As for the energy consumption in sending a record, 0.36 milliWatts-hour was obtained, and as a result, the autonomy time in constant operation of the prototype was established at 3.52 years. The error percentage of the value calculated from the flow sensor is 1.88% for 5 liters, 0.01% for 50 liters and 1.33% for 100 liters. And it is concluded that the communication with the modules used is very good up to 800 meters, that it has about 3 years of autonomy of operation before changing the transmitter battery and that the reading errors are less than 2%.

Keywords: LPWAN network, LoRa modules, Arduino IDE.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito de sensibilizar en el uso del agua potable por parte de los consumidores y obtener una tarifa adecuada por parte de la municipalidad.

La razón es debido a que se han presentado casos de mal uso del agua potable como tener un negocio de lavado de carros informal, regar huertos y/o chacras a pesar de estar reglamentado en la ordenanza municipal y no pudiéndose demostrar el hecho ya que no cuenta con medidores de agua, en el caso del perjuicio a los consumidores consientes se les cobra por la clasificación a la cual corresponde doméstico, comercial, industrial o estatal sin considerar la cantidad de volumen consumido.

Debido a lo argumentado se presenta como problema general ¿Cómo es la Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández? y tiene como objetivo determinar esa Red LPWAN que mida el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández, se justifica porque se hace el uso de tecnología nueva y los costos reducidos en la adquisición de módulos que poseen plataforma de código abierto como el IDE de Arduino y el consumo de energía mínimo así como su largo alcance por radio frecuencia de LoRa .

El proyecto de investigación se desarrolló en cuatro capítulos, los cuales se desarrollan a continuación:

El Capítulo I: Comprende, la realidad problemática, formulación del problema, los objetivos y la justificación.

El Capítulo II: Comprende el desarrollo del Marco Teórico donde se presentan los antecedentes, las bases teóricas, la definición de términos, la identificación de las variables y la operacionalización de las variables.

El Capítulo III: Comprende el ámbito de estudio, el tipo de investigación, el nivel de investigación, el método de investigación, el diseño de la investigación, la población, la muestra, el muestreo, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procedimiento de la recolección de datos y la técnica de procesamiento y análisis de datos.

El capítulo IV: Comprende la presentación de resultados, discusión de resultados, las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática

La realidad problemática del presente proyecto de investigación se expone en dos aspectos: La eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos (lo que corresponde a las instituciones públicas y privadas en la administración, producción y distribución del agua potable) y el consumo de agua inapropiado o sin restricciones (lo que corresponde a los usuarios finales)

La eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos es el desafío a nivel global (ONU, 2018) refiere “la gestión sostenible e integrada de los recursos hídricos es vital para el bienestar social, económico y ambiental a largo plazo, los tres pilares de la Agenda 2030, y ayuda a equilibrar las demandas de agua en competencia de toda la sociedad y la economía”.

El indicador 6.5.1 rastrea el grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), mediante la evaluación de las cuatro dimensiones clave de la GIRH: entorno propicio, instituciones y participación, instrumentos de gestión y financiamiento.

La figura 1, muestra la evolución del indicador 6.5.1 grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) por regiones a nivel global del 2017 al 2020

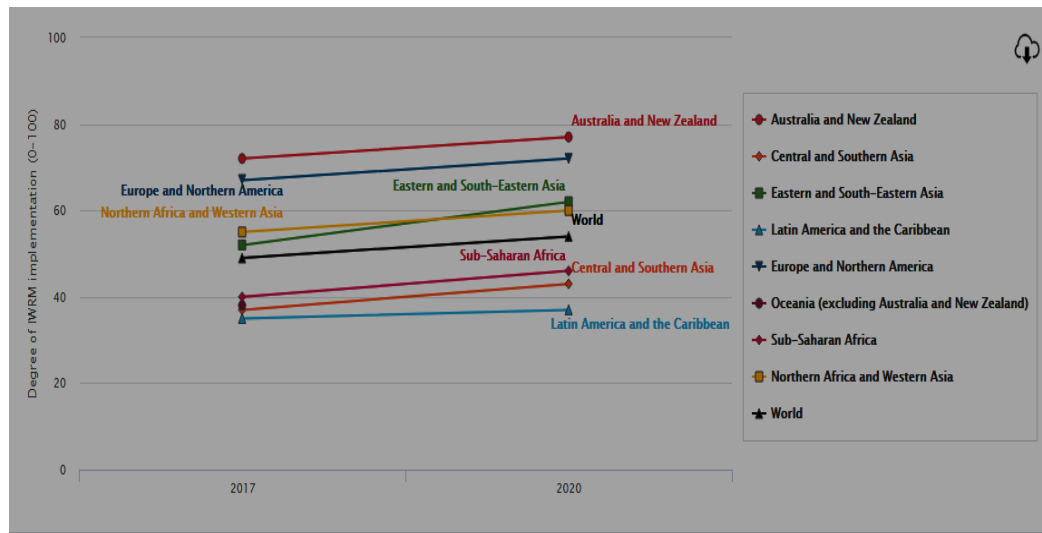


Figura 1. Progreso en el Tiempo Para el Indicador 6.5.1

Fuente: PNUMA a través del portal de datos de GIRH del PNUMA-DHI
<https://www.sdg6data.org/indicador/6.5.1>

La figura 2, muestra el indicador 6.5.1 grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) por país, para el año 2020 en el cuál se observa que en el caso de Perú tiene un avance general de 41%

País (o área), datos regionales y mundiales para el último año de presentación de informes: 2017-2020						
País (o área), región, mundo	6.5.1 Grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (0-100) (%)					
	Año	General	Ambiente apto	Instituciones y participación	Instrumentos de gestión	Financiación
Pakistán	2020	56	61	60	49	53
Panamá	2020	33	40	38	30	25
Papua Nueva Guinea	2020	19	17	20	30	7
Paraguay	2020	27	29	28	26	23
Perú	2020	41	45	47	42	30
Filipinas	2020	56	63	62	60	38

Figura 2. Fuente de Datos Indicador 6.5.1

Fuente: PNUMA a través del portal de datos de GIRH del PNUMA-DHI
<https://www.sdg6data.org/indicador/6.5.1>

La figura 3, muestra el indicador 6.5.1 grado de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) de clasificación por país, se observa que Perú se encuentra en la clasificación medio bajo.

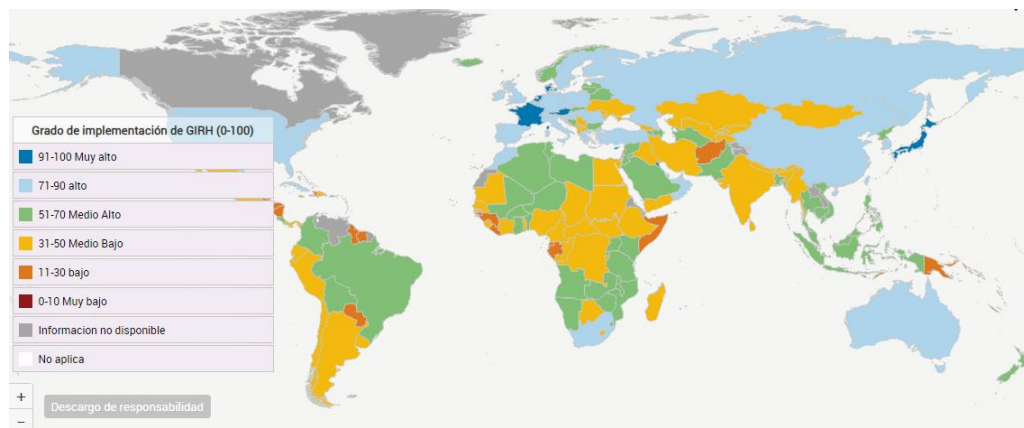


Figura 3. Clasificación por País Indicador 6.5.1

Fuente: PNUMA a través del portal de datos de GIRH del PNUMA-DHI
<https://www.sdg6data.org/indicador/6.5.1>

En el ambito nacional figura 4, (INEI, 2017) refiere que “los hogares con acceso al agua potable es del 67.4%”



Figura 4. Perú en cifras

Fuente: Reproducido de <https://www.inei.gob.pe/>

En el ámbito local (INEI, 2017) refiere que “el distrito de Daniel Hernández en la zona urbana las viviendas particulares con acceso a agua por red pública es de 2151; En la zona urbana y rural el agua de pilón de uso público 138 y de agua de pozo subterráneo 171. En la figura 5, se aprecia que la cantidad de censados es de 9089 personas”

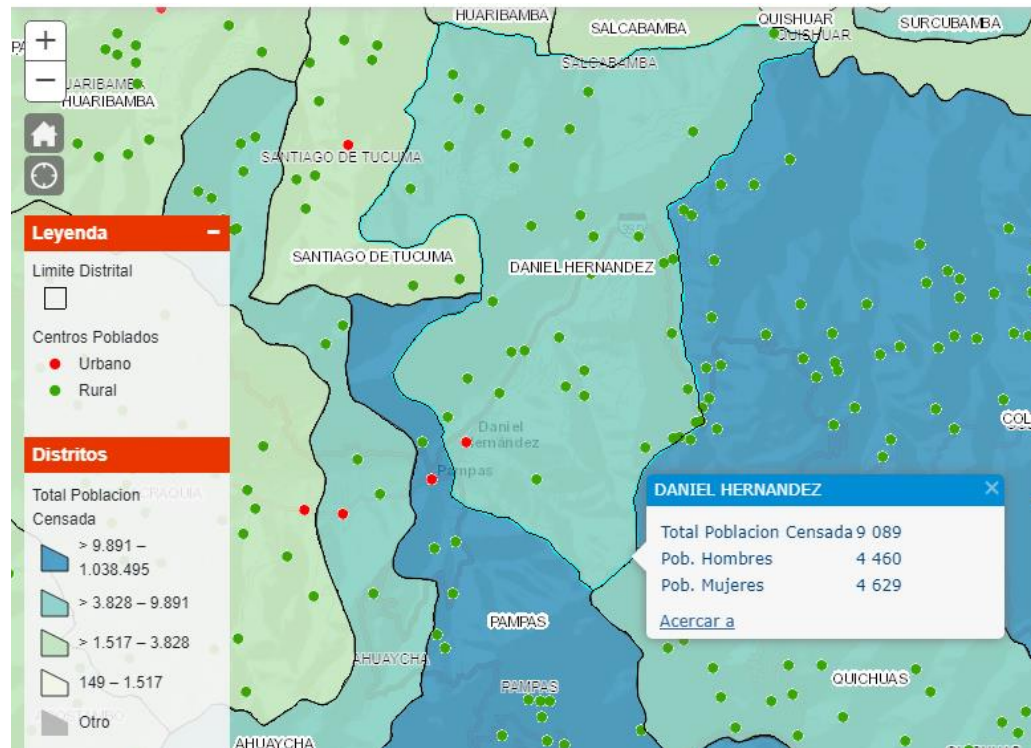


Figura 5. Abastecimiento de Agua por Red Pública a Nivel de Manzana

Fuente: INEI-Sistema de consulta de abastecimiento de agua por red pública a nivel de manzana

La Municipalidad Distrital Daniel Hernández a través de la sub gerencia de servicios públicos y medio ambiente administra la planta de tratamiento de agua potable que suministra a sus consumidores que se clasifican como: consumidor doméstico, consumidor comercial, consumidor industrial y consumidor Estatal (MDDH, 2019).

En el segundo aspecto para (Soler, 2020) refiere que “el uso de agua sin restricciones ha crecido a nivel global a un ritmo de más del doble del aumento de la población en el siglo XX, además la agricultura es responsable del 70% de las extracciones de agua dulce y de más del 90% de su uso consuntivo”.

(ANA, 2020) “Minagri invoca a no malgastar agua en juego de carnavales que son costumbres y/o conductas que no deberían continuar por que Lima es la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en medio de un desierto, después de El Cairo en Egipto”.

(PANAMERICANA, 2018) El equipo del noticiero Buenos Días Perú da a conocer que en el distrito de Lince se hace el uso indebido del agua potable que debería ser destinada para el uso de los vecinos en sus hogares, es malgastada en el riego de jardines, así como de parques municipales por parte del personal del municipio.

Se conoce a nivel local existe la ordenanza municipal que reglamenta en el artículo 6 de mantener las instalaciones de agua en perfectas condiciones, en el artículo 7 prohíbe el uso de agua potable para fines de riego de jardines, huertos, biohuertos y parcelas, lavado de unidades vehiculares, etc (MDDH, 2019). En la práctica a pesar de estar normado existen deficiencias en las instalaciones de agua como grifos inodoros, duchas, etc y se agrava con actitudes como de tener un negocio de lava carros informal, regar huertos y/o chacras.

Por lo tanto, se crea la necesidad de registrar el caudal en la distribución y/o el consumo del usuario final para evitar pérdidas, se conoce que con los medidores tradicionales se puede conseguir esto, pero con ciertas limitaciones como la lectura en el mismo lugar donde se encuentra el medidor, lectura de consumo mensual o el promedio de lecturas para la facturación.

Lo que se propone es de realizar un prototipo usando la tecnología para IoT (internet de las cosas) basado en la comunicación de LoRa. (Sanchez et al, 2018) Refiere que “es una solución novedosa conocida como Low Power - Wide Area Network (LPWAN) ha surgido como una alternativa prometedora para proporcionar conectividad de bajo costo y bajo consumo de energía a los nodos finales distribuidos en un área amplia. Concretamente, la tecnología Long-Range Wide Area Network (LoRaWAN) es una de las plataformas LPWAN que está recibiendo mayor atención tanto de la industria como del mundo académico”.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo es la Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el porcentaje de pérdidas, de los registros enviados que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?

¿Cuál es el tiempo promedio de entrega de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?

¿Cuál es el consumo de energía en el envío de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?

¿Cuál es el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el porcentaje de pérdidas del registro enviados que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández

Determinar el tiempo promedio de entrega de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández

Determinar el consumo de energía en el envío de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández

Determinar el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

El trabajo de investigación aporta conocimiento en la implementación de redes LPWAG para optimizar el consumo de agua potable en una empresa pública del sector servicios, los resultados de esta investigación pueden ser utilizados como conocimiento para realizar propuestas de mejora.

1.4.2. Justificación social

Medir el consumo de agua potable que se utiliza y pagar la correspondiente tarifa es de cierta manera una forma de justicia tanto para el usuario como para la entidad prestadora del servicio de agua potable. Además, que de una forma u otra se sensibiliza al usuario en el cuidado de no desperdiciar el agua porque le genera una merma en el ingreso familiar.

En la ordenanza municipal que aprueba para su uso eficiente del agua en el artículo 3 (MDDH, 2019) refiere que “es de interés social y tiene como objeto establecer las reglas para el mejor aprovechamiento y el uso más eficiente, incluyendo las acciones para prevenir y proteger las fuentes de agua para consumo humano, así como para desarrollar una cultura del agua”.

1.4.3. Justificación económica

Los costos que se originan en la producción de agua potable no necesariamente son baratos ya que todos los años se incrementa con la contaminación de los causes de los

que se alimenta la planta de potabilización, también se ve afectado por las sequías representando una gran variabilidad del flujo de captación y suministro

Los costos reducidos en la adquisición de módulos que poseen plataforma de código abierto como Arduino y el consumo de energía mínimo de LoRa (función sleep, envía datos solo cuando el sensor se activa) e información casi en tiempo real es una gran ventaja frente a otros tipos de monitoreo o control de facturación

1.4.4. Justificación tecnológica

La red LPWAN opera en la banda libre ISM (Industrial, Scientific and Medical) de radio que está habilitada en todo el mundo para uso no comercial y no necesita licencia 433 MHz, 868 (Europa) y 915 MHz (USA)

1.4.5. Justificación legal

De acuerdo al reglamento de la ley N° 29338 en el artículo 35.7 se menciona “Desarrollar proyectos y actividades que promuevan la protección de la calidad e incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos, mediante la investigación y adaptación de nuevas tecnologías” (MINAGRI, 2010).p 14.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

(De Castro & Alves, 2019) **“Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering”, IEEE transactions on industrial electronics.**

El escenario investigado consiste en un hogar típico que envía su potencia demandada promedio durante un período dado a un nodo agregador, que puede ser la empresa de servicios públicos o un comerciante de microrredes. Al final de cada día, el agregador va reconstruir la curva de demanda de energía a partir de las muestras decodificadas con éxito transmitidas por el hogar, se observa la relación entre el rendimiento del enlace de comunicación y la calidad de la reconstrucción de la señal.

La base de datos se compone de 400 casas con longitudes de medición que van desde unos pocos días hasta un año completo. Las estrategias de muestreo elegidas se basan en el tiempo con una frecuencia de muestreo de 30 minutos y se basan en eventos.

Los parámetros iniciales para el enfoque basado en eventos se establecieron como $E_{lim} = 2 \text{ kWh}$, $P_{lim} = 1 \text{ kW}$, con incrementos de $P_{step} = 0,5 \text{ kW}$. Estos valores se eligieron arbitrariamente para dar lugar a un número menor o igual de muestras en comparación con el enfoque basado en el tiempo (48 muestras por día). En los hogares en los que el enfoque basado en eventos conduce a más muestras que el basado en el tiempo, implementaron un procedimiento para modificar los parámetros con el fin de lograr un número similar de muestras entre los dos casos. Dicho procedimiento no es ni óptimo ni exhaustivo; sin embargo, construye un conjunto más pequeño de mediciones que es adecuado. En promedio, se observó una reducción de alrededor del 17% en el número total de medidas, pero dependiendo de los patrones de consumo de las casas, la reducción va desde alrededor del 70% (14 medidas por día en promedio) a 0 (sin reducción).

Refuerzan la medición basada en eventos, al mostrar que se puede lograr una mejor reconstrucción de señal de manera consistente en comparación con la basada en el tiempo usando un conjunto de datos diferente, es decir, diferentes perfiles de demanda y granularidad de datos.

(Tsyani et al, 2018) **“Battery Monitoring System with LoRa Technology”, 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)**

El prototipo monitorea baterías de plomo-ácido en áreas de gran distancia utilizando LoRa SX1278 como módulo de comunicación inalámbrica. El objetivo de este trabajo fue encontrar la confiabilidad de LoRa como transmisor de datos. Se trabajó con un bajo presupuesto, se basaron en una antena de resorte básica que es barata y fácil de instalar, con un costo de diez dólares por nodo y 25 milivatios de potencia se pudo enviar datos desde la batería al punto central. El movimiento de voltaje se pudo monitorear por 6 segundos que permitió analizar el estado de la batería como: carga adicional, batería descargada y falla.

El error porcentual de envío de datos alcanzado fue de 0,013% y el error porcentual de lectura de voltaje analógico es 0,023%. Esta investigación demostró que LoRa podría ser la solución para el desarrollo rural en Indonesia.

(Mdhaaffar et al, 2017) **“IoT-based Health Monitoring via LoRaWAN”, IEEE EUROCON 2017.**

Se presenta un nuevo enfoque de monitoreo de salud basado en IoT en el que los datos de sensores médicos recopilados se envían a un módulo de análisis a través de enlaces de comunicación seguros, de bajo costo y bajo consumo proporcionados por una infraestructura de red LoRaWAN. Tienen como propósito monitorear la presión arterial, la glucosa y la temperatura en áreas rurales donde la cobertura de la red celular está ausente o no permite la transmisión de datos.

El objetivo principal es reducir la carga de los viajes largos de las personas que viven en zona rural para visitar los centros de salud, al tiempo que se minimizan los costos de comunicación. Los resultados indican que el área promedio cubierta es de alrededor de 33 km² cuando el LoRa Gateway se coloca al aire libre a una altitud de 12 metros. El kit consume 148,6 mA durante 0,5 segundos y 4,4 mA durante la parte restante del minuto antes de la transmisión del siguiente cuadro que contiene los valores del sensor médico, por lo que el consumo de energía es al menos diez veces menor que el de otras soluciones celulares de largo alcance, como GPRS / 3G / 4G.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Red LPWAN

Del inglés Low-Power Wide-Area Network, es un tipo de red de telecomunicaciones inalámbricas, diseñada para permitir comunicaciones de hasta más de 10 kilómetros de distancia con línea de vista y con una tasa de transferencia de datos baja, entre los 100 bps y los 200 kbps (Mekkia et al, 2017)

2.2.1.1. Características

Largo alcance: La distancia de comunicación entre dispositivos varía desde unos pocos kilómetros en áreas urbanas hasta más de 10 km en entornos rurales.

Bajo consumo de energía: Redes optimizadas para un bajo consumo de energía, los módulos de comunicación (transceptores) LPWAN pueden funcionar con baterías pequeñas y económicas durante años.

Bajo costo: Los protocolos de bajo consumo de recursos y su largo alcance combinado con una topología en estrella o malla, reducen la complejidad en el diseño de hardware e infraestructura de red y reducen los costos de implementación.

Tasa de bits y ciclo de trabajo: El ambiente o entorno en donde se implementan las redes LPWAN se caracterizan por que la variación de las mediciones obtenidas

fluctúa gradualmente en el transcurso del tiempo gracias a ello es posible reducir la tasa de bits de la red y el ciclo de trabajo de los nodos sensores a alrededor del 1%.

Escalabilidad: Una red LPWAN debe ser escalable, ya que este tipo de redes, usualmente, presentan un crecimiento considerable en un lapso de tiempo corto, por ende, todos sus dispositivos de red, principalmente el gateway y el servidor, deben ser capaces de soportar el incremento de flujo de información o brindar la facilidad de acoplar nuevos dispositivos que permitan escalar la red (Porras & Salah, 2019).

2.2.1.2. Arquitectura de red LPWAN

La arquitectura de una red LPWAN se basa en topología tipo estrella, es decir, muchos dispositivos finales, también llamados nodos, se comunican directamente con un dispositivo central, el cual tiene funciones de enrutamiento para direccionar toda la información suministrada por los nodos, a una estación base o servidor, esta estación le brinda al administrador de red la capacidad de instrumentar, monitorear y ejecutar acciones ante eventos y fenómenos en un entorno especificado (Porras & Salah, 2019).

Componentes de la red

Hay tres componentes básicos en una red de sensores:

- Un conjunto de dispositivos, llamados **nodos**, equipados con sensores, módulos de procesamiento y módulos de comunicación, normalmente inalámbrica, distribuidos en un área específica.
- Uno o más puntos centrales de agrupamiento de información, normalmente conocido como **gateway**.
- Una **estación base** compuesta por un conjunto de recursos informáticos en el punto central, o más allá, para controlar estados de los dispositivos, manejar correlación de datos, tendencias de eventos, consulta de estados, minería de datos, etc.

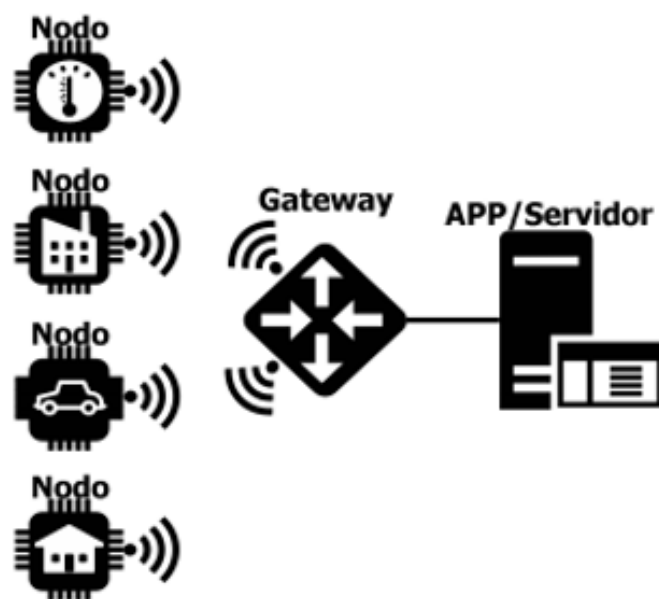


Figura 6. Componentes de red

Fuente: MET & FLU 2019 p 55

Nodo sensor: Los nodos sensores se encargan de medir variables físicas en un entorno determinado con gran detalle, además, realizan procesamiento de datos, ejecutan alguna acción mediante actuadores y se comunican, normalmente de manera inalámbrica, con el Gateway a través de un transceptor. En su arquitectura más básica, se componen de un micro controlador, una fuente de alimentación, una memoria interna o externa, un módulo de comunicación o transceptor y una variedad de sensores y actuadores.

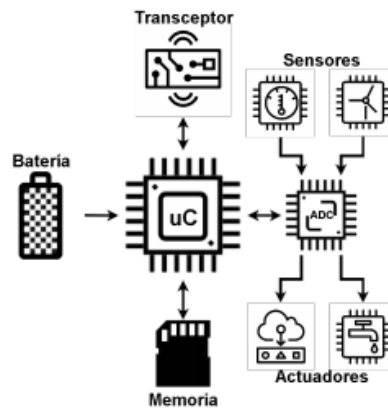


Figura 7. Estructura de nodo sensor

Fuente: MET & FLU 2019 p 56

Gateway: El gateway periódicamente realiza consultas para comprobar el estado de la red y recoge la información recolectada por los sensores, para posteriormente enviarlas hacia un servidor a través de protocolos como TCP/IP.

2.2.1.3. Tecnologías de comunicación LPWAN

Las tecnologías de comunicación más usadas en las redes LPWAN son LoRa, Sigfox y NB-IoT ver tabla 1. Éstas fueron diseñadas para permitir desplegar una red de sensores con las características anteriormente descritas en las redes LPWAN, todas ellas difieren una de la otra en cuanto a su funcionamiento y método de implementación (Porrás & Salah, 2019).

Tabla 1
Comparación de tecnologías de comunicación LPWAN

	Sigfox	Lora	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	433,868,915 MHz	433,868,915 MHz	LTE Frec. licenciada
Ancho de banda	200 Hz	125-250-500 KHz	200 Hz
Tasa de bits	100 bps	50 bps	200 bps
Mensajes/día (máx.)	140(UL), 4(DL)	ilimitado	ilimitado
Tamaño máximo del payload	12 bytes (UL) 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Distancia	10 Km (urbano) 40 Km (rural)	5 Km (urbano) 20 Km (rural)	1 Km (urbano) 10 Km (rural)
Inmunidad a la interferencia	Muy alto	Muy alto	Baja
Tasa de bits adaptable	No	Si	No
Redes privadas	No	Si	No

Fuente: Adaptado de MET & FLU 2019 p 56

LORA (Long Range)

LoRa es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica usadas en las redes LPWAN, para dispositivos de bajo consumo energético y comunicaciones a largas distancias (mayor a 5 km).

Dentro de la terminología del protocolo de comunicación LoRa encontramos dos términos principales en los cuales se establecen los procedimientos, protocolos y

estándares para permitir una comunicación con las características de una red LPWAN, ellos son: LoRa y LoRaWAN. Siendo LoRa la capa física del protocolo de comunicación y LoRaWAN el stack de protocolos a nivel de enlace de datos (Porras & Salah, 2019).

LoRa (capa física): comprende todo método de modulación, demodulación y encriptación de los datos para establecer una comunicación segura de transmisor a receptor. La modulación LoRa está basada en la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS). CSS es una técnica de modulación de espectro ensanchado que utiliza pulsos llamados chirridos o chirps para codificar la información. Un chirp es un tono en donde la frecuencia aumenta (up-chirp) o disminuye (down-chirp) en el tiempo, ver figura 8.

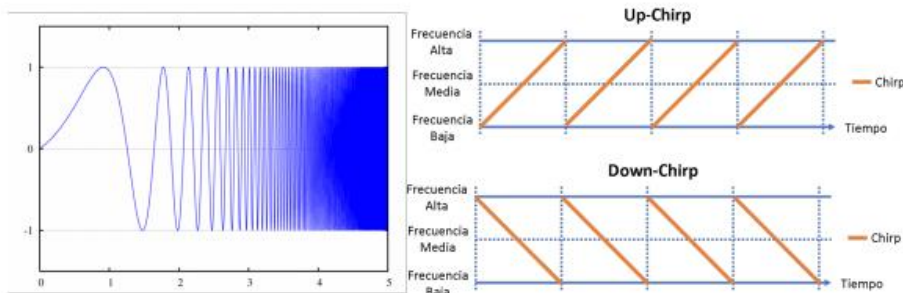


Figura 8. Chirp

Fuente: MET & FLU 2019 p 58

Ancho de banda: Como se muestra en la Tabla 1, LoRa usa tres anchos de banda, 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz. Cada chirp generado durante la comunicación usa la totalidad del ancho de banda.

Factor de propagación (sf - spreading factor): El factor de propagación es la duración del chirp en el aire. LoRa opera con factores de propagación del 7 al 12, donde, SF7 es el tiempo más corto en el aire y SF12 el más largo.

Cuanto mayor sea el factor de propagación, mayor será la distancia posible de comunicación, pero la cantidad de datos a transmitir serán limitados, tal y como se aprecia en la Tabla 2.

Velocidad de datos (DR – data rate): LoRa usa diferentes rangos de frecuencias, factores de propagación y anchos de banda según la ubicación en donde se implementen, cada país establece los parámetros de transmisión para esta tecnología de comunicación, las comunicaciones con tecnología LoRa se deben encontrar en el rango de frecuencias de los 915 MHz. Para la mayoría de países del continente americano como Estados Unidos y Colombia se usan las siguientes configuraciones

Tabla 2
Configuraciones de comunicación LoRa

Velocidad de los datos (DR)	Configuración	Bits/s	Tamaño máximo (bits)
DR0	SF10/125KHz	980	19
DR1	SF9/125KHz	1760	61
DR2	SF8/125KHz	3125	133
DR3	SF7/125KHz	5470	250
DR4	SF8/500KHz	12500	250
DR8	SF12/500KHz	980	41
DR9	SF11/500KHz	1760	117
DR10	SF10/500KHz	3900	230
DR11	SF9/500KHz	7000	230
DR12	SF8/500KHz	12500	230
DR13	SF7/500KHz	21900	230

Fuente: Adaptado de MET & FLU 2019 p 58

Clases de dispositivos lora

Clase A: Consiste en comunicación bidireccional a través de tres ventanas de enlace, la primera ventana (ventana de transmisión) se utiliza para enviar datos desde el nodo hacia el servidor o APP (uplink), la segunda y tercera ventanas (ventana de recepción) se utilizan para recibir datos provenientes desde el servidor o APP (downlink), solo una de estas dos ventanas de recepción será la que reciba la información proveniente desde el servidor o la APP, si se obtuvo alguna información en la primera ventana de recepción, no habrá una segunda ventana de recepción.

La clase A es la configuración óptima para el máximo ahorro de consumo energético ya que el nodo se encontrará la mayor parte del tiempo de funcionamiento en modo “sleep”, en este modo el dispositivo no realiza ninguna comunicación a la red y sus periféricos se encontrarán desactivados. Cada cierto intervalo de tiempo el dispositivo saldrá del estado “sleep” y realizará la comunicación de las tres ventanas comentadas anteriormente.

Clase B: El funcionamiento de los dispositivos clase B es igual a los dispositivos clase A, con la diferencia de que estos dispositivos generan ventanas de recepción adicionales cada cierto intervalo de tiempo para recibir datos provenientes del servidor o APP con mayor frecuencia.

Clase C: Los dispositivos clase C están pensados para aplicaciones en donde el nodo se encontrará alimentado directamente a la red eléctrica local, debido a que las ventanas de transmisión y recepción estarán siempre activas y no existirá el estado “sleep”, por lo cual, el consumo eléctrico será mucho mayor.

2.2.2. TTGO LoRa32

V2.1/433/868/915Mhz ESP32 LoRa OLED 0,96 tarjeta SD en pulgadas WIFI Bluetooth módulo inalámbrico ESP-32 SMA IP5306

En el TTGO LoRa V2.1 _ 1,6, añadimos el SMA y el TP4054 a la placa, lo que hace que pueda hacer más cosas. En términos de interruptor de alimentación, hemos cambiado el modo de interacción de conmutación. La antena SMA añadida puede mejorar la transmisión de señal. (AliExpress, 2020)



Figura 9. Vista frontal y posterior del módulo TTGO lora32

Fuente: Modificado de Aliexpress

2.2.2.1. Características del producto

Voltaje de trabajo: 1,8 ~ 3,7 v

Corriente aceptable: 10 ~ 14ma

Corriente de transmisión: 120mA @ + 20dBm

90mA @ + 17dBm

29mA @ + 13dBm

Frecuencia de funcionamiento: 868M/915MHz

Potencia de transmisión: + 20dBm

Sensibilidad de recepción : -139DBM @ LoRa & 62,5 Khz & SF = 12 y 146bps

-136dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 12 y 293bps

-118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps

-123dBm @ FSK y 5Khz y 1,2 Kbps

Error de frecuencia: +/-15KHz

Espacio FIFO: 64 bytes

Velocidad de datos: 1,2 K ~ 300Kbps @ FSK

0.018K ~ 37,5 Kbps @ LoRa

Modo de modulación: FSK,GFSK MSK... el sistema GMSK LoRa TM OOK

Interfaz forma: SPI

Corriente de sueño: uA @ Sleep

1.5uA @ IDLE

Temperatura de funcionamiento:-40°C- + 85 °C

Digital RSSI función

De Frecuencia automático de corrección

Control automático de ganancia

Despertador rápido y salto de frecuencia

Controlador de paquetes de datos altamente configurable

Antena SMA

TP4054

2.2.2.2. Diagrama de pines

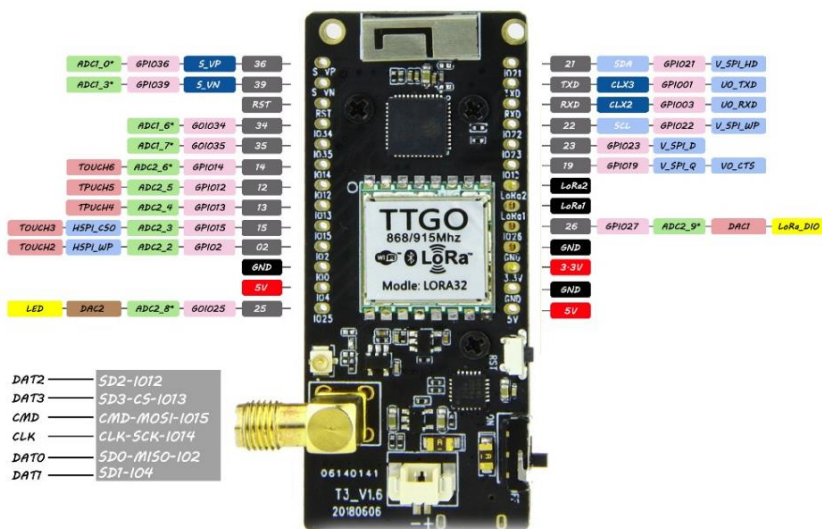


Figura 10. Diagrama de pines

Fuente: Aliexpress

2.2.3. Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201

Un sensor de flujo o caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, por lo general se expresa en: litros por minutos (l/m), litros por hora (l/h), metros cúbicos por hora (m³/h), etc.). Los caudalímetros suelen colocarse directamente en la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores/sensores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

Es un caudalímetro electrónico de tipo turbina. Compatible con sistemas digitales como Arduino, Pic, Raspberry Pi, PLCs. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall). Con la ayuda de este sensor podrás ingresar al mundo de la Domótica, monitoreando el consumo de

agua en tu hogar, o puedes hacer un dispensador de volumen automatizado con la ayuda de una válvula adicional.



Figura 11. Sensor de flujo YF-S201

Fuente: naylampmechatronics.com

El funcionamiento del sensor es de la siguiente forma: el caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un Arduino o PLC. El sensor de efecto Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido (promedio) podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua. Se recomienda utilizar interrupciones por hardware en el Arduino para detectar o contar los pulsos del sensor. Tenga en cuenta que este no es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición. Se recomienda calibrar el sensor realizando mediciones con volúmenes conocidos. Calibrado puede llegar a tener una precisión de hasta 10%. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Fórmula: Flujo del agua en L/min = Pulsaciones del sensor (Hz) / 7.5

2.2.3.1. Especificaciones técnicas

Modelo: YF-S201

Voltaje de operación: 5V - 18V DC

Consumo de corriente: 15mA (5V)

Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)

Salida: Onda cuadrada pulsante

Rango de Flujo: 1-30L/min

Volumen promedio por pulso: 2.25mL

Pulsos por litro: 450

Factor de conversión: 7.5

Rosca externa: 1/2" NPS

Presión de trabajo máx.: 1.75MPa (17 bar)

Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C

Material: Plástico color negro

2.2.4. Consumo de agua potable

En el Perú, según el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) al 2018, un peruano consume en promedio un máximo de 163 litros de agua por día, más de lo que indica la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 100 litros diarios. Este consumo se ve influenciado por factores socioeconómicos donde zonas con mayor presencia de restaurantes, centros comerciales, hoteles y viviendas residenciales consumen más agua que las zonas pobres. Por ejemplo, en Lima en el distrito de San Isidro cada usuario consume al día 477 litros de agua potable, cifra que supera en un 400% el estimado recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para cubrir las necesidades de alimentación y aseo de la población. En Miraflores el consumo por persona es de 436 litros de agua potable por día. Lo siguen Barranco, Lince y San Borja con consumos de 267; 254 y 253, litros por persona respectivamente.

Sin embargo, según La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) al 2017, hay distritos como Lurigancho Chosica, en donde una persona consume un promedio de 15 litros de agua al día, en Pachacámac, el promedio por día es 36 litros y en Cieneguilla 40 litros, cifras preocupantes que implican una distribución inequitativa del agua influenciado por el factor económico (Huaquisto & Chambilla, 2019).

2.2.4.1. Asignación máxima de consumo por agua y alcantarillado

La asignación de consumo para los usuarios se realiza de acuerdo a la clasificación de tarifas, conceptos y horas de abastecimiento diario para todos los distritos en el que presta el servicio (SEDAPAL, 2021). Ver tabla 3

Tabla 3
Asignación máxima de consumo

Tarifas	Conceptos	Horas de abastecimiento diario					
		Hasta 3 horas		De 4 a 6 horas		De 7 a 24 horas	
Uso residencial							
Social	Agua y alcantarillado	4m³	S/. 7.96	7m³	S/. 13.92	12m³	S/. 23.87
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		2.40		3.47		5.26
	Total		S/. 15.72	Total	S/. 22.76	Total	S/. 34.49
Doméstica	Subsidiado						
	Agua y alcantarillado	15m³	S/. 31.13	21m³	S/. 44.96	21m³	S/. 44.96
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		6.57		9.06		9.06
	Total		S/. 43.06	Total	S/. 59.38	Total	S/. 59.38
	No subsidiado						
	Agua y alcantarillado	15m³	S/. 38.82	21m³	S/. 55.42	21m³	S/. 55.42
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		7.95		10.94		10.94
	Total		S/. 52.13	Total	S/. 71.72	Total	S/. 71.72
Uso no residencial							
Comercial	Agua y alcantarillado	15m³	S/. 128.09	18m³	S/. 153.70	18m³	S/. 153.70
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		24.02		28.63		28.63
	Total		S/. 157.47	Total	S/. 187.70	Total	S/. 187.70
Industrial	Agua y alcantarillado	27m³	S/. 247.32	27m³	S/. 247.32	27m³	S/. 247.32
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		45.48		45.48		45.48

		Total	S/. 298.16	Total	S/. 298.16	Total	S/. 298.16
Estatad	Agua y alcantarillado	34m³	S/. 188.94	34m³	S/. 188.94	34m³	S/. 188.94
	Cargo fijo		5.36		5.36		5.36
	IGV. 18%		34.97		34.97		34.97
	Total		S/. 229.27	Total	S/. 229.27	Total	S/. 229.27

Fuente: SEDAPAL, modificado de asignaciones máximas de consumo

2.3. Definición de términos

Consumidor comercial: Las personas que utilizan el agua en su predio con fines comerciales

Consumidor doméstico: Las personas que utilizan el agua para satisfacer las necesidades de sus viviendas

Consumidor estatal: Las dependencias y entidades del gobierno nacional, estatal y municipal

Consumidor industrial: Las personas que emplean el agua como insumo para la elaboración de sus productos o cualquier parte de los mismos

Uso consuntivo: El agua una vez usada, no se la devuelve de la misma manera como se ha extraído.

2.4. Identificación de variables

Las variables en el proyecto de investigación son: la Red LPWAN y el Consumo de agua potable

2.5. Operacionalización de variables

En la tabla 4 se muestra la definición conceptual así como su definición operacional de las variables

Tabla 4
Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Definición operacional	Unidades
Red LPWAN	Comunicación inalámbrica de punto a punto de baja potencia en la frecuencia de 915 MHz.	Pérdida de registros	Porcentaje de registros perdidos	%
		Entrega de registro	Tiempo que tarda un registro desde la solicitud de envío hasta su almacenamiento en el receptor	ms
		Consumo de energía	Energía consumida durante el envío del registro	mWh
Consumo de agua potable	Cantidad de agua	volumen	Valor calculado a partir del sensor de caudal	m ³

Fuente: Elaborado por los autores

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

El proyecto de investigación se realiza en el año 2021 y contempla como ámbito de estudio el distrito de Daniel Hernández, provincia de Tayacaja, Región de Huancavelica. “Sus coordenadas geográficas son 12° 23' 24" latitud sur y 74° 51' 28" longitud oeste, se encuentra a una altitud 3261 metros sobre el nivel del mar” (MDDH, 2021), como se muestra en la figura 12

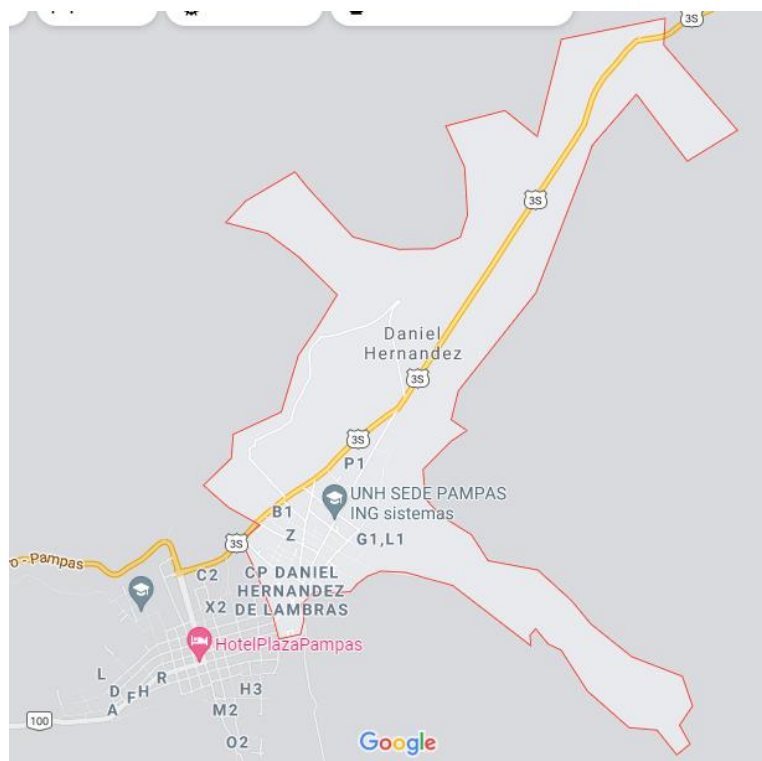


Figura 12. Distrito de Daniel Hernández

Fuente: Google maps <https://www.google.com.pe/maps/place/Daniel+Hernandez>

3.2. Tipo de investigación

De acuerdo al propósito de la investigación, naturaleza del problema y objetivos formulados en el trabajo, el presente estudio reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una investigación aplicada

“La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo” (Lozada, 2014) p.1

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es el descriptivo cuantitativo, ya que en el trabajo de investigación se requiere medir las variables Red LPWAN y consumo de agua potable mediante sus respectivos indicadores y sin establecer relaciones entre ellas.

“Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren” (Hernández et al, 2014) p.92

3.4. Método de investigación

“El método de observación consiste en observar las características esenciales de algún hecho o realidad a través de fichas” (Córdova, 2012) p.81

Para utilizar el método de la observación sobre el cuál se deben adquirir los datos y posteriormente desarrollar el correspondiente análisis para obtener los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se diseña un prototipo.

3.4.1. Diseño del prototipo

La red LPWAN trabaja a una frecuencia de 915 MHZ, para una distancia 1 kilómetro con una cobertura omnidireccional (radia al espacio potencia de forma uniforme en todas las direcciones).

Las pruebas se realizan con vista libre y con obstáculos.

La comunicación es cada hora, entre los módulos emisor (remoto) y el receptor (central) se realiza mediante el envío o recepción de registros que están compuestos por una serie de datos como son el número del registro, volumen, tensión entre otros dependiendo del requerimiento del objetivo a alcanzar.

El diseño del prototipo, se desarrolla de acuerdo a los objetivos específicos y al objetivo general planteado en el presente estudio de investigación.

3.4.1.1. Determinar el porcentaje de pérdida de los registros enviados

En el presente objetivo queremos conocer el porcentaje de registros que pierden o no llegan a su destino debido a los diferentes factores externos que pudieran afectar a una comunicación normal.

Entonces se necesita identificar el registro, para ello le asignamos un número correlativo ascendente en cada envío del módulo emisor y observar en el módulo receptor si efectivamente llega el registro correlativo ascendente si no fuera el caso entonces se notará que no llega uno o varios de estos registros.

Las medidas deben realizarse cada 100 metros de distancia entre los módulos emisor y receptor utilizando el Googlemaps para conocer las zonas geográficas de difícil cobertura.

Diagrama de bloques

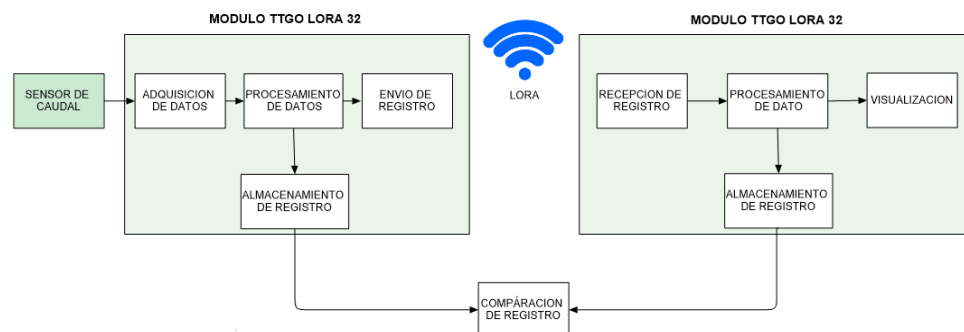


Figura 13. Diagrama de bloques de porcentaje de pérdida de los registros enviados

En la figura 13 se observa cuando el emisor envía el registro éste se guarda en una unidad de almacenamiento luego en el receptor el registro también se guarda en una unidad de almacenamiento. Luego se verifica la cantidad de registros que llega en base a su identificación del registro, en una hoja Excel para determinar la cantidad de registros recibidos en porcentaje.

Diagrama de flujo

En la figura 14, se muestra que luego de definir las librerías, los pines de entradas/salidas, se inicia el programa, cuando el sensor se activa comienza el contador a contar los pulsos generados por el paso del agua luego lo convierte a volumen después pasa asignarle un número de registro a continuación le solicita el registro la sub función del programa si es conforme lo almacena y se envía. En el receptor sigue el mismo procedimiento que el emisor hasta que se inicializa el programa luego verifica si llegó algún registro, si llegó lo procesa y lo almacena.

DIAGRAMA DE FLUJO EL EMISOR TTGO LORA 32

DIAGRAMA DE FLUJO EL RECEPTOR TTGO LORA :

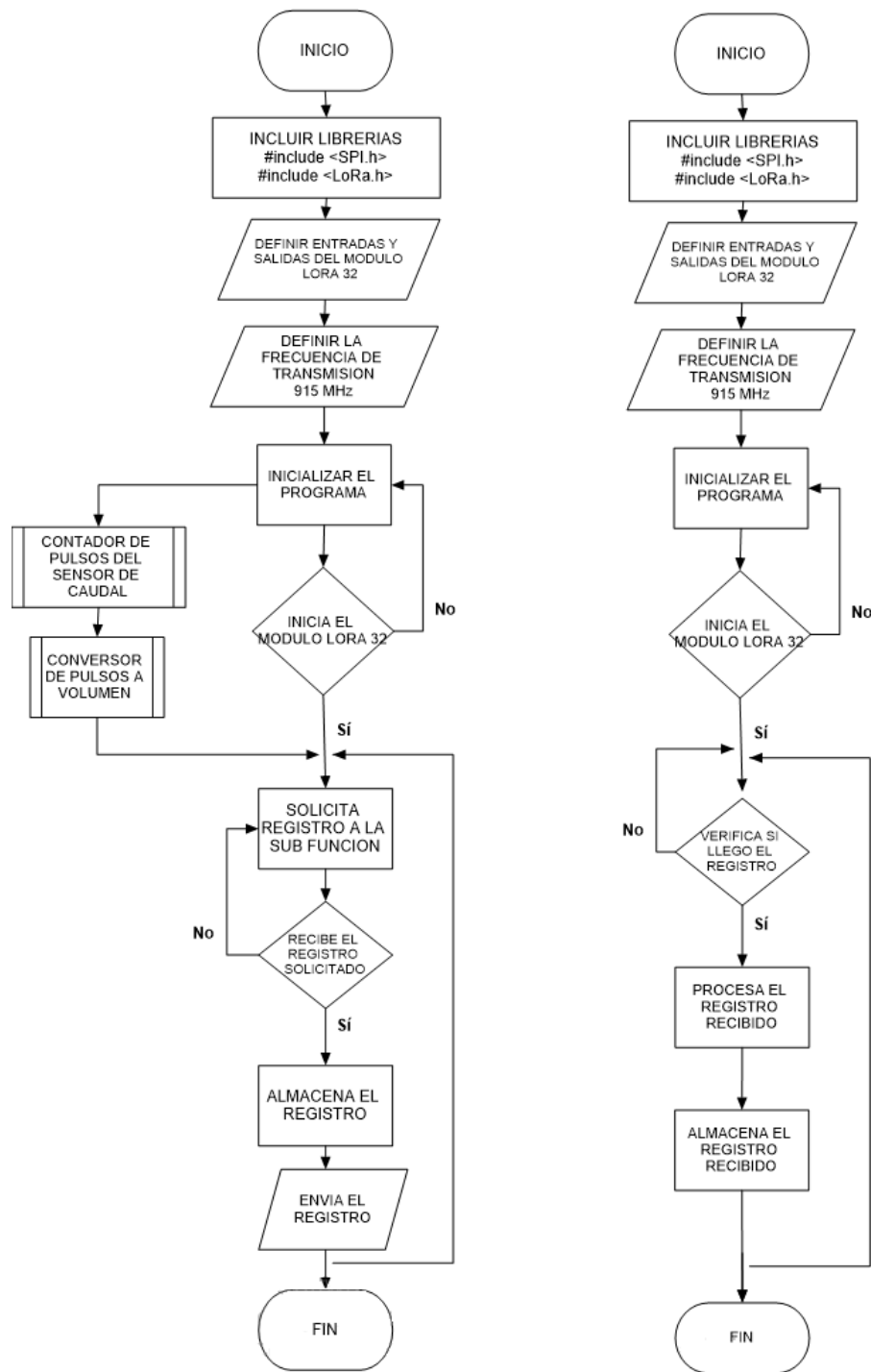


Figura 14. Diagrama de flujo de porcentaje de pérdida de los registros enviados

3.4.1.2. Determinar el tiempo promedio de entrega de un registro

En el presente objetivo queremos conocer el tiempo que demora desde el envío hasta su destino de un registro, como son varios entonces determinaremos el promedio de estos. Debido a que dependen del tamaño y el procesamiento de los datos, no se conoce cuánto le tomará a ambos módulos realizar la operación.

Debido al modo de funcionamiento de los módulos, el receptor tiene que solicitarle el envío del registro para comenzar la operación del tiempo de entrega de un registro.

Entonces se necesita establecer la hora de la solicitud de envío del registro (inicio) y la hora de recepción, cuando recibe lo procesa y guarda el registro (termino). La diferencia del tiempo entre éstas, que es el tiempo de entrega del registro.

Diagrama de bloques

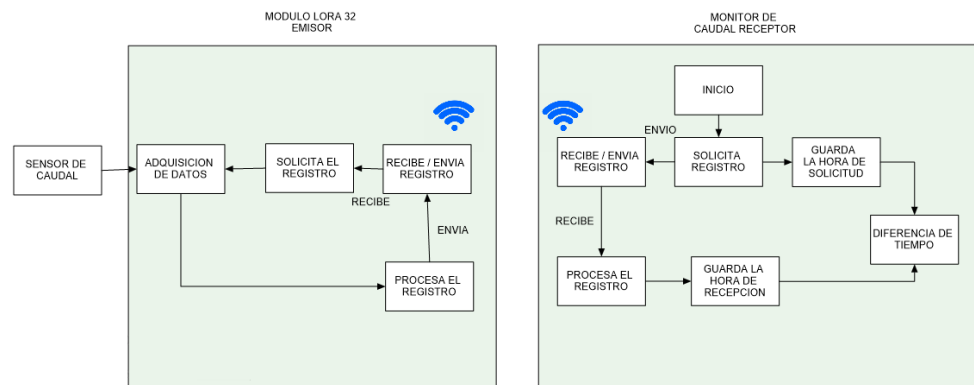


Figura 15. Diagrama de bloques del tiempo promedio de entrega de un registro

Está compuesto por dos módulos lora 32 un emisor (remoto) y receptor (central) ver figura 15. La operación comienza y termina en el módulo receptor.

Diagrama de flujo

En la figura 16, el emisor captura la información del sensor de caudal, lo procesa y espera la solicitud por parte del receptor para enviar el registro.

El receptor solicita información del estado actual del sensor en el emisor, en paralelo guarda la hora de solicitud luego espera que el emisor le envíe el registro. Lo recibe, lo procesa y guarda la hora de recepción, para luego calcular el tiempo que demora (tiempo de entrega).

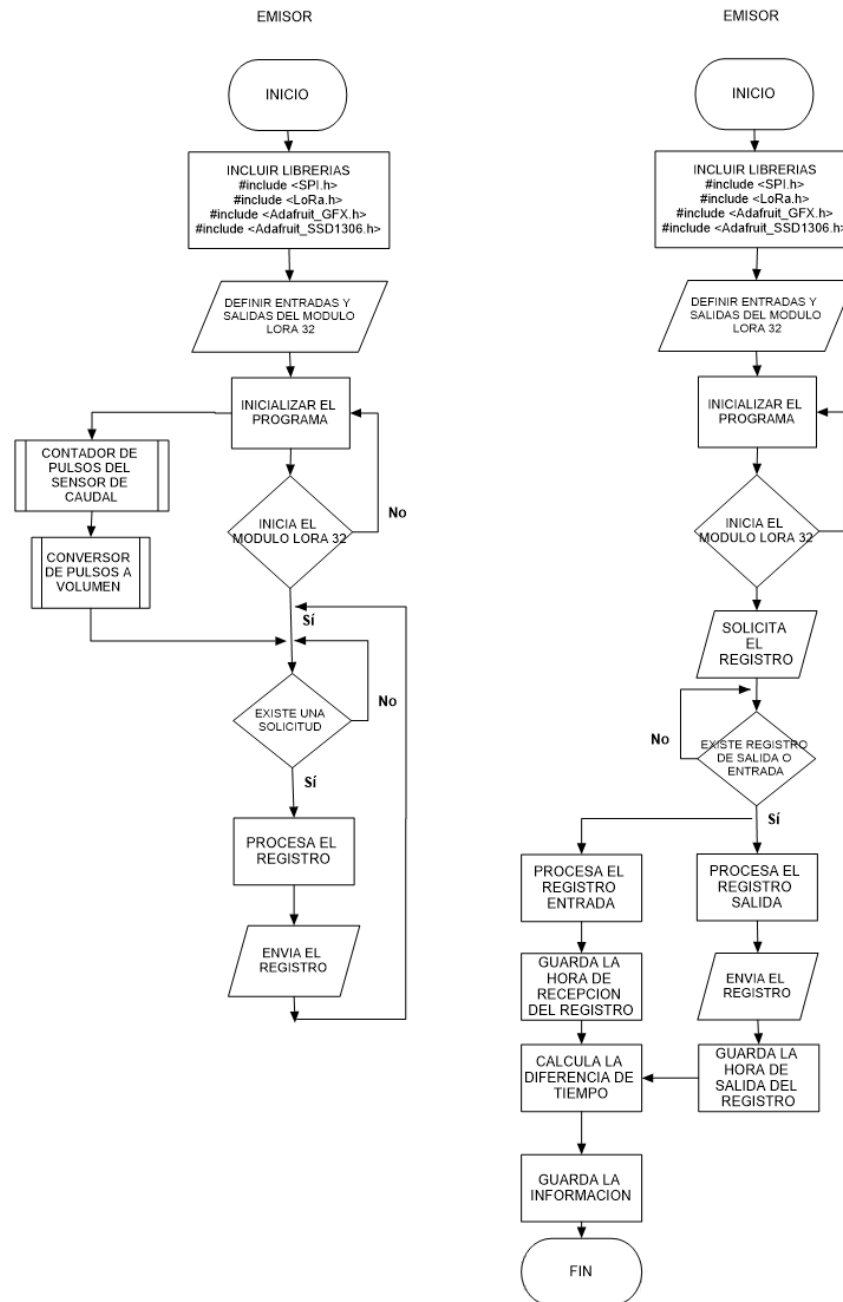


Figura 16. Diagrama de flujo del tiempo promedio de entrega de un registro

3.4.1.3. Determinar el consumo de energía en el envío de un registro

En el presente objetivo queremos conocer el consumo de energía que requiere durante todo el proceso desde el envío hasta su destino de un registro, también como son varios entonces determinaremos el promedio de estos.

Entonces se necesita conocer el consumo de corriente, la tensión que es proporcionada por la fuente de alimentación y el tiempo de duración en cada envío de registro que se ha calculado en el anterior objetivo.

Para lo cual se utiliza un sensor de corriente de 5 amperios, conectado a un módulo Arduino uno, el cual se comunica con el modulo lora 32 por el puerto serial.

Diagrama de bloques

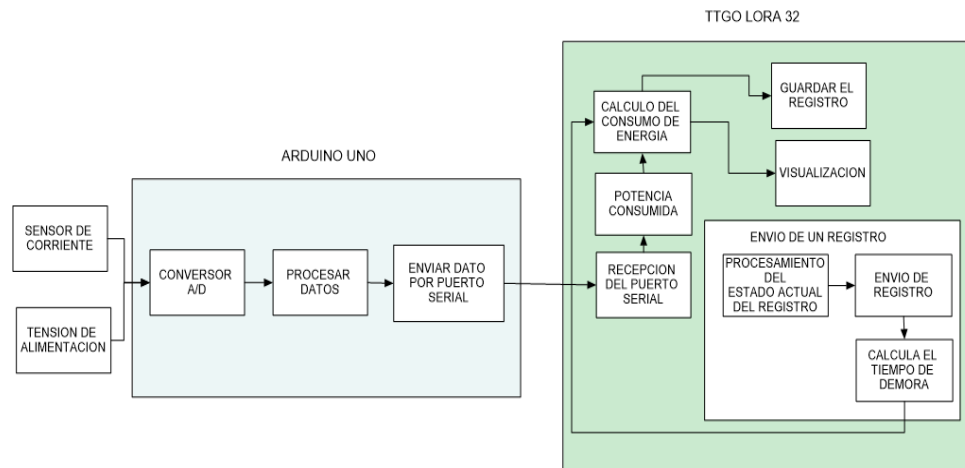


Figura 17. Diagrama de bloques el consumo de energía en el envío de un registro

El sensor de corriente y la fuente de alimentación envían información a las entradas analógicas del Arduino uno ver figura 17, es procesado por el convertidor A/D y se envía al módulo lora 32 por el puerto serial. En éste módulo se realiza el cálculo de consumo de energía y se guarda el registro.

Diagrama de flujo

En la figura 18, el módulo Arduino mide la corriente y la tensión, lo procesa y lo envía por el puerto serial, el módulo TTGO lora 32 verifica el puerto serial y si hay algún registro, lo procesa y realiza los cálculos de tiempo de entrega, potencia, energía y se guarda el registro. De todos ellos se muestra la tensión en el display que lleva incorporado.

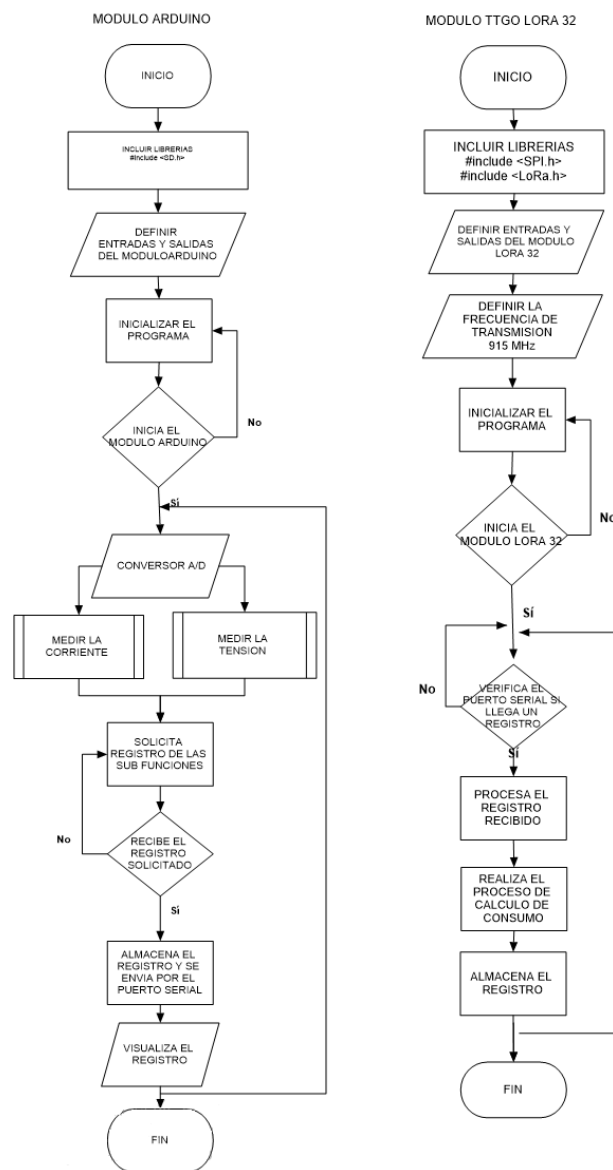


Figura 18. Diagrama de flujo el consumo de energía en el envío de un registro

3.4.1.4. Determinar el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal

En el presente objetivo queremos determinar el error entre las lecturas del sensor de caudal y un patrón de medida.

Entonces se necesita conocer entre que rangos de medición el sensor tiene mejores y peores respuestas.

Para lo cual se utiliza una jarra graduada con la cual se pueda verter en un depósito que realiza la función de contenedor de agua con 5, 20, 50, 75 y 100 litros. En cada uno de los rangos se realizan 20 mediciones para obtener el promedio de cada rango y de esta manera obtener el error.

Diagrama de bloques

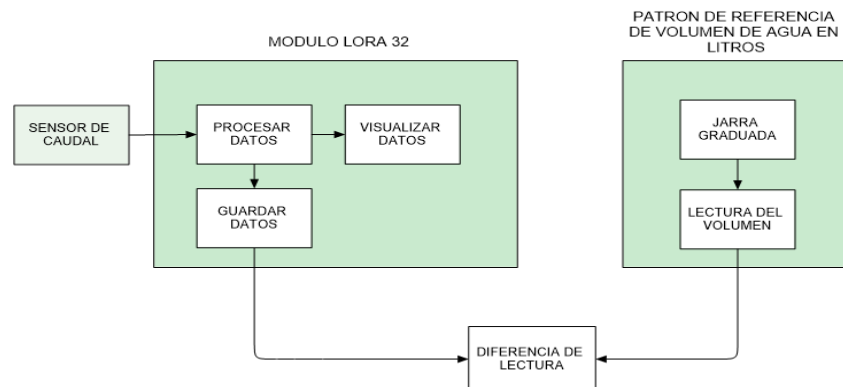


Figura 19. Diagrama de bloques del porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal

En la figura 19, supongamos que con una jarra graduada se vierten en un depósito con 50 litros, éste será nuestro patrón de referencia del volumen.

Luego el depósito se conecta donde se encuentra el sensor de caudal, éste emite pulsos digitales al paso de agua que son procesados por el módulo lora 32 luego se guarda y al mismo tiempo se visualiza en el display, este proceso se realiza 20 veces.

Entonces sobre una hoja Excel se obtiene el promedio y se compara con el volumen del patrón de referencia, la diferencia existente es el error de lectura para este rango.

Diagrama de flujo

En la figura 20, luego de haber definido las librerías y los pines entrada /salida, se inicializa el programa y cuando el módulo lora 32 se encuentre listo empieza a contar los pulsos en cada giro del sensor luego se realiza la conversión de caudal a volumen, se guarda y se visualiza en el display.

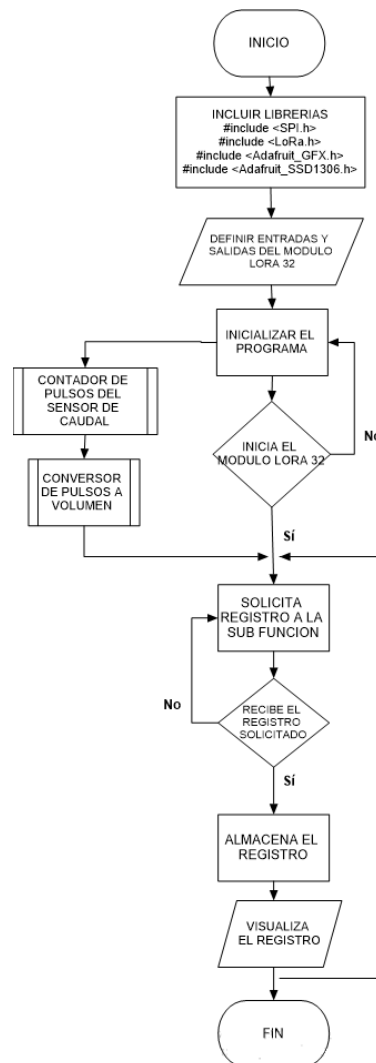


Figura 20. Diagrama de flujo del porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal

3.4.1.5. *Determinar la Red LPWAN*

En este objetivo que viene a ser el general, necesitamos determinar el funcionamiento de la Red LPWAN como resultado de cada uno de los objetivos anteriores.

Al realizar una evaluación preliminar encontramos cuales son los datos debemos mostrar en el display como parte del funcionamiento aplicativo y que otros datos serán procesados para el análisis y/o sustento del presente trabajo de investigación.

De lo mencionado anteriormente, los datos que se muestran en el display son:

- El número de registro, que identifica un registro en particular
- El volumen, cantidad acumulada desde la última vez que se guardó el último registro
- La tensión, para conocer si el envío del registro se realiza con la alimentación del transmisor necesaria.
- Consumo de energía, conocer indirectamente por cuanto tiempo va a enviar registros o se tiene que reemplazar las baterías.

Los demás datos derivados de un proceso para el análisis o sustento del estudio son presentados en una hoja de cálculo, estos son:

- Fecha, conocer los días de mayor o menor consumo
- La hora, para conocer en qué momento se guardó el registro
- Perdida de registro, conocer el porcentaje de registros que no se guardó.
- Consumo de agua, conocer la cantidad consumida de forma diaria.
- Tiempo de entrega, conocer cuánto se demora desde la última vez que se guardó un registro.

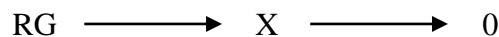
El software de comunicación de los módulos emisor y receptor se encuentran en el apéndice 2.

Por último se realiza el monitoreo gráfico de consumo de agua potable utilizando el software LabVIEW.

3.5. Diseño de investigación

Se utiliza el diseño pre experimental de una sola medición en la variable LPWAN para medir sus indicadores pérdida de registros, tiempo de entrega de un registro y el consumo de energía en el envío de un registro.

“El estudio de caso de una sola medición consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición” (Hernández et al, 2014) p.141



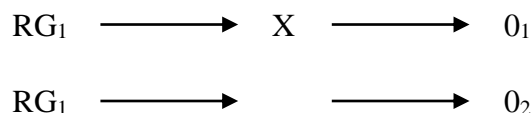
Donde:

- R Asignación al azar o aleatoria. Cuando aparece quiere decir que los sujetos han sido asignados a un grupo de manera aleatoria
- G Grupo de sujetos o casos
- X Tratamiento, estímulo o condición experimental
- O Una medición de los sujetos de un grupo

Y se utiliza el diseño experimental puro de una sola medición de la variable consumo de agua para medir el indicador volumen, las mediciones O_1 son obtenidos por la red LPWAN y el grupo de control son las mediciones O_2 obtenidos por el medidor de agua convencional.

“Diseño con pos prueba únicamente y grupo de control, este diseño incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control). Es decir, la manipulación de la variable independiente alcanza sólo dos niveles: presencia y ausencia. Los sujetos se asignan a los grupos de manera aleatoria. Cuando concluye la

manipulación, a ambos grupos se les administra una medición” (Hernández et al, 2014) p. 142. En este diseño, la única diferencia entre los grupos debe ser la presencia-ausencia de la variable independiente. Inicialmente son equivalentes y para asegurarse de que durante el experimento continúen siéndolo (salvo por la presencia o ausencia de dicha manipulación) el experimentador debe observar que no ocurra algo que sólo afecte a un grupo. La hora en que se efectúa el experimento debe ser la misma para ambos grupos.



Donde:

- R Asignación al azar o aleatoria. Cuando aparece quiere decir que los sujetos han sido asignados a un grupo de manera aleatoria
- G₁ Grupo de sujetos o casos
- X Tratamiento, estímulo o condición experimental
- O_{1,2} Mediciones de los sujetos de un grupo
- _ Ausencia de estímulo, Indica que se trata de un grupo de control o testigo.

3.6. Población, muestra, muestreo

3.6.1. Población

Se encuentra constituida por las conexiones de agua potable a los predios de los consumidores (Doméstico, comercial, estatal e industrial) que son los clientes de la municipalidad de Daniel Hernández que presta el servicio público de agua potable.

La población urbana es de 4784, y el total de población atendida con agua potable es de 4730 que representa el 98.86% (Dirección regional de vivienda construcción y saneamiento - Huancavelica, 2018) p. 31

“Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (Arias, 2012) p. 81

“Población o universo Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández et al, 2014) p.174

3.6.2. Muestra

La muestra abarca toda población que es de 4730 conexiones de agua potable a los predios o Inmuebles.

3.6.3. Muestreo

Se utiliza la técnica probabilística de muestreo por conglomerados, la unidad de análisis son las conexiones de agua a los predios donde se realiza la medida del consumo de agua potable, la unidad muestral son los sectores circulares alrededor del palacio municipal y dentro los sectores se utiliza la técnica del muestreo aleatorio simple.

Muestrear por racimos (conglomerados) implica diferenciar entre la unidad de análisis y la unidad muestral. La unidad de análisis indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición. La unidad muestral (en este tipo de muestra) se refiere al racimo por medio del cual se logra el acceso a la unidad de análisis. El muestreo por racimos supone una selección en dos o más etapas, todas con procedimientos probabilísticos (Hernández et al, 2014) p.183

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utiliza la técnica de la observación, quiere decir lo que se obtenga como medida de la red LPWAN para cada uno de los indicadores de las variables se registra en el instrumento de recolección de datos denominado ficha de observación. Ver apéndice 3.

3.8. Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos es de forma automática y se agrega en forma de registro en la ficha de observación que tiene el formato de hoja de cálculo en el software Excel.

3.9. Técnica de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información se realiza mediante el uso de la estadística descriptiva mostrando tablas de resumen y gráficos con el software Excel.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Porcentaje de pérdida de los registros enviados

Al realizar las pruebas de funcionamiento con el prototipo, se obtienen como resultado los diferentes valores mostrados en el apéndice 2.1. La tabla 5 muestra el resumen. Se realiza el envío de 100 registros para una determinada distancia que luego fue incrementándose cada 100 metros desde 0.1Km hasta los 1.1Km.

El promedio de la potencia de transmisión para cada una de las distancias varía desde los -110.98 dB hasta -122.71 dB.

Tabla 5
Resumen de pérdida de registros

Distancia (m)	RSSI (dB)	Registros enviados	Registros recibidos	Pérdida de registros (%)
100	-112.38	100	100	0
200	-110.98	100	100	0
300	-119.14	100	100	0
400	-121.18	100	92	8
500	-119.34	100	87	13
600	-122.54	100	73	27
700	-122.71	100	55	45
800	-121.13	100	46	54
900	-120.8	100	30	70
1000	-120.54	100	22	78
1100		100	0	100

La figura 21, muestra la tendencia del porcentaje de la pérdida de registros que comienza a partir de los 0.4 Km. incrementándose paulatinamente hasta 1 Km; Para la distancia 1.1 Km. ya no se obtiene la recepción de registros.

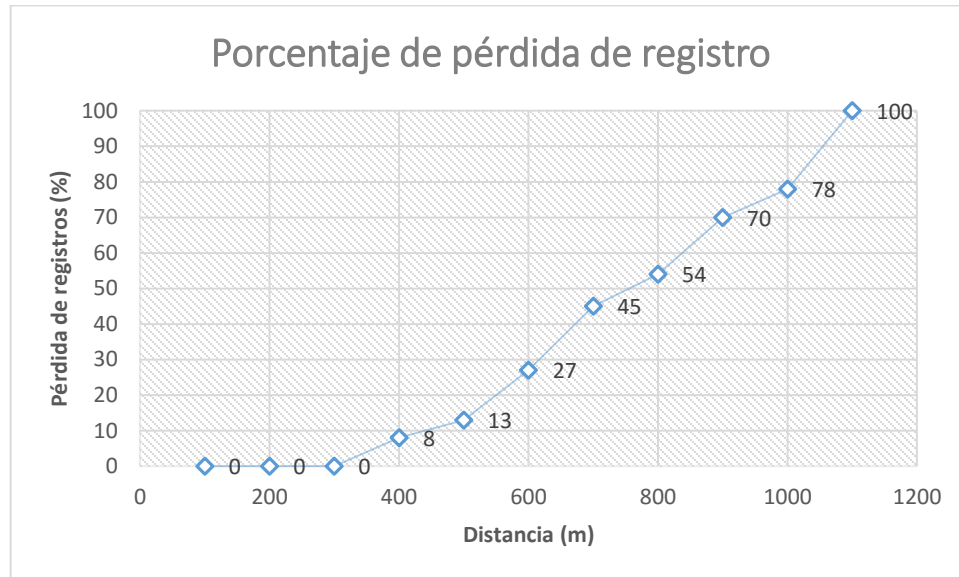


Figura 21. Tendencia de la pérdida de registros

En la figura 22, se muestra el resumen de los puntos geográficos donde se obtuvieron los diferentes resultados y los detalles se encuentran en el apéndice 2.1.

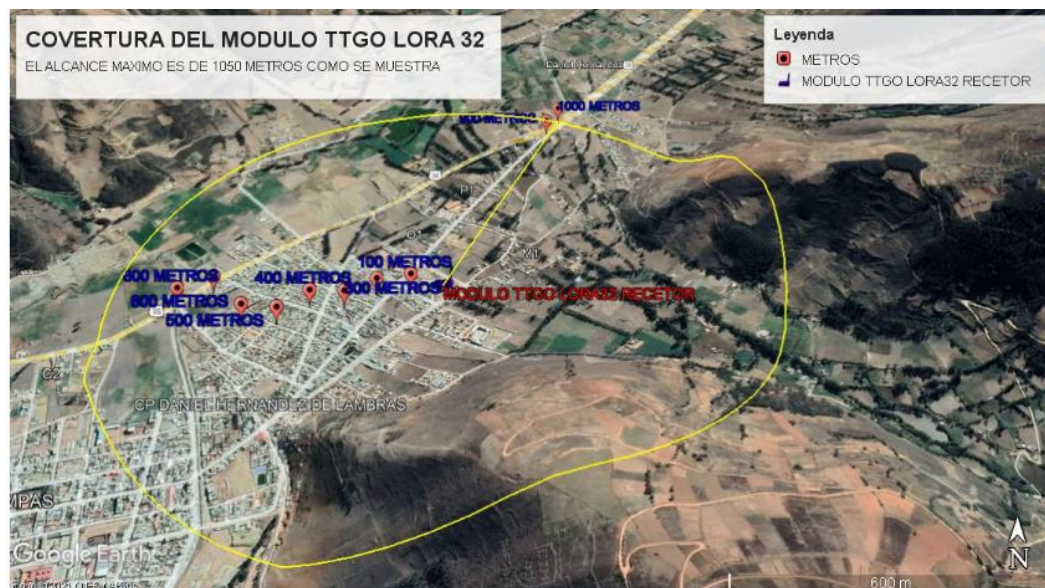


Figura 22. Ubicación de los puntos geográficos medidos

Tiempo de entrega de un registro

Las pruebas que se desarrollaron con el prototipo se muestran en el apéndice 2.2. , la tabla 6, muestra los primeros 10 registros del tiempo de entrega para cualquier registro.

Tabla 6
Tiempo de entrega de registros

N°	Tiempo de entrega de un registro (ms)
1	5569
2	5569
3	5569
4	5569
5	5569
6	5569
7	5569
8	5569
9	5569
10	5569

La figura 23, muestra que el tiempo de entrega de un registro como promedio es de 5569 milisegundos después de cada ocasión en que se hace el envío del respectivo registro.

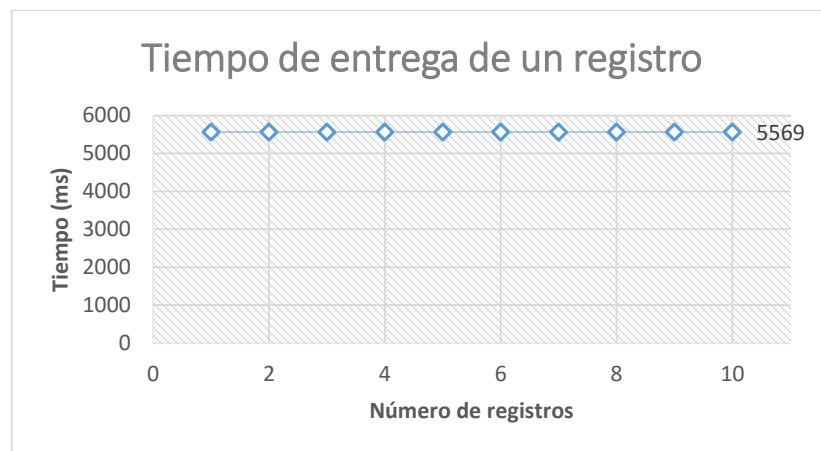


Figura 23. Promedio del tiempo de entrega de un registro

Consumo de energía en el envío de un registro

La tabla 7 muestra las medidas obtenidas con el prototipo, como la tensión de la fuente con que se alimenta, la corriente en condición de vacío (cuando espera el accionamiento del sensor), la corriente que necesita para enviar un registro, el tiempo de entrega del registro y el consumo de potencia en sus diferentes unidades.

Tabla 7

Lecturas realizadas con el prototipo

Tensión de alimentación (V)	Corriente en vacío (mA)	Corriente al enviar un registro (mA)	Tiempo de entrega de un registro (ms)	Potencia (mW)	Consumo (mWs)	Consumo (mWh)
3.75	52.26	62.84	5569.00	235.65	1312.33	0.36

Luego de conocer el consumo de energía por cada envío de registro, se realiza el cálculo para conocer el tiempo de autonomía que tiene el prototipo la tabla 8 en donde, la primera columna muestra la capacidad de la batería, la segunda columna muestra la corriente al enviar un registro, la tercera columna muestra la duración de la batería en horas enviando registros continuamente, la cuarta columna muestra el tiempo total en estado de transmisión continua por día (24 envíos de registros en un día) luego se multiplica el tiempo de entrega de un registro (5569 milisegundos) por el total de registros enviados en un día (24) luego se le divide entre 1000 para pasarlo a segundos que resulta (133.66), la quinta columna es la cantidad en horas de transmisión de registros por año, la sexta columna es la autonomía que se obtiene al dividir 47.74 horas entre 13.55 horas /año resultando 3.52 años.

Tabla 8

Calculo para autonomía del prototipo

Batería mAh	Corriente mA	Horas continuas	Tiempo activado por día (segundos)	Por año (horas)	Autonomía (años)
3000	62.84	47.74	133.66	13.55	3.52

Porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal

La tabla 9 es el resumen de las pruebas realizadas con el prototipo, muestra los resultados del error relativo del sensor de caudal para cada uno de los rangos (5, 20, 50, 75 y 100 litros). Los detalles se encuentran en el apéndice 2.4.

Tabla 9
Resumen del error relativo del sensor

Medida patrón (L)	Promedio del sensor (L)	Error absoluto (L)	Error relativo (%)
5	5.094	0.094	1.88
20	19.822	- 0.178	0.89
50	50.036	0.036	0.01
75	74.532	- 0.468	0.62
100	98.672	- 1.328	1.33

La figura 24 muestra la tendencia del error relativo del sensor de 5 hasta 100 litros, encontrándose el mayor error menores a 10 litros, además que el 1.88% en 5 litros representa un error de lectura de 94 mililitros y 1.33% de error del sensor en 100 litros representa un error de lectura de 1.33 litros.

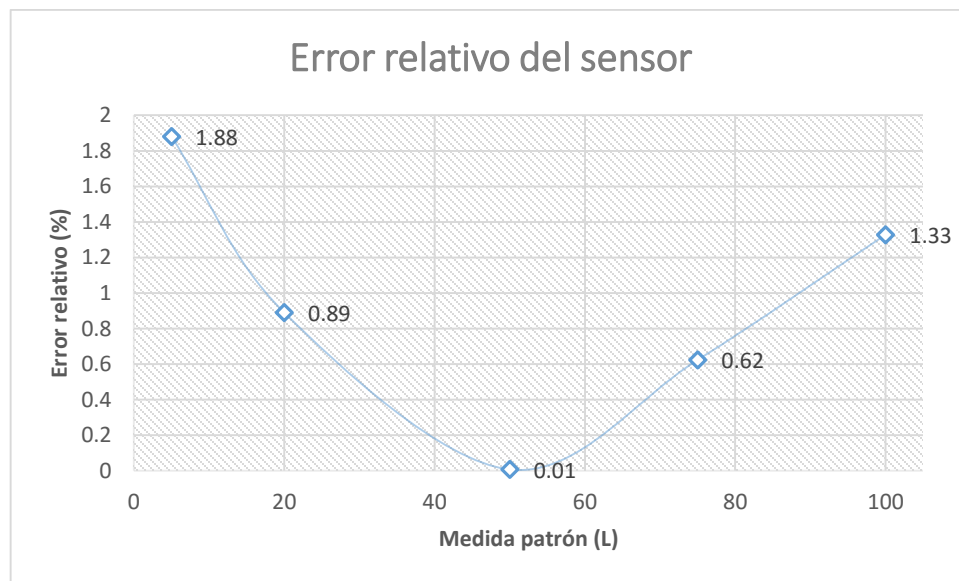


Figura 24. Tendencia del error relativo del sensor de caudal

La red LPWAN

Es una red punto a punto con monitoreo del consumo de agua potable de forma gráfica, cuando el prototipo se encuentra en funcionamiento la figura 25 muestra que en el display se encuentra el número de registro, el volumen, la tensión de alimentación y el consumo de energía.

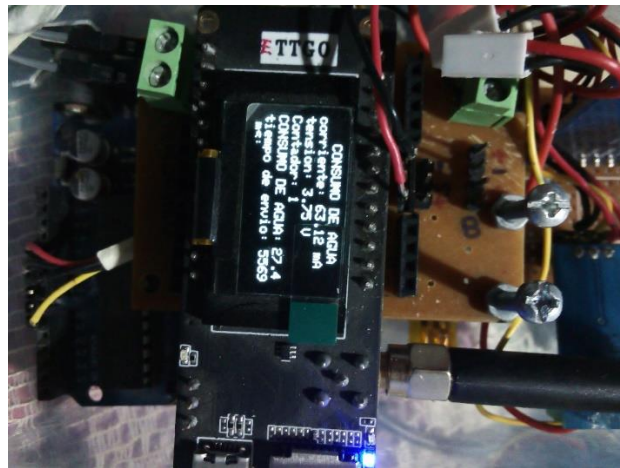


Figura 25. Prototipo en funcionamiento

El monitoreo del consumo de agua potable se realiza por medio del programa Labview, en el cual se aprecia el costo que se va generando figura 26.



Figura 26. Monitoreo del consumo de agua potable

4.2. Discusión de resultados

En el estudio de (De castro & Alves) se realiza el envío de datos basado en el tiempo (cada media hora ósea 48 datos al día) y el envío por eventos (son generalmente mayor a 48 datos), al implementar un procedimiento para mejorar la relación entre el rendimiento del enlace de comunicación y la calidad de la reconstrucción de la señal (curva de demanda de energía) determinan como promedio a 14 medidas por día. En caso nuestro el módulo receptor solicita el envío del registro basado en el tiempo realizando 24 envíos al día, por lo cual en el monitoreo se tiene una relación parecida entre el envío del registro y la calidad de la señal del volumen.

En el trabajo de (Tsyani et al) el objetivo fue encontrar la confiabilidad de LoRa como transmisor de datos buscando el error porcentual de envío de datos alcanzado fue de 0,013% y el error porcentual de lectura de voltaje analógico es 0,023%. En el caso nuestro también buscamos encontrar el porcentaje de pérdida de los registros enviados (54%) y el Porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal (menor al 2%) valores que parecieran nada favorables, pero en la aplicación se obtiene buenos resultados.

En el estudio de (Mdhaaffar et al) sus resultados indican que el área promedio cubierta es de alrededor de 33 km² (radio de 3.24 Km) cuando el LoRa Gateway se coloca al aire libre a una altitud de 12 metros. El kit consume 148,6 mA durante 0,5 segundos y 4,4 mA durante la parte restante del minuto antes de la transmisión del siguiente. En nuestro caso el radio es de 0.8 km para la cobertura de comunicación, pero con tiempos similares de envío de datos que es de 0.5569 segundos, consumo de corriente en el envío es de 62.84 mA menor por la capacidad de cobertura de comunicación y de 52.26 mA cuando está a la espera de solicitud de envío de datos que es mayor a los 4.4 mA debido a que en el transmisor nuestro alimentamos el sensor de caudal.

CONCLUSIONES

1. En las pruebas realizadas con el funcionamiento del prototipo como una red LPWAN punto a punto se arriba a las siguientes conclusiones que la cobertura de comunicación es muy buena hasta los 800 metros de distancia entre los módulos transmisor- receptor, el tiempo promedio de entrega de un registro es de 5.57 segundos, el consumo de energía en el envío de un registro es de 0.36 mWh (milivatos por hora) lo que representa que tiene alrededor de 3 años de autonomía de funcionamiento antes cambiar la batería del transmisor, las lecturas del volumen con el prototipo son menores al 2% lo que representa un error de 1.33 litros por cada 100 litros. Estas afirmaciones se sustentan de los datos y análisis de las conclusiones de los objetivos específicos descritas líneas debajo.
2. En el **Porcentaje de pérdida de los registros enviados**, los registros comienzan a perderse o no llegar a su destino cuando es mayor a los 300 metros de distancia entre el transmisor (diferentes distancias de transmisión) y el receptor (ubicado en la azotea de la municipalidad), el radio de cobertura del receptor donde se encuentra casi la totalidad de los usuarios del consumo de agua potable se encuentra dentro del rango de los 800 metros teniendo una pérdida del 54% de los registros enviados. Por lo tanto, se puede asegurar que uno de cada dos registros enviados se pierde y que además en el alcance máximo de cobertura de 1000 metros se pierde el 78% de los registros enviados lo que quiere decir se pierden 8 registros de 10 registros enviados.
3. El **Tiempo promedio de entrega de un registro** o el tiempo que demora desde la petición del registro del receptor al emisor, éste último lo procesa y lo envía para ser recibido, procesado y su correspondiente almacenamiento en el receptor tiene un promedio de tiempo de 5.57 segundos. No importando la distancia dentro de su alcance de operación.
4. El **Consumo de energía en el envío de un registro** es de 0.36 mWh lo que implica poder conocer la autonomía de operación del prototipo con una batería de 3.75V/ 3000mAh como fuente de alimentación del emisor resultando 3.52 años antes de cambiarlo por una nueva.

5. El **Porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal** o error relativo del sensor encontrados en los cinco valores medidos con una jarra graduada (5, 20, 50, 75 y 100 litros) y al ser comparada con las lecturas del prototipo son menores al 2% para cualquiera de los rangos establecidos y que alrededor de los 50 litros prácticamente no existe error alguno. Además, que el 1.88% en 5 litros representa un error de lectura de 94 mililitros y 1.33% de error del sensor en 100 litros representa un error de lectura de 1.33 litros.

RECOMENDACIONES

1. Para estudios posteriores realizar la comunicación con más módulos transmisores utilizando un Gateway LoRa como receptor para conocer en cuanto se incrementa o no, el tiempo de entrega de un registro y el porcentaje de pérdida de registros enviados.
2. Reducir el tiempo de envío de los registros a cada minuto, para que en el monitoreo se observe mejor cuando un transmisor presenta algún desperfecto de funcionamiento o posible fuga o mal uso del agua potable de sus consumidores. Lo que representa el uso de una plataforma privada o de renta en la nube digital que sería exclusiva para dicha actividad económica.
3. En cuanto a la limitación mayor para el desarrollo del presente y de futuros trabajo de investigación la legislación peruana no contempla o no es clara en el uso de las comunicaciones con redes LPWAN porque aún no está definida la asignación de frecuencia para éstas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AliExpress. (2020). Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/1005001264618407.html?spm=a2g0o.detail.1000014.35.2333387cVmSujr&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.13338.183347.0&scm_id=1007.13338.183347.0&scm-url=1007.13338.183347.0&pvid=e8796ce4-882a-4616-881f-364ffa790470&_
- ANA. (2020). *MINAGRI - Invoca a valorar los recursos hídricos y no malgastar agua en carnavales*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/noticia/minagri-invoca-valorar-los-recursos-hidricos-y-no-malgastar-agua-en-carnavales>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica* (Sexta ed.). Caracas, Venezuela: EPISTEME, C.A. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION
- Córdova, I. (2012). *El proyecto de investigación cuantitativa*. Lima: San Marcos.
- De Castro, N., & Alves. (Febrero de 2019). Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering. ", *IEEE transactions on industrial electronics*, 66(2).
- Dirección regional de vivienda construcción y saneamiento - Huancavelica. (2018). *Plan regional de saneamiento 2018 - 2021*. Obtenido de <http://direccionsaneamiento.vivienda.gob.pe/Planes%20Regionales%20de%20Saneamiento/PRS%20Huancavelica.pdf>
- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta ed.). México D.F., México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <http://www.elosopanda.com>
- Huaquisto, S., & Chambilla, I. G. (2019). Análisis del consumo del agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno. *Scielo*. doi:10.23881/idupbo.019.1-9i
- INEI. (2017). *Perú en cifras - Censos Nacionales: XII de población y VII de vivienda*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>
- Lozada, J. (2014). Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica. *CienciAmérica*, 3(1), 47-50. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- MDDH. (28 de Agosto de 2019). *Ordenanza Municipal N° 009-2019-MDDH/CM*. Obtenido de <https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fmunidanielhernandez.gob.pe%2Fver.php%2Farchivo%2Fmns6fd4575c2eefb0dd8b02a7a88713bece.pdf>

- MDDH. (2021). *Municipalidad Distrital Daniel Hernández*. Obtenido de https://munidanielhernandez.gob.pe/muni.php/paginas/id/2011050626_ubicacion_geografica/
- Mdhaffar et al. (2017). IoT-based Health Monitoring via LoRaWAN. *IEEE Eurocon 2017*. Ohrid, R. Macedonia.
- Mekkia et al. (2017). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* 5(1), 1-7.
- MINAGRI. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos hídricos Ley N° 29338*. Obtenido de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/leyes/reglamento-ley29338-recursoshidricos.pdf>
- Naylamp Mechatronics SAC. (2021). Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- ONU. (2018). *Portal de datos del ODS 6 de ONU-Agua*. Obtenido de https://www.sdg6data.org/#Search_country
- PANAMERICANA. (2018). *Agua potable es derrochada en riego de parques y jardines*. Obtenido de <https://panamericana.pe/buenosdiasperu/locales/238590-agua-potable-derrochada-riego-parques-jardines>
- Porras, W. A., & Salah, O. Y. (Diciembre de 2019). Implementación de una red LPWAN de sensores para el monitoreo de condiciones ambientales. *MET & FLU*(14), 48-67. Obtenido de https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu14/9_RedLPWAN.pdf
- Sanchez et al. (2018). Evaluación del desempeño de LoRa considerando las condiciones del escenario. *Sensors*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/3/772>
- SEDAPAL. (06 de Marzo de 2021). *Estructura tarifaria*. Obtenido de <https://www.sedapal.com.pe/storage/objects/40-amc-2021-03-06-agua-y-alcantarillado.pdf>
- Soler, J. L. (2020). *iagua- Magazine 34: Agua, usos y abusos*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-soler-martinez/agua-usos-y-abusos>
- Tsyani et al. (2018). Battery Monitoring System with LoRa Technology. *3rd International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*. Yogyakarta, Indonesia.

APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de consistencia

TITULO: Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	variables	Indicadores	Investigación
¿Cómo es la Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?	Determinar la Red LPWAN que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández	Red LPWAN	Pérdida de registros (%)	Tipo: Aplicada
			Entrega de registro (ms)	Nivel: Descriptivo
			Consumo de energía (mWh)	Método: De observación
PROBLEMA ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS			
¿Cuál es el porcentaje de pérdidas de los registros enviados que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?	Determinar el porcentaje de pérdidas del registro enviados que mide volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández	Consumo de agua potable	Volumen (m ³)	Diseño: Pre experimental de una sola medición
¿Cuál es el tiempo promedio de entrega de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?	Determinar el tiempo promedio de entrega de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández			Población: 4784 conexiones
¿Cuál es el consumo de energía en el envío de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?	Determinar el consumo de energía en el envío de un registro que mide el volumen de agua potable en el distrito de Daniel Hernández			Muestra: Toda la población
¿Cuál es el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández?	Determinar el porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal que mide el consumo de agua potable en el distrito de Daniel Hernández			Muestreo: Por conglomerados y aleatorio simple

Apéndice 2. Programa de comunicación

PROGRAMA DEL EMISOR TTGO LORA 32

```
//Libraries for LoRa
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//Libraries for OLED Display
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

//define los pines de comunicacion del modulo lora
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 23
#define DIO0 26

//433E6 for Asia
//866E6 for Europe
//915E6 for North America
//define la frecuencia
#define BAND 915E6

//define los pines del OLED
#define OLED_SDA 21
#define OLED_SCL 22
#define OLED_RST 16
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

int counter = 0;
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RST);

//declaramos el sensor de caudal YF-S201
const int sensorPin = 14;
const int measureInterval = 2500;
volatile int pulseConter;
const float factorK = 7.5;
float volume = 0;
long t0 = 0;

//sub funcion del sensor de caudal YF-S201
void ISRCountPulse()
{
    pulseConter++;
}
float GetFrequency()
{

```



```

    pulseConter = 0;
    interrupts();
    delay(measureInterval);
    noInterrupts();
    return (float)pulseConter * 1000 / measureInterval;
}
void SumVolume(float dV)
{
    volume += dV / 60 * (millis() - t0) / 1000.0;
    t0 = millis();
}

void setup() {
    // iniciamos el sensor de caudal
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), ISRCountPulse,
    RISING);
    t0 = millis();

    //resetea el OLED display via software
    pinMode(OLED_RST, OUTPUT);
    digitalWrite(OLED_RST, LOW);
    delay(20);
    digitalWrite(OLED_RST, HIGH);

    //inicia OLED
    Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { //
Address 0x3C for 128x32
        Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
        for(;;); // Don't proceed, loop forever
    }

    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0,0);
    display.print("LORA REINTENTANDO");
    display.display();

    //initialize Serial Monitor
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Prueba de envio LoRa");

    //SPI LoRa pins
    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
    //setup LoRa transceiver module
    LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println(";Error al iniciar LoRa!");
        while (1);
    }
    Serial.println("LoRa Inicializacion OK!");
}

```

```

    display.setCursor(0,10);
    display.print("Inicializacion OK!");
    display.display();
    delay(2000);
}

void loop() {
    // obtener frecuencia en Hz
    float frequency = GetFrequency();
    // calcular caudal L/min
    float flow_Lmin = frequency / factorK;
    SumVolume(flow_Lmin);

    // MODULO LORA
    Serial.print("Enviando paquete: ");
    Serial.println(counter);
    //SENSOR DE CAUDAL
    Serial.print(" Caudal: ");
    Serial.print(flow_Lmin, 3);
    Serial.print(" (L/min)\tConsumo:");
    Serial.print(volume, 1);
    Serial.println(" (L)");
    //Send LoRa packet to receiver .....datos a enviar por el emisor
    lora
    LoRa.beginPacket();
    //LoRa.print("DEC ");
    LoRa.print(counter); // dato contador
    LoRa.print("/");
    LoRa.print(flow_Lmin,2); // dato caudal
    LoRa.print("/");
    LoRa.println(volume,1); //dato consumo de agua
    LoRa.endPacket();

    display.clearDisplay();
    display.setCursor(0,0);
    display.println("CONSUMO DE AGUA");
    display.setCursor(0,20);
    display.setTextSize(1);
    display.print("Paquete LoRa enviado.");
    // CONTADOR
    display.setCursor(0,30);
    display.print("Contador: ");
    display.setCursor(60,30);
    display.print(counter);
    //CONSUMO DE AGUA
    display.setCursor(0,40);
    display.print("CONSUMO DE AGUA: ");
    display.setCursor(100,40);
    display.print(volume, 1);
    //CAUDAL DE AGUA
    display.setCursor(0,50);
    display.print("CAUDAL DE AGUA: ");
    display.setCursor(90,50);

```

```

    display.print(flow_Lmin, 2);
    display.display();

    counter++;

    delay(20000);
}

```

PROGRAMA DEL RECEPTOR TTGO LORA 32

```

//Libraries for LoRa
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Separador.h>

//libreria de ThingSpeak
#include "ThingSpeak.h"
#include "WiFi.h"
const char* ssid="cc9def";
const char* password="260633120";
unsigned long channelID=1489827;
const char* WriteAPIKey="KC648N7E6EPT6CR8";
const char* ReadAPIKey="3475XFCNJNRBF20A";
WiFiClient cliente;

//Libraries para OLED Display
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

//define los pines de comunicacion del modulo lora
#define SCK 5
#define MISO 19
#define MOSI 27
#define SS 18
#define RST 23
#define DIO0 26

//433E6 for Asia
//866E6 for Europe
//915E6 for North America
#define BAND 915E6

//define los pines del OLED
#define OLED_SDA 21
#define OLED_SCL 22
#define OLED_RST 16
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RST);

```

```

String LoRaData;
Separador s;
String elemento1;
String elemento2;
String elemento3;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  //inicializa la conexion a wifi
  WiFi.begin(ssid,password);
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.print("wifi conectado");
  ThingSpeak.begin(cliente);

  //resetea el OLED display via software
  pinMode(OLED_RST, OUTPUT);
  digitalWrite(OLED_RST, LOW);
  delay(20);
  digitalWrite(OLED_RST, HIGH);

  //initialize OLED
  Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { //
Address 0x3C for 128x32
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for(;;); // Don't proceed, loop forever
  }

  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setTextSize(1);
  display.setCursor(0,0);
  display.print("LORA RECEIVER ");
  display.display();

  //initialize Serial Monitor
  //Serial.begin(115200);

  Serial.println("LoRa Receiver Test");

  //SPI LoRa pins
  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);
  //setup LoRa transceiver module
  LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

  if (!LoRa.begin(BAND)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

```

```

}
Serial.println("LoRa Initializing OK!");
display.setCursor(0,10);
display.println("LoRa Inicializacion OK!");
display.display();
}

void loop() {

//verifica si llega un paquete
int packetSize = LoRa.parsePacket();
if (packetSize) {
    //received a packet
    Serial.print("Received packet ");

    //read el paquete
    while (LoRa.available()) {
        LoRaData = LoRa.readString();
        Serial.print(LoRaData);
        elemento1=s.separa(LoRaData, '/',0);
        elemento2=s.separa(LoRaData, '/',1);
        elemento3=s.separa(LoRaData, '/',2);
    }

    //print RSSI of packet
    int rssi = LoRa.packetRssi();
    Serial.print(" with RSSI ");
    Serial.println(rssi);
    Serial.print(elemento1);
    Serial.print(elemento2);
    Serial.println(elemento3);
    // Display information
    display.clearDisplay();
    display.setCursor(20,0);
    display.print("CONSUMO DE AGUA");
    display.setCursor(0,10);
    display.print("daniel herdandez");

    display.setCursor(0,20);
    display.print("contador: ");
    display.setCursor(50,20);
    display.print(elemento1);

    display.setCursor(0,30);
    display.print("caudal: ");
    display.setCursor(50,30);
    display.print(elemento2);

    display.setCursor(0,40);
    display.print("volumen: ");
    display.setCursor(50,40);
    display.print(elemento3);
}

```

```
display.setCursor(0,50);
display.print("RSSI:");
display.setCursor(30,50);
display.print(rssi);
display.display();

//envio de datos al ThingSpeak
ThingSpeak.setField(1,elemento1);
ThingSpeak.setField(2,elemento2);
ThingSpeak.setField(3,elemento3);
ThingSpeak.writeFields(channelID,WriteAPIKey);
Serial.println("dato enviado");
//delay(20000);
}
}
```

Apéndice 3. Ficha de observación

Registro N°	Fecha	Hora	Volumen (L)	Tensión de alimentación (V)	Corriente de envío del registro (mA)
1	01/10/2021	12:00:00 a.m.	0	3.75	53.00
2	01/10/2021	01:00:00 a.m.	0	3.75	62.40
3	01/10/2021	02:00:00 a.m.	0	3.75	54.60
4	01/10/2021	03:00:00 a.m.	0	3.75	77.60
5	01/10/2021	04:00:00 a.m.	0	3.75	54.80
6	01/10/2021	05:00:00 a.m.	25	3.75	69.00
7	01/10/2021	06:00:00 a.m.	30	3.75	57.70
8	01/10/2021	07:00:00 a.m.	60	3.75	53.10
9	01/10/2021	08:00:00 a.m.	73	3.75	65.00
10	01/10/2021	09:00:00 a.m.	82	3.75	53.70
11	01/10/2021	10:00:00 a.m.	82	3.75	78.70
12	01/10/2021	11:00:00 a.m.	82	3.75	55.10
13	01/10/2021	12:00:00 p.m.	82	3.75	67.00
14	01/10/2021	01:00:00 p.m.	82	3.75	58.50
15	01/10/2021	02:00:00 p.m.	82	3.75	53.20
16	01/10/2021	03:00:00 p.m.	82	3.75	66.60
17	01/10/2021	04:00:00 p.m.	116	3.75	53.90
18	01/10/2021	05:00:00 p.m.	116	3.75	78.10
19	01/10/2021	06:00:00 p.m.	125	3.75	64.00
20	01/10/2021	07:00:00 p.m.	125	3.75	59.20

*

Apéndice 4. Resultados por objetivo específicos

4.1. Porcentaje de pérdida de los registros enviados

Distancia a 100 m					Distancia a 200 m					Distancia a 300 m					Distancia a 400 m					Distancia a 500 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
1	-114	SI	SI	LLEGÓ	1	-113	SI	SI	LLEGÓ	1	-116	SI	SI	LLEGÓ	1	-121	SI	SI	LLEGÓ	1	-122	SI	SI	LLEGÓ
2	-122	SI	SI	LLEGÓ	2	-109	SI	SI	LLEGÓ	2	-120	SI	SI	LLEGÓ	2	-122	SI	SI	LLEGÓ	2	-115	SI	SI	LLEGÓ
3	-114	SI	SI	LLEGÓ	3	-106	SI	SI	LLEGÓ	3	-112	SI	SI	LLEGÓ	3	-119	SI	SI	LLEGÓ	3		NO	NO	FALTA
4	-114	SI	SI	LLEGÓ	4	-112	SI	SI	LLEGÓ	4	-114	SI	SI	LLEGÓ	4	-119	SI	SI	LLEGÓ	4	-122	SI	SI	LLEGÓ
5	-112	SI	SI	LLEGÓ	5	-113	SI	SI	LLEGÓ	5	-122	SI	SI	LLEGÓ	5	-122	SI	SI	LLEGÓ	5	-123	SI	SI	LLEGÓ
6	-113	SI	SI	LLEGÓ	6	-111	SI	SI	LLEGÓ	6	-120	SI	SI	LLEGÓ	6	-122	SI	SI	LLEGÓ	6	-124	SI	SI	LLEGÓ
7	-113	SI	SI	LLEGÓ	7	-108	SI	SI	LLEGÓ	7	-118	SI	SI	LLEGÓ	7	-120	SI	SI	LLEGÓ	7	-120	SI	SI	LLEGÓ
8	-118	SI	SI	LLEGÓ	8	-114	SI	SI	LLEGÓ	8	-120	SI	SI	LLEGÓ	8	-122	SI	SI	LLEGÓ	8	-117	SI	SI	LLEGÓ
9	-118	SI	SI	LLEGÓ	9	-111	SI	SI	LLEGÓ	9	-123	SI	SI	LLEGÓ	9	-119	SI	SI	LLEGÓ	9	-118	SI	SI	LLEGÓ
10	-118	SI	SI	LLEGÓ	10	-112	SI	SI	LLEGÓ	10	-114	SI	SI	LLEGÓ	10	-124	SI	SI	LLEGÓ	10	-116	SI	SI	LLEGÓ
11	-113	SI	SI	LLEGÓ	11	-109	SI	SI	LLEGÓ	11	-122	SI	SI	LLEGÓ	11		NO	NO	FALTA	11	-123	SI	SI	LLEGÓ
12	-112	SI	SI	LLEGÓ	12	-112	SI	SI	LLEGÓ	12	-114	SI	SI	LLEGÓ	12	-119	SI	SI	LLEGÓ	12	-120	SI	SI	LLEGÓ
13	-114	SI	SI	LLEGÓ	13	-111	SI	SI	LLEGÓ	13	-122	SI	SI	LLEGÓ	13	-123	SI	SI	LLEGÓ	13	-118	SI	SI	LLEGÓ
14	-114	SI	SI	LLEGÓ	14	-112	SI	SI	LLEGÓ	14	-121	SI	SI	LLEGÓ	14	-122	SI	SI	LLEGÓ	14	-124	SI	SI	LLEGÓ
15	-123	SI	SI	LLEGÓ	15	-111	SI	SI	LLEGÓ	15	-119	SI	SI	LLEGÓ	15	-123	SI	SI	LLEGÓ	15	-120	SI	SI	LLEGÓ
16	-114	SI	SI	LLEGÓ	16	-112	SI	SI	LLEGÓ	16	-124	SI	SI	LLEGÓ	16	-122	SI	SI	LLEGÓ	16	-121	SI	SI	LLEGÓ
17	-114	SI	SI	LLEGÓ	17	-110	SI	SI	LLEGÓ	17	-121	SI	SI	LLEGÓ	17	-120	SI	SI	LLEGÓ	17	-120	SI	SI	LLEGÓ
18	-109	SI	SI	LLEGÓ	18	-113	SI	SI	LLEGÓ	18	-122	SI	SI	LLEGÓ	18	-123	SI	SI	LLEGÓ	18	-120	SI	SI	LLEGÓ
19	-114	SI	SI	LLEGÓ	19	-109	SI	SI	LLEGÓ	19	-118	SI	SI	LLEGÓ	19	-123	SI	SI	LLEGÓ	19	-117	SI	SI	LLEGÓ
20	-113	SI	SI	LLEGÓ	20	-106	SI	SI	LLEGÓ	20	-121	SI	SI	LLEGÓ	20	-123	SI	SI	LLEGÓ	20	-122	SI	SI	LLEGÓ
21	-109	SI	SI	LLEGÓ	21	-112	SI	SI	LLEGÓ	21	-115	SI	SI	LLEGÓ	21	-120	SI	SI	LLEGÓ	21	-120	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 100 m					Distancia a 200 m					Distancia a 300 m					Distancia a 400 m					Distancia a 500 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
22	-129	SI	SI	LLEGÓ	22	-113	SI	SI	LLEGÓ	22	-121	SI	SI	LLEGÓ	22	-122	SI	SI	LLEGÓ	22	-119	SI	SI	LLEGÓ
23	-111	SI	SI	LLEGÓ	23	-111	SI	SI	LLEGÓ	23	-120	SI	SI	LLEGÓ	23	-124	SI	SI	LLEGÓ	23	-120	SI	SI	LLEGÓ
24	-113	SI	SI	LLEGÓ	24	-108	SI	SI	LLEGÓ	24	-121	SI	SI	LLEGÓ	24	-121	SI	SI	LLEGÓ	24	-119	SI	SI	LLEGÓ
25	-119	SI	SI	LLEGÓ	25	-114	SI	SI	LLEGÓ	25	-121	SI	SI	LLEGÓ	25	-123	SI	SI	LLEGÓ	25	-123	SI	SI	LLEGÓ
26	-122	SI	SI	LLEGÓ	26	-111	SI	SI	LLEGÓ	26	-119	SI	SI	LLEGÓ	26		NO	NO	FALTA	26	-116	SI	SI	LLEGÓ
27	-114	SI	SI	LLEGÓ	27	-112	SI	SI	LLEGÓ	27	-118	SI	SI	LLEGÓ	27	-122	SI	SI	LLEGÓ	27	-117	SI	SI	LLEGÓ
28	-120	SI	SI	LLEGÓ	28	-109	SI	SI	LLEGÓ	28	-115	SI	SI	LLEGÓ	28	-124	SI	SI	LLEGÓ	28	-119	SI	SI	LLEGÓ
29	-117	SI	SI	LLEGÓ	29	-112	SI	SI	LLEGÓ	29	-120	SI	SI	LLEGÓ	29	-123	SI	SI	LLEGÓ	29	-121	SI	SI	LLEGÓ
30	-112	SI	SI	LLEGÓ	30	-111	SI	SI	LLEGÓ	30	-121	SI	SI	LLEGÓ	30	-120	SI	SI	LLEGÓ	30	-118	SI	SI	LLEGÓ
31	-112	SI	SI	LLEGÓ	31	-112	SI	SI	LLEGÓ	31	-119	SI	SI	LLEGÓ	31	-111	SI	SI	LLEGÓ	31	-120	SI	SI	LLEGÓ
32	-116	SI	SI	LLEGÓ	32	-116	SI	SI	LLEGÓ	32	-118	SI	SI	LLEGÓ	32	-114	SI	SI	LLEGÓ	32	-121	SI	SI	LLEGÓ
33	-111	SI	SI	LLEGÓ	33	-111	SI	SI	LLEGÓ	33	-119	SI	SI	LLEGÓ	33	-119	SI	SI	LLEGÓ	33	-119	SI	SI	LLEGÓ
34	-111	SI	SI	LLEGÓ	34	-111	SI	SI	LLEGÓ	34	-122	SI	SI	LLEGÓ	34	-119	SI	SI	LLEGÓ	34	-121	SI	SI	LLEGÓ
35	-109	SI	SI	LLEGÓ	35	-109	SI	SI	LLEGÓ	35	-117	SI	SI	LLEGÓ	35	-121	SI	SI	LLEGÓ	35	-118	SI	SI	LLEGÓ
36	-108	SI	SI	LLEGÓ	36	-108	SI	SI	LLEGÓ	36	-120	SI	SI	LLEGÓ	36	-121	SI	SI	LLEGÓ	36	-120	SI	SI	LLEGÓ
37	-120	SI	SI	LLEGÓ	37	-113	SI	SI	LLEGÓ	37	-120	SI	SI	LLEGÓ	37	-122	SI	SI	LLEGÓ	37	-121	SI	SI	LLEGÓ
38	-108	SI	SI	LLEGÓ	38	-109	SI	SI	LLEGÓ	38	-121	SI	SI	LLEGÓ	38		NO	NO	FALTA	38		NO	NO	FALTA
39	-112	SI	SI	LLEGÓ	39	-106	SI	SI	LLEGÓ	39	-118	SI	SI	LLEGÓ	39	-121	SI	SI	LLEGÓ	39	-120	SI	SI	LLEGÓ
40	-120	SI	SI	LLEGÓ	40	-112	SI	SI	LLEGÓ	40	-120	SI	SI	LLEGÓ	40	-122	SI	SI	LLEGÓ	40	-120	SI	SI	LLEGÓ
41	-109	SI	SI	LLEGÓ	41	-113	SI	SI	LLEGÓ	41	-114	SI	SI	LLEGÓ	41		NO	NO	FALTA	41	-119	SI	SI	LLEGÓ
42	-113	SI	SI	LLEGÓ	42	-111	SI	SI	LLEGÓ	42	-120	SI	SI	LLEGÓ	42	-121	SI	SI	LLEGÓ	42	-123	SI	SI	LLEGÓ
43	-11	SI	SI	LLEGÓ	43	-108	SI	SI	LLEGÓ	43	-121	SI	SI	LLEGÓ	43	-121	SI	SI	LLEGÓ	43	-116	SI	SI	LLEGÓ
44	-120	SI	SI	LLEGÓ	44	-114	SI	SI	LLEGÓ	44	-114	SI	SI	LLEGÓ	44	-119	SI	SI	LLEGÓ	44	-117	SI	SI	LLEGÓ
45	-114	SI	SI	LLEGÓ	45	-111	SI	SI	LLEGÓ	45	-118	SI	SI	LLEGÓ	45	-123	SI	SI	LLEGÓ	45	-119	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 100 m					Distancia a 200 m					Distancia a 300 m					Distancia a 400 m					Distancia a 500 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
46	-107	SI	SI	LLEGÓ	46	-112	SI	SI	LLEGÓ	46	-121	SI	SI	LLEGÓ	46	-122	SI	SI	LLEGÓ	46	-121	SI	SI	LLEGÓ
47	-113	SI	SI	LLEGÓ	47	-109	SI	SI	LLEGÓ	47	-122	SI	SI	LLEGÓ	47	-123	SI	SI	LLEGÓ	47	-118	SI	SI	LLEGÓ
48	-120	SI	SI	LLEGÓ	48	-112	SI	SI	LLEGÓ	48	-117	SI	SI	LLEGÓ	48	-123	SI	SI	LLEGÓ	48	-120	SI	SI	LLEGÓ
49	-109	SI	SI	LLEGÓ	49	-114	SI	SI	LLEGÓ	49	-122	SI	SI	LLEGÓ	49	-123	SI	SI	LLEGÓ	49	-116	SI	SI	LLEGÓ
50	-114	SI	SI	LLEGÓ	50	-111	SI	SI	LLEGÓ	50	-120	SI	SI	LLEGÓ	50	-122	SI	SI	LLEGÓ	50		NO	NO	FALTA
51	-114	SI	SI	LLEGÓ	51	-113	SI	SI	LLEGÓ	51	-116	SI	SI	LLEGÓ	51	-121	SI	SI	LLEGÓ	51	-116	SI	SI	LLEGÓ
52	-122	SI	SI	LLEGÓ	52	-109	SI	SI	LLEGÓ	52	-120	SI	SI	LLEGÓ	52	-122	SI	SI	LLEGÓ	52	-113	SI	SI	LLEGÓ
53	-114	SI	SI	LLEGÓ	53	-106	SI	SI	LLEGÓ	53	-112	SI	SI	LLEGÓ	53	-119	SI	SI	LLEGÓ	53	-113	SI	SI	LLEGÓ
54	-114	SI	SI	LLEGÓ	54	-112	SI	SI	LLEGÓ	54	-114	SI	SI	LLEGÓ	54	-119	SI	SI	LLEGÓ	54	-124	SI	SI	LLEGÓ
55	-112	SI	SI	LLEGÓ	55	-113	SI	SI	LLEGÓ	55	-122	SI	SI	LLEGÓ	55	-122	SI	SI	LLEGÓ	55		NO	NO	FALTA
56	-113	SI	SI	LLEGÓ	56	-111	SI	SI	LLEGÓ	56	-120	SI	SI	LLEGÓ	56	-122	SI	SI	LLEGÓ	56		NO	NO	FALTA
57	-113	SI	SI	LLEGÓ	57	-108	SI	SI	LLEGÓ	57	-118	SI	SI	LLEGÓ	57	-120	SI	SI	LLEGÓ	57	-122	SI	SI	LLEGÓ
58	-118	SI	SI	LLEGÓ	58	-114	SI	SI	LLEGÓ	58	-120	SI	SI	LLEGÓ	58	-122	SI	SI	LLEGÓ	58	-119	SI	SI	LLEGÓ
59	-118	SI	SI	LLEGÓ	59	-111	SI	SI	LLEGÓ	59	-123	SI	SI	LLEGÓ	59	-119	SI	SI	LLEGÓ	59	-120	SI	SI	LLEGÓ
60	-118	SI	SI	LLEGÓ	60	-112	SI	SI	LLEGÓ	60	-114	SI	SI	LLEGÓ	60	-124	SI	SI	LLEGÓ	60	-120	SI	SI	LLEGÓ
61	-113	SI	SI	LLEGÓ	61	-109	SI	SI	LLEGÓ	61	-122	SI	SI	LLEGÓ	61	-124	SI	SI	LLEGÓ	61		NO	NO	FALTA
62	-112	SI	SI	LLEGÓ	62	-112	SI	SI	LLEGÓ	62	-114	SI	SI	LLEGÓ	62	-119	SI	SI	LLEGÓ	62		NO	NO	FALTA
63	-114	SI	SI	LLEGÓ	63	-111	SI	SI	LLEGÓ	63	-122	SI	SI	LLEGÓ	63	-123	SI	SI	LLEGÓ	63	-116	SI	SI	LLEGÓ
64	-114	SI	SI	LLEGÓ	64	-112	SI	SI	LLEGÓ	64	-121	SI	SI	LLEGÓ	64	-122	SI	SI	LLEGÓ	64		NO	NO	FALTA
65	-123	SI	SI	LLEGÓ	65	-111	SI	SI	LLEGÓ	65	-119	SI	SI	LLEGÓ	65	-123	SI	SI	LLEGÓ	65	-115	SI	SI	LLEGÓ
66	-114	SI	SI	LLEGÓ	66	-112	SI	SI	LLEGÓ	66	-124	SI	SI	LLEGÓ	66	-122	SI	SI	LLEGÓ	66	-116	SI	SI	LLEGÓ
67	-114	SI	SI	LLEGÓ	67	-110	SI	SI	LLEGÓ	67	-121	SI	SI	LLEGÓ	67	-120	SI	SI	LLEGÓ	67	-123	SI	SI	LLEGÓ
68	-109	SI	SI	LLEGÓ	68	-113	SI	SI	LLEGÓ	68	-122	SI	SI	LLEGÓ	68	-123	SI	SI	LLEGÓ	68		NO	NO	FALTA
69	-114	SI	SI	LLEGÓ	69	-109	SI	SI	LLEGÓ	69	-118	SI	SI	LLEGÓ	69	-123	SI	SI	LLEGÓ	69	-119	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 100 m					Distancia a 200 m					Distancia a 300 m					Distancia a 400 m					Distancia a 500 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
70	-113	SI	SI	LLEGÓ	70	-106	SI	SI	LLEGÓ	70	-121	SI	SI	LLEGÓ	70	-123	SI	SI	LLEGÓ	70	-118	SI	SI	LLEGÓ
71	-109	SI	SI	LLEGÓ	71	-112	SI	SI	LLEGÓ	71	-115	SI	SI	LLEGÓ	71	-120	SI	SI	LLEGÓ	71	-123	SI	SI	LLEGÓ
72	-129	SI	SI	LLEGÓ	72	-113	SI	SI	LLEGÓ	72	-121	SI	SI	LLEGÓ	72	-122	SI	SI	LLEGÓ	72	-123	SI	SI	LLEGÓ
73	-111	SI	SI	LLEGÓ	73	-111	SI	SI	LLEGÓ	73	-120	SI	SI	LLEGÓ	73	-124	SI	SI	LLEGÓ	73	-121	SI	SI	LLEGÓ
74	-113	SI	SI	LLEGÓ	74	-108	SI	SI	LLEGÓ	74	-121	SI	SI	LLEGÓ	74	-121	SI	SI	LLEGÓ	74	-112	SI	SI	LLEGÓ
75	-119	SI	SI	LLEGÓ	75	-114	SI	SI	LLEGÓ	75	-121	SI	SI	LLEGÓ	75	-123	SI	SI	LLEGÓ	75	-117	SI	SI	LLEGÓ
76	-122	SI	SI	LLEGÓ	76	-111	SI	SI	LLEGÓ	76	-119	SI	SI	LLEGÓ	76		NO	NO	FALTA	76	-122	SI	SI	LLEGÓ
77	-114	SI	SI	LLEGÓ	77	-112	SI	SI	LLEGÓ	77	-118	SI	SI	LLEGÓ	77	-122	SI	SI	LLEGÓ	77		NO	NO	FALTA
78	-120	SI	SI	LLEGÓ	78	-109	SI	SI	LLEGÓ	78	-115	SI	SI	LLEGÓ	78	-124	SI	SI	LLEGÓ	78	-121	SI	SI	LLEGÓ
79	-117	SI	SI	LLEGÓ	79	-112	SI	SI	LLEGÓ	79	-120	SI	SI	LLEGÓ	79		NO	NO	FALTA	79	-119	SI	SI	LLEGÓ
80	-112	SI	SI	LLEGÓ	80	-111	SI	SI	LLEGÓ	80	-121	SI	SI	LLEGÓ	80	-120	SI	SI	LLEGÓ	80		NO	NO	FALTA
81	-112	SI	SI	LLEGÓ	81	-112	SI	SI	LLEGÓ	81	-119	SI	SI	LLEGÓ	81	-111	SI	SI	LLEGÓ	81	-116	SI	SI	LLEGÓ
82	-116	SI	SI	LLEGÓ	82	-116	SI	SI	LLEGÓ	82	-118	SI	SI	LLEGÓ	82	-114	SI	SI	LLEGÓ	82	-119	SI	SI	LLEGÓ
83	-111	SI	SI	LLEGÓ	83	-111	SI	SI	LLEGÓ	83	-119	SI	SI	LLEGÓ	83	-119	SI	SI	LLEGÓ	83	-118	SI	SI	LLEGÓ
84	-111	SI	SI	LLEGÓ	84	-111	SI	SI	LLEGÓ	84	-122	SI	SI	LLEGÓ	84	-119	SI	SI	LLEGÓ	84	-114	SI	SI	LLEGÓ
85	-109	SI	SI	LLEGÓ	85	-109	SI	SI	LLEGÓ	85	-117	SI	SI	LLEGÓ	85	-121	SI	SI	LLEGÓ	85	-116	SI	SI	LLEGÓ
86	-108	SI	SI	LLEGÓ	86	-108	SI	SI	LLEGÓ	86	-120	SI	SI	LLEGÓ	86	-121	SI	SI	LLEGÓ	86		NO	NO	FALTA
87	-120	SI	SI	LLEGÓ	87	-113	SI	SI	LLEGÓ	87	-120	SI	SI	LLEGÓ	87	-122	SI	SI	LLEGÓ	87	-116	SI	SI	LLEGÓ
88	-108	SI	SI	LLEGÓ	88	-109	SI	SI	LLEGÓ	88	-121	SI	SI	LLEGÓ	88		NO	NO	FALTA	88	-118	SI	SI	LLEGÓ
89	-112	SI	SI	LLEGÓ	89	-106	SI	SI	LLEGÓ	89	-118	SI	SI	LLEGÓ	89	-121	SI	SI	LLEGÓ	89	-122	SI	SI	LLEGÓ
90	-120	SI	SI	LLEGÓ	90	-112	SI	SI	LLEGÓ	90	-120	SI	SI	LLEGÓ	90	-122	SI	SI	LLEGÓ	90	-125	SI	SI	LLEGÓ
91	-109	SI	SI	LLEGÓ	91	-113	SI	SI	LLEGÓ	91	-114	SI	SI	LLEGÓ	91		NO	NO	FALTA	91	-118	SI	SI	LLEGÓ
92	-113	SI	SI	LLEGÓ	92	-111	SI	SI	LLEGÓ	92	-120	SI	SI	LLEGÓ	92	-121	SI	SI	LLEGÓ	92	-122	SI	SI	LLEGÓ
93	-11	SI	SI	LLEGÓ	93	-108	SI	SI	LLEGÓ	93	-121	SI	SI	LLEGÓ	93	-121	SI	SI	LLEGÓ	93	-125	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 100 m					Distancia a 200 m					Distancia a 300 m					Distancia a 400 m					Distancia a 500 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
94	-120	SI	SI	LLEGÓ	94	-114	SI	SI	LLEGÓ	94	-114	SI	SI	LLEGÓ	94	-119	SI	SI	LLEGÓ	94		NO	NO	FALTA
95	-114	SI	SI	LLEGÓ	95	-111	SI	SI	LLEGÓ	95	-118	SI	SI	LLEGÓ	95	-123	SI	SI	LLEGÓ	95	-118	SI	SI	LLEGÓ
96	-107	SI	SI	LLEGÓ	96	-112	SI	SI	LLEGÓ	96	-121	SI	SI	LLEGÓ	96	-122	SI	SI	LLEGÓ	96	-117	SI	SI	LLEGÓ
97	-113	SI	SI	LLEGÓ	97	-109	SI	SI	LLEGÓ	97	-122	SI	SI	LLEGÓ	97	-123	SI	SI	LLEGÓ	97	-119	SI	SI	LLEGÓ
98	-120	SI	SI	LLEGÓ	98	-112	SI	SI	LLEGÓ	98	-117	SI	SI	LLEGÓ	98	-123	SI	SI	LLEGÓ	98	-119	SI	SI	LLEGÓ
99	-109	SI	SI	LLEGÓ	99	-114	SI	SI	LLEGÓ	99	-122	SI	SI	LLEGÓ	99	-123	SI	SI	LLEGÓ	99	-124	SI	SI	LLEGÓ
100	-114	SI	SI	LLEGÓ	100	-111	SI	SI	LLEGÓ	100	-120	SI	SI	LLEGÓ	100	-122	SI	SI	LLEGÓ	100	-122	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 600 m					Distancia a 700 m					Distancia a 800 m					Distancia a 900 m					Distancia a 1000 m				
N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
1	-124	SI	SI	LLEGÓ	1	-123	SI	SI	LLEGÓ	1	-114	SI	SI	LLEGÓ	1	-121	SI	SI	LLEGÓ	1	-120	SI	SI	LLEGÓ
2		NO	NO	FALTA	2		NO	NO	FALTA	2		NO	NO	FALTA	2		NO	NO	FALTA	2		NO	NO	FALTA
3		NO	NO	FALTA	3	-124	SI	SI	LLEGÓ	3		NO	NO	FALTA	3		NO	NO	FALTA	3		NO	NO	FALTA
4	-122	SI	SI	LLEGÓ	4	-126	SI	SI	LLEGÓ	4		NO	NO	FALTA	4	-123	SI	SI	LLEGÓ	4	-121	SI	SI	LLEGÓ
5	-123	SI	SI	LLEGÓ	5	-123	SI	SI	LLEGÓ	5	-123	SI	SI	LLEGÓ	5		NO	NO	FALTA	5	-121	SI	SI	LLEGÓ
6	-123	SI	SI	LLEGÓ	6		NO	NO	FALTA	6		NO	NO	FALTA	6		NO	NO	FALTA	6		NO	NO	FALTA
7	-122	SI	SI	LLEGÓ	7		NO	NO	FALTA	7		NO	NO	FALTA	7		NO	NO	FALTA	7		NO	NO	FALTA
8	-121	SI	SI	LLEGÓ	8	-124	SI	SI	LLEGÓ	8		NO	NO	FALTA	8		NO	NO	FALTA	8	-122	SI	SI	LLEGÓ
9	-124	SI	SI	LLEGÓ	9	-123	SI	SI	LLEGÓ	9		NO	NO	FALTA	9	-114	SI	SI	LLEGÓ	9		NO	NO	FALTA
10	-125	SI	SI	LLEGÓ	10		NO	NO	FALTA	10		NO	NO	FALTA	10		NO	NO	FALTA	10		NO	NO	FALTA
11	-120	SI	SI	LLEGÓ	11		NO	NO	FALTA	11		NO	NO	FALTA	11		NO	NO	FALTA	11		NO	NO	FALTA
12	-124	SI	SI	LLEGÓ	12	-122	SI	SI	LLEGÓ	12	-119	SI	SI	LLEGÓ	12		NO	NO	FALTA	12		NO	NO	FALTA
13	-124	SI	SI	LLEGÓ	13	-124	SI	SI	LLEGÓ	13	-123	SI	SI	LLEGÓ	13		NO	NO	FALTA	13		NO	NO	FALTA
14	-122	SI	SI	LLEGÓ	14		NO	NO	FALTA	14	-124	SI	SI	LLEGÓ	14		NO	NO	FALTA	14		NO	NO	FALTA
15	-123	SI	SI	LLEGÓ	15	-123	SI	SI	LLEGÓ	15		NO	NO	FALTA	15		NO	NO	FALTA	15		NO	NO	FALTA
16	-122	SI	SI	LLEGÓ	16	-123	SI	SI	LLEGÓ	16	-121	SI	SI	LLEGÓ	16	-123	SI	SI	LLEGÓ	16		NO	NO	FALTA
17	-123	SI	SI	LLEGÓ	17	-121	SI	SI	LLEGÓ	17	-123	SI	SI	LLEGÓ	17		NO	NO	FALTA	17		NO	NO	FALTA
18		NO	NO	FALTA	18	-124	SI	SI	LLEGÓ	18		NO	NO	FALTA	18		NO	NO	FALTA	18		NO	NO	FALTA
19	-124	SI	SI	LLEGÓ	19		NO	NO	FALTA	19		NO	NO	FALTA	19	-121	SI	SI	LLEGÓ	19		NO	NO	FALTA
20		NO	NO	FALTA	20		NO	NO	FALTA	20	-121	SI	SI	LLEGÓ	20		NO	NO	FALTA	20		NO	NO	FALTA
21	-123	SI	SI	LLEGÓ	21		NO	NO	FALTA	21	-122	SI	SI	LLEGÓ	21		NO	NO	FALTA	21		NO	NO	FALTA
22	-121	SI	SI	LLEGÓ	22	-121	SI	SI	LLEGÓ	22		NO	NO	FALTA	22		NO	NO	FALTA	22		NO	NO	FALTA
23		NO	NO	FALTA	23	-123	SI	SI	LLEGÓ	23		NO	NO	FALTA	23	-121	SI	SI	LLEGÓ	23		NO	NO	FALTA
24	-123	SI	SI	LLEGÓ	24		NO	NO	FALTA	24		NO	NO	FALTA	24	-123	SI	SI	LLEGÓ	24		NO	NO	FALTA

Distancia a 600 m					Distancia a 700 m					Distancia a 800 m					Distancia a 900 m					Distancia a 1000 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
25	-123	SI	SI	LLEGÓ	25	-123	SI	SI	LLEGÓ	25		NO	NO	FALTA	25		NO	NO	FALTA	25		NO	NO	FALTA
26	-123	SI	SI	LLEGÓ	26		NO	NO	FALTA	26	-124	SI	SI	LLEGÓ	26		NO	NO	FALTA	26		NO	NO	FALTA
27	-123	SI	SI	LLEGÓ	27	-124	SI	SI	LLEGÓ	27		NO	NO	FALTA	27		NO	NO	FALTA	27		NO	NO	FALTA
28	-123	SI	SI	LLEGÓ	28		NO	NO	FALTA	28		NO	NO	FALTA	28		NO	NO	FALTA	28		NO	NO	FALTA
29		NO	NO	FALTA	29		NO	NO	FALTA	29		NO	NO	FALTA	29	-118	SI	SI	LLEGÓ	29		NO	NO	FALTA
30	-121	SI	SI	LLEGÓ	30	-121	SI	SI	LLEGÓ	30	-120	SI	SI	LLEGÓ	30		NO	NO	FALTA	30		NO	NO	FALTA
31		NO	NO	FALTA	31		NO	NO	FALTA	31	-122	SI	SI	LLEGÓ	31		NO	NO	FALTA	31		NO	NO	FALTA
32		NO	NO	FALTA	32	-121	SI	SI	LLEGÓ	32	-120	SI	SI	LLEGÓ	32		NO	NO	FALTA	32		NO	NO	FALTA
33		NO	NO	FALTA	33	-121	SI	SI	LLEGÓ	33		NO	NO	FALTA	33		NO	NO	FALTA	33		NO	NO	FALTA
34	-123	SI	SI	LLEGÓ	34	-122	SI	SI	LLEGÓ	34	-123	SI	SI	LLEGÓ	34	-119	SI	SI	LLEGÓ	34	-119	SI	SI	LLEGÓ
35	-124	SI	SI	LLEGÓ	35		NO	NO	FALTA	35		NO	NO	FALTA	35		NO	NO	FALTA	35		NO	NO	FALTA
36		NO	NO	FALTA	36	-121	SI	SI	LLEGÓ	36		NO	NO	FALTA	36		NO	NO	FALTA	36	-119	SI	SI	LLEGÓ
37	-123	SI	SI	LLEGÓ	37		NO	NO	FALTA	37	-114	SI	SI	LLEGÓ	37	-121	SI	SI	LLEGÓ	37		NO	NO	FALTA
38	-123	SI	SI	LLEGÓ	38	-124	SI	SI	LLEGÓ	38	-122	SI	SI	LLEGÓ	38		NO	NO	FALTA	38		NO	NO	FALTA
39		NO	NO	FALTA	39		NO	NO	FALTA	39		NO	NO	FALTA	39		NO	NO	FALTA	39		NO	NO	FALTA
40	-122	SI	SI	LLEGÓ	40	-124	SI	SI	LLEGÓ	40	-123	SI	SI	LLEGÓ	40	-121	SI	SI	LLEGÓ	40		NO	NO	FALTA
41	-119	SI	SI	LLEGÓ	41		NO	NO	FALTA	41		NO	NO	FALTA	41		NO	NO	FALTA	41		NO	NO	FALTA
42	-119	SI	SI	LLEGÓ	42		NO	NO	FALTA	42		NO	NO	FALTA	42		NO	NO	FALTA	42	-119	SI	SI	LLEGÓ
43		NO	NO	FALTA	43		NO	NO	FALTA	43		NO	NO	FALTA	43	-124	SI	SI	LLEGÓ	43		NO	NO	FALTA
44	-121	SI	SI	LLEGÓ	44	-122	SI	SI	LLEGÓ	44	-120	SI	SI	LLEGÓ	44		NO	NO	FALTA	44	-122	SI	SI	LLEGÓ
45	-123	SI	SI	LLEGÓ	45	-124	SI	SI	LLEGÓ	45		NO	NO	FALTA	45	-117	SI	SI	LLEGÓ	45		NO	NO	FALTA
46	-123	SI	SI	LLEGÓ	46		NO	NO	FALTA	46	-121	SI	SI	LLEGÓ	46	-123	SI	SI	LLEGÓ	46		NO	NO	FALTA
47	-123	SI	SI	LLEGÓ	47		NO	NO	FALTA	47		NO	NO	FALTA	47		NO	NO	FALTA	47	-121	SI	SI	LLEGÓ
48	-123	SI	SI	LLEGÓ	48	-123	SI	SI	LLEGÓ	48	-122	SI	SI	LLEGÓ	48		NO	NO	FALTA	48	-122	SI	SI	LLEGÓ

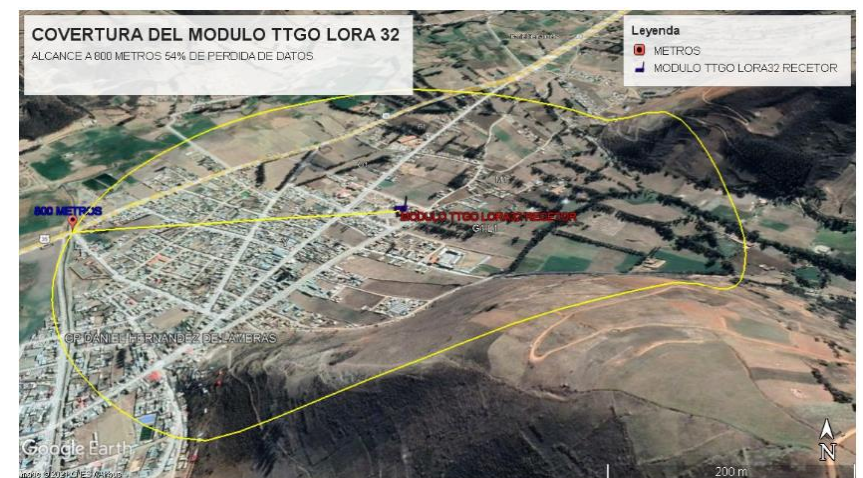
Distancia a 600 m					Distancia a 700 m					Distancia a 800 m					Distancia a 900 m					Distancia a 1000 m				
Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	Nº	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
49	-122	SI	SI	LLEGÓ	49		NO	NO	FALTA	49	-123	SI	SI	LLEGÓ	49		NO	NO	FALTA	49		NO	NO	FALTA
50	-123	SI	SI	LLEGÓ	50		NO	NO	FALTA	50	-119	SI	SI	LLEGÓ	50	-123	SI	SI	LLEGÓ	50	-118	SI	SI	LLEGÓ
51	-123	SI	SI	LLEGÓ	51		NO	NO	FALTA	51	-114	SI	SI	LLEGÓ	51	-121	SI	SI	LLEGÓ	51	-120	SI	SI	LLEGÓ
52		NO	NO	FALTA	52	-123	SI	SI	LLEGÓ	52		NO	NO	FALTA	52		NO	NO	FALTA	52		NO	NO	FALTA
53	-121	SI	SI	LLEGÓ	53		NO	NO	FALTA	53		NO	NO	FALTA	53		NO	NO	FALTA	53		NO	NO	FALTA
54	-123	SI	SI	LLEGÓ	54		NO	NO	FALTA	54		NO	NO	FALTA	54	-123	SI	SI	LLEGÓ	54	-121	SI	SI	LLEGÓ
55		NO	NO	FALTA	55	-121	SI	SI	LLEGÓ	55	-123	SI	SI	LLEGÓ	55		NO	NO	FALTA	55	-121	SI	SI	LLEGÓ
56	-123	SI	SI	LLEGÓ	56	-121	SI	SI	LLEGÓ	56		NO	NO	FALTA	56		NO	NO	FALTA	56		NO	NO	FALTA
57		NO	NO	FALTA	57		NO	NO	FALTA	57		NO	NO	FALTA	57		NO	NO	FALTA	57		NO	NO	FALTA
58	-124	SI	SI	LLEGÓ	58	-122	SI	SI	LLEGÓ	58	-123	SI	SI	LLEGÓ	58		NO	NO	FALTA	58	-122	SI	SI	LLEGÓ
59	-124	SI	SI	LLEGÓ	59	-121	SI	SI	LLEGÓ	59		NO	NO	FALTA	59	-114	SI	SI	LLEGÓ	59		NO	NO	FALTA
60		NO	NO	FALTA	60		NO	NO	FALTA	60		NO	NO	FALTA	60		NO	NO	FALTA	60		NO	NO	FALTA
61	-120	SI	SI	LLEGÓ	61		NO	NO	FALTA	61		NO	NO	FALTA	61		NO	NO	FALTA	61		NO	NO	FALTA
62	-124	SI	SI	LLEGÓ	62		NO	NO	FALTA	62	-119	SI	SI	LLEGÓ	62		NO	NO	FALTA	62		NO	NO	FALTA
63	-123	SI	SI	LLEGÓ	63	-124	SI	SI	LLEGÓ	63	-123	SI	SI	LLEGÓ	63		NO	NO	FALTA	63		NO	NO	FALTA
64	-120	SI	SI	LLEGÓ	64	-123	SI	SI	LLEGÓ	64	-124	SI	SI	LLEGÓ	64		NO	NO	FALTA	64		NO	NO	FALTA
65	-121	SI	SI	LLEGÓ	65	-121	SI	SI	LLEGÓ	65		NO	NO	FALTA	65		NO	NO	FALTA	65		NO	NO	FALTA
66		NO	NO	FALTA	66		NO	NO	FALTA	66	-121	SI	SI	LLEGÓ	66	-123	SI	SI	LLEGÓ	66		NO	NO	FALTA
67		NO	NO	FALTA	67		NO	NO	FALTA	67	-123	SI	SI	LLEGÓ	67		NO	NO	FALTA	67		NO	NO	FALTA
68	-120	SI	SI	LLEGÓ	68	-122	SI	SI	LLEGÓ	68		NO	NO	FALTA	68		NO	NO	FALTA	68		NO	NO	FALTA
69	-123	SI	SI	LLEGÓ	69		NO	NO	FALTA	69		NO	NO	FALTA	69	-121	SI	SI	LLEGÓ	69		NO	NO	FALTA
70	-123	SI	SI	LLEGÓ	70		NO	NO	FALTA	70	-121	SI	SI	LLEGÓ	70		NO	NO	FALTA	70		NO	NO	FALTA
71	-119	SI	SI	LLEGÓ	71	-121	SI	SI	LLEGÓ	71	-122	SI	SI	LLEGÓ	71		NO	NO	FALTA	71		NO	NO	FALTA
72	-123	SI	SI	LLEGÓ	72		NO	NO	FALTA	72		NO	NO	FALTA	72		NO	NO	FALTA	72	-123	SI	SI	LLEGÓ

Distancia a 600 m					Distancia a 700 m					Distancia a 800 m					Distancia a 900 m					Distancia a 1000 m				
N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
73		NO	NO	FALTA	73		NO	NO	FALTA	73	-123	SI	SI	LLEGÓ	73	-121	SI	SI	LLEGÓ	73		NO	NO	FALTA
74	-123	SI	SI	LLEGÓ	74	-124	SI	SI	LLEGÓ	74		NO	NO	FALTA	74	-123	SI	SI	LLEGÓ	74		NO	NO	FALTA
75		NO	NO	FALTA	75	-123	SI	SI	LLEGÓ	75		NO	NO	FALTA	75		NO	NO	FALTA	75		NO	NO	FALTA
76	-121	SI	SI	LLEGÓ	76		NO	NO	FALTA	76	-124	SI	SI	LLEGÓ	76		NO	NO	FALTA	76		NO	NO	FALTA
77	-124	SI	SI	LLEGÓ	77		NO	NO	FALTA	77		NO	NO	FALTA	77		NO	NO	FALTA	77		NO	NO	FALTA
78		NO	NO	FALTA	78	-121	SI	SI	LLEGÓ	78		NO	NO	FALTA	78		NO	NO	FALTA	78		NO	NO	FALTA
79	-120	SI	SI	LLEGÓ	79		NO	NO	FALTA	79		NO	NO	FALTA	79	-118	SI	SI	LLEGÓ	79		NO	NO	FALTA
80		NO	NO	FALTA	80	-124	SI	SI	LLEGÓ	80	-120	SI	SI	LLEGÓ	80		NO	NO	FALTA	80		NO	NO	FALTA
81	-121	SI	SI	LLEGÓ	81	-124	SI	SI	LLEGÓ	81	-122	SI	SI	LLEGÓ	81		NO	NO	FALTA	81		NO	NO	FALTA
82	-121	SI	SI	LLEGÓ	82	-122	SI	SI	LLEGÓ	82	-120	SI	SI	LLEGÓ	82		NO	NO	FALTA	82		NO	NO	FALTA
83	-123	SI	SI	LLEGÓ	83	-124	SI	SI	LLEGÓ	83		NO	NO	FALTA	83		NO	NO	FALTA	83		NO	NO	FALTA
84	-123	SI	SI	LLEGÓ	84	-124	SI	SI	LLEGÓ	84	-123	SI	SI	LLEGÓ	84	-119	SI	SI	LLEGÓ	84	-119	SI	SI	LLEGÓ
85	-124	SI	SI	LLEGÓ	85	-124	SI	SI	LLEGÓ	85		NO	NO	FALTA	85		NO	NO	FALTA	85		NO	NO	FALTA
86	-122	SI	SI	LLEGÓ	86	-124	SI	SI	LLEGÓ	86		NO	NO	FALTA	86		NO	NO	FALTA	86		NO	NO	FALTA
87	-124	SI	SI	LLEGÓ	87	-124	SI	SI	LLEGÓ	87	-114	SI	SI	LLEGÓ	87	-121	SI	SI	LLEGÓ	87		NO	NO	FALTA
88	-123	SI	SI	LLEGÓ	88	-123	SI	SI	LLEGÓ	88	-122	SI	SI	LLEGÓ	88		NO	NO	FALTA	88		NO	NO	FALTA
89	-124	SI	SI	LLEGÓ	89		NO	NO	FALTA	89		NO	NO	FALTA	89		NO	NO	FALTA	89		NO	NO	FALTA
90	-122	SI	SI	LLEGÓ	90		NO	NO	FALTA	90	-123	SI	SI	LLEGÓ	90	-121	SI	SI	LLEGÓ	90		NO	NO	FALTA
91		NO	NO	FALTA	91	-120	SI	SI	LLEGÓ	91		NO	NO	FALTA	91		NO	NO	FALTA	91		NO	NO	FALTA
92		NO	NO	FALTA	92	-125	SI	SI	LLEGÓ	92		NO	NO	FALTA	92		NO	NO	FALTA	92	-119	SI	SI	LLEGÓ
93	-123	SI	SI	LLEGÓ	93		NO	NO	FALTA	93		NO	NO	FALTA	93	-124	SI	SI	LLEGÓ	93		NO	NO	FALTA
94		NO	NO	FALTA	94	-121	SI	SI	LLEGÓ	94	-120	SI	SI	LLEGÓ	94		NO	NO	FALTA	94	-122	SI	SI	LLEGÓ
95	-125	SI	SI	LLEGÓ	95		NO	NO	FALTA	95		NO	NO	FALTA	95	-117	SI	SI	LLEGÓ	95		NO	NO	FALTA
96	-124	SI	SI	LLEGÓ	96		NO	NO	FALTA	96	-121	SI	SI	LLEGÓ	96	-123	SI	SI	LLEGÓ	96		NO	NO	FALTA

Distancia a 600 m					Distancia a 700 m					Distancia a 800 m					Distancia a 900 m					Distancia a 1000 m				
N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado	N°	RSSI (dB)	estado de envío	estado de llegada	estado
97		NO	NO	FALTA	97	-120	SI	SI	LLEGÓ	97		NO	NO	FALTA	97		NO	NO	FALTA	97	-121	SI	SI	LLEGÓ
98	-124	SI	SI	LLEGÓ	98	-121	SI	SI	LLEGÓ	98	-122	SI	SI	LLEGÓ	98		NO	NO	FALTA	98	-122	SI	SI	LLEGÓ
99	-124	SI	SI	LLEGÓ	99	-124	SI	SI	LLEGÓ	99	-123	SI	SI	LLEGÓ	99		NO	NO	FALTA	99		NO	NO	FALTA
100		NO	NO	FALTA	100	-124	SI	SI	LLEGÓ	100	-119	SI	SI	LLEGÓ	100	-123	SI	SI	LLEGÓ	100	-118	SI	SI	LLEGÓ

Lugares donde realizaron las pruebas







4.2. Tiempo promedio de entrega de un registro

N°	Tiempo de entrega de registro (ms)	N°	Tiempo de entrega de registro (ms)	N°	Tiempo de entrega de registro (ms)	N°	Tiempo de entrega de registro (ms)	N°	Tiempo de entrega de registro (ms)
1	5569	11	5569	21	5569	31	5569	41	5569
2	5569	12	5569	22	5569	32	5569	42	5569
3	5569	13	5569	23	5569	33	5569	43	5569
4	5569	14	5569	24	5569	34	5569	44	5569
5	5569	15	5569	25	5569	35	5569	45	5569
6	5569	16	5569	26	5569	36	5569	46	5569
7	5569	17	5569	27	5569	37	5569	47	5569
8	5569	18	5569	28	5569	38	5569	48	5569
9	5569	19	5569	29	5569	39	5569	49	5569
10	5569	20	5569	30	5569	40	5569	50	5569

4.3. Consumo de energía en el envío de un paquete

Nº	Tensión de alimentación (V)	corriente en vacío (mA)	Corriente al enviar datos (mA)	Tiempo de envío de un registro (ms)	Potencia (mW)	Consumo (mWS)	Consumo (mWh)
1	3.75	51.50	77.20	5569	289.50	1612.23	0.45
2	3.75	52.70	74.20	5569	278.25	1549.57	0.43
3	3.75	52.70	69.70	5569	261.38	1455.60	0.40
4	3.75	52.70	69.60	5569	261.00	1453.51	0.40
5	3.75	52.70	52.60	5569	197.25	1098.49	0.31
6	3.75	52.70	76.70	5569	287.63	1601.78	0.44
7	3.75	52.70	54.40	5569	204.00	1136.08	0.32
8	3.75	52.70	62.30	5569	233.63	1301.06	0.36
9	3.75	52.70	58.40	5569	219.00	1219.61	0.34
10	3.75	52.70	67.60	5569	253.50	1411.74	0.39
11	3.75	52.70	54.90	5569	205.88	1146.52	0.32
12	3.75	52.70	59.20	5569	222.00	1236.32	0.34
13	3.75	52.70	70.00	5569	262.50	1461.86	0.41
14	3.75	52.70	55.00	5569	206.25	1148.61	0.32
15	3.75	52.70	73.00	5569	273.75	1524.51	0.42
16	3.75	52.70	71.80	5569	269.25	1499.45	0.42
17	3.75	52.80	62.70	5569	235.13	1309.41	0.36
18	3.75	52.80	64.00	5569	240.00	1336.56	0.37
19	3.75	52.80	77.00	5569	288.75	1608.05	0.45
20	3.75	52.80	65.00	5569	243.75	1357.44	0.38
21	3.75	52.80	52.70	5569	197.63	1100.57	0.31

Nº	Tensión de alimentación (V)	corriente en vacío (mA)	Corriente al enviar datos (mA)	Tiempo de envío de un registro (ms)	Potencia (mW)	Consumo (mWS)	Consumo (mWh)
22	3.75	52.80	53.00	5569	198.75	1106.84	0.31
23	3.75	52.80	62.40	5569	234.00	1303.15	0.36
24	3.75	52.80	54.60	5569	204.75	1140.25	0.32
25	3.75	52.80	77.60	5569	291.00	1620.58	0.45
26	3.75	52.80	54.80	5569	205.50	1144.43	0.32
27	3.75	52.80	69.00	5569	258.75	1440.98	0.40
28	3.75	52.80	57.70	5569	216.38	1204.99	0.33
29	3.75	51.70	53.10	5569	199.13	1108.93	0.31
30	3.75	51.70	65.00	5569	243.75	1357.44	0.38
31	3.75	51.70	53.70	5569	201.38	1121.46	0.31
32	3.75	51.70	78.70	5569	295.13	1643.55	0.46
33	3.75	51.70	55.10	5569	206.63	1150.69	0.32
34	3.75	51.70	67.00	5569	251.25	1399.21	0.39
35	3.75	51.70	58.50	5569	219.38	1221.70	0.34
36	3.75	51.70	53.20	5569	199.50	1111.02	0.31
37	3.75	51.70	66.60	5569	249.75	1390.86	0.39
38	3.75	51.70	53.90	5569	202.13	1125.63	0.31
39	3.75	51.70	78.10	5569	292.88	1631.02	0.45
40	3.75	51.70	64.00	5569	240.00	1336.56	0.37
41	3.75	51.70	59.20	5569	222.00	1236.32	0.34
42	3.75	51.70	53.30	5569	199.88	1113.10	0.31

Nº	Tensión de alimentación (V)	corriente en vacío (mA)	Corriente al enviar datos (mA)	Tiempo de envío de un registro (ms)	Potencia (mW)	Consumo (mWS)	Consumo (mWh)
43	3.75	51.70	54.00	5569	202.50	1127.72	0.31
44	3.75	51.70	77.10	5569	289.13	1610.14	0.45
45	3.75	51.70	62.10	5569	232.88	1296.88	0.36
46	3.75	51.70	59.70	5569	223.88	1246.76	0.35

Nº	Tensión de alimentación (V)	corriente en vacío (mA)	Corriente al enviar datos (mA)	Tiempo de envío de un registro (ms)	Potencia (mW)	Consumo (mWS)	Consumo (mWh)
47	3.75	51.70	53.30	5569	199.88	1113.10	0.31
48	3.75	51.70	69.10	5569	259.13	1443.07	0.40
49	3.75	51.70	54.10	5569	202.88	1129.81	0.31
50	3.75	51.70	56.00	5569	210.00	1169.49	0.32

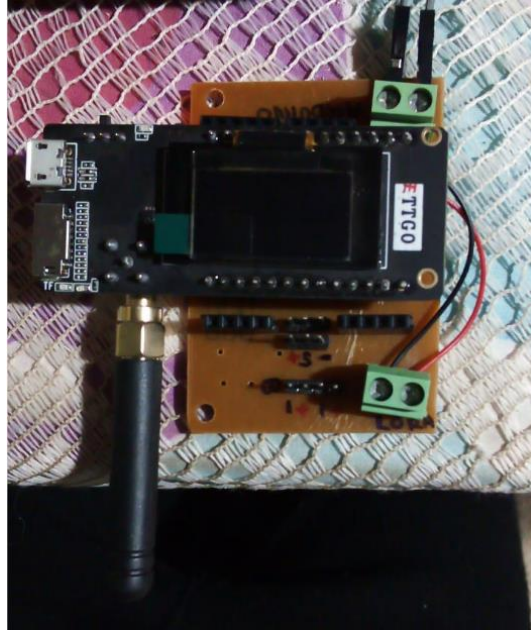
4.4. Porcentaje de error del valor calculado a partir del sensor de caudal

Medición a 5 litros			Medición a 20 litros			Medición a 50 litros			Medición a 75 litros			Medición a 100 litros		
N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)
1	4.69	5	1	6.7	19.6	1	5.36	49.8	1	4.51	74.9	1	6.19	98.1
2	8.42	5	2	7.63	19.6	2	7.28	50	2	7.3	72.9	2	8.13	97.2
3	11.57	5.1	3	10.45	20	3	9.47	49.1	3	9.45	74.2	3	9.46	100.1
4	13.7	5.3	4	14.56	20	4	11.49	50.1	4	11.57	75.1	4	10.89	99.8
5	15.3	5.1	5	14.61	19.9	5	14.24	50.4	5	13.45	73.9	5	12.34	99.7
6	10.71	5.1	6	13.5	19.7	6	8.28	49.8	6	13.89	74.6	6	7.76	99.6
7	6.42	5.3	7	8.01	19.6	7	6.26	50	7	13.94	74.4	7	6.85	98.5
8	7.53	4.9	8	13.83	19.7	8	10.26	50	8	13.83	75.2	8	7.03	98.3
9	7.84	5.2	9	12.19	19.6	9	14.34	49.8	9	4.85	74.3	9	10.62	99.3
10	13.49	5	10	6.36	19.7	10	7.92	50	10	10.72	75.1	10	12.18	97.2
11	5.61	5	11	13.76	20	11	11.35	50.2	11	8.78	74.6	11	11.91	98.6
12	8.01	5	12	10.09	19.8	12	5.01	50.1	12	11.09	74.4	12	10.68	99.5
13	6.12	5	13	7.39	19.6	13	11.27	49.9	13	10.21	74.2	13	11.2	97.2
14	11.23	4.9	14	13.31	20	14	11.8	50.2	14	12.99	74.1	14	13.46	97.7
15	6.88	5.3	15	7.73	20	15	6.41	50.2	15	11.8	73.9	15	6.63	97.9
16	7.48	5	16	10.2	20	16	14.13	49.9	16	9.18	74.7	16	13.73	99.7
17	6.95	5.2	17	8.4	19.6	17	8.39	50.1	17	11.33	75.2	17	5.95	100.1
18	14.17	5.1	18	8.29	19.9	18	12.6	50.2	18	10.48	74.5	18	7.16	98.3
19	14.05	5.2	19	7.91	19.6	19	10.84	50.1	19	8.89	74.8	19	11.38	98.3
20	9.23	5.3	20	12.83	20	20	9.06	49.9	20	12.04	74.8	20	9.99	99.5
21	12.21	4.9	21	7.66	20	21	14.36	49.8	21	10.24	74.2	21	8.55	97.6
22	13.81	5.3	22	9.44	20	22	8.66	49.9	22	7.73	74.3	22	13.03	98.8
23	13.65	5.2	23	13.59	20	23	9.16	49.8	23	11.68	74.6	23	12.86	97.4

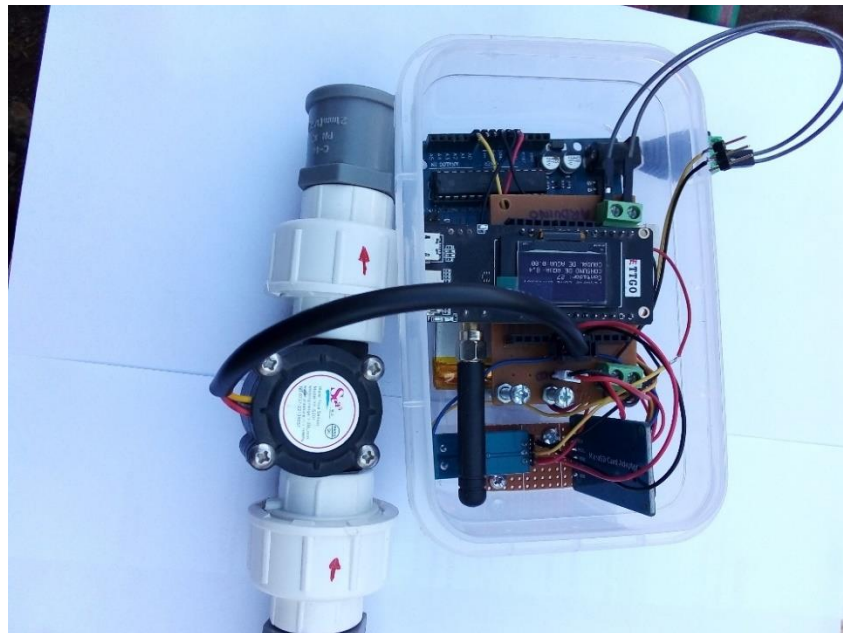
Medición a 5 litros			Medición a 20 litros			Medición a 50 litros			Medición a 75 litros			Medición a 100 litros		
Nº	Sensor (L/m)	Sensor (L)	Nº	Sensor (L/m)	Sensor (L)	Nº	Sensor (L/m)	Sensor (L)	Nº	Sensor (L/m)	Sensor (L)	Nº	Sensor (L/m)	Sensor (L)
24	9.07	5	24	10.37	19.9	24	12.08	49.8	24	7.77	74	24	9.84	97.2
25	14.29	5.2	25	6.31	20.1	25	9.87	50.4	25	5.84	74.3	25	13.85	98.7
26	8.17	5.2	26	13.4	19.6	26	12.6	49.8	26	6.79	74.2	26	8.82	97.8
27	6.27	4.9	27	7.5	19.6	27	10.27	49.8	27	8.71	74.7	27	8.87	100
28	6.86	5	28	10.16	19.6	28	13.41	50.3	28	4.26	74.1	28	10.72	100.1
29	9.79	5.2	29	8.73	19.8	29	6.4	50	29	10.42	74.9	29	13.39	98.4
30	11.79	4.9	30	9.91	19.8	30	12.88	49.8	30	5.84	73.9	30	6.67	99.4
31	11.72	4.9	31	7.82	19.9	31	12.32	50.4	31	9.15	75.2	31	5.54	99.6
32	5.09	5.1	32	13.26	19.7	32	5.26	50.4	32	8.6	74.8	32	6.16	99.2
33	5.85	5.3	33	12.62	19.9	33	6.35	50	33	4.56	74.4	33	9.25	97.6
34	10.67	5.1	34	13.31	19.6	34	7.25	50.3	34	7.66	74.7	34	10.77	97.8
35	14.69	4.9	35	8.64	19.7	35	9.49	49.9	35	8.96	74.3	35	5.85	97.9
36	12.89	5.3	36	6.02	19.8	36	13.42	50.3	36	12.31	74.7	36	8.31	99.5
37	8.36	5.2	37	9.16	19.8	37	6.24	50.4	37	6.77	74.9	37	10.3	97.2
38	11.63	5.3	38	10.61	19.9	38	5.53	50.3	38	4.33	75.2	38	11.35	100
39	12.08	4.9	39	12.26	19.9	39	8.24	50.1	39	11.05	74.1	39	6.49	97.4
40	14.18	5	40	12.92	19.8	40	6.49	50.2	40	7.79	74.9	40	8.34	99.2
41	12.77	5.1	41	11.23	19.7	41	12.29	50	41	4.03	73.9	41	13.63	99.6
42	13.23	5	42	6.06	19.9	42	8.81	49.8	42	7.74	74.5	42	8.08	99.8
43	11.54	5.2	43	9.37	19.8	43	13.05	49.9	43	4.74	75.2	43	13.87	99.8
44	10.69	5	44	6.29	19.9	44	5.77	50.4	44	6.28	75.1	44	11.97	97.7
45	8.93	4.9	45	6.06	20	45	11.7	49.8	45	14	74.6	45	12.53	99.7
46	14.84	5.2	46	6.13	19.6	46	5.11	50.2	46	8.33	74.4	46	11.96	97.3
47	11.00	5.3	47	6.93	20.1	47	7.77	49.9	47	10.24	74.8	47	8.16	98.8
48	9.56	5	48	12.2	20	48	13.01	50	48	9.07	75.2	48	13.81	99.2

Medición a 5 litros			Medición a 20 litros			Medición a 50 litros			Medición a 75 litros			Medición a 100 litros		
N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)	N°	Sensor (L/m)	Sensor (L)
49	9.64	5.2	49	11.14	19.8	49	13.97	50.2	49	11.96	74.1	49	10.89	98.5
50	6.75	5	50	6.82	20	50	8.82	50.1	50	6.13	74.6	50	10.74	97.8
Promedio		5.094	Promedio		19.822	Promedio		50.036	Promedio		74.532	Promedio		98.672
error absoluto		0.094	error absoluto		- 0.178	error absoluto		0.036	error absoluto		-0.468	error absoluto		-1.328
error relativo		1.88%	error relativo		0.89%	error relativo		0.01%	error relativo		0.62%	error relativo		1.33%

Apéndice 5. Fotografías



Módulo Receptor



Módulo Emisor



Modo operación