



“Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)”

Loaiza Porras, Rudyard Vladimir

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a obtener el título de Magíster en Sistemas de Gestión Ambiental

Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio

22 de octubre de 2021

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS MSGA ESPE_ VLADIMIR LOAIZA PORRAS_IoT EMRAPAH
ARENILLAS_10.01.2021_v0.docx (D92994634)
SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL Y MONITOREO
DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE AGUA
POTABLE REGIONAL ARENILLAS HUAQUILLAS
BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

Submitted: 1/20/2021 7:23:00 PM

Submitted By: dvcarrera@espe.edu.ec

Significance: 2 %

Sources included in the report:

TT Milton Alfonso Guzman.docx (D82942802)

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICOS CON NODOS
INTELIGENTES PARA EL MONITOREO EN CULTIVOS AEROPÓNICOS.docx (D87378274)

1598851914_190_Documento_completo.pdf-PDFA.pdf (D79869883)

1606936494_699_CAPITULO_2_Valdiviezo-Arellano.pdf (D87650510)

[https://www.bellenviro.co.uk/ponsel-c4e-conductivity-and-salinity-sensor-odeon.html?
category_id=1381Bell](https://www.bellenviro.co.uk/ponsel-c4e-conductivity-and-salinity-sensor-odeon.html?category_id=1381Bell)

[https://www.bellenviro.co.uk/ponsel-pheht-digital-ph-orp-and-temperature-sensor-
odeon.html?category_id=1380Bello,](https://www.bellenviro.co.uk/ponsel-pheht-digital-ph-orp-and-temperature-sensor-odeon.html?category_id=1380Bello)

[http://www.haitronic.cn/index.php?route=product/
product&product_id=443&search=NRF24Harrington,](http://www.haitronic.cn/index.php?route=product/product&product_id=443&search=NRF24Harrington)

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7004894/P>

<https://pdfs.semanticscholar.org/043e/e6f8a046e683219d568c74beecde01bf0303.pdf>Roberti,

<https://core.ac.uk/download/pdf/226165863.pdf>

<https://core.ac.uk/download/pdf/196609204.pdf>

<https://docplayer.es/68932310-Gerardo-guacaneme-valbuena-didier-alexis-pardo-agudelo.html>

Instances where selected sources appear:

12

Firma:



Firmado electrónicamente por:
DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES

.....
Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio

Director



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **“Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)”** fue realizado por el señor **Loaiza Porras, Rudyard Vladimir** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 09 de febrero de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES

.....
Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio

Director

C.C.: 1712218518



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Loaiza Porras, Rudyard Vladimir**, con cédula de ciudadanía N°0704346840, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)**” es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 09 de febrero de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**RUDYARD
VLADIMIR LOAIZA
PORRAS**

.....
Loaiza Porras, Rudyard Vladimir

C.C.: 0704346840



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Loaiza Porras, Rudyard Vladimir**, con cédula de ciudadanía N°0704346840, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la planta de agua potable regional Arenillas Huaquillas basado en internet de las cosas (IoT)”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 09 de febrero de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**RUDYARD
VLADIMIR LOAIZA
PORRAS**

.....
Loaiza Porras, Rudyard Vladimir

C.C.: 0704346840

Tabla de Contenido

Resumen.....	11
Abstract.....	12
Capítulo I.....	13
Introducción.....	13
Antecedentes	13
Área de Estudio	14
Planteamiento del Problema	16
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Justificación del Proyecto	18
Capítulo II.....	20
Fundamentos Teóricos	20
Marco Epistemológico	20
Marco Conceptual.....	21
Internet de las cosas.....	21
Arquitectura IoT	24
Redes inalámbricas	25
Capitulo III	28
Metodología	28
Sistema Regional Arenillas-Huaquillas	28
Captación	28
Planta de tratamiento.....	29

Reservorios.....	31
Línea de captación y distribución	31
Control y monitoreo.....	34
Facturación del Servicio	34
Capítulo IV	35
Resultados	35
Proveedores IoT	35
Alternativa A.....	35
Alternativa B.....	38
Costo de implementación	39
Proyecto Piloto IoT.....	41
Componentes.....	42
Montaje de componentes	44
Puesta en marcha.....	54
Análisis de datos.....	60
Conclusiones y Recomendaciones	64
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	65
Referencias Bibliográficas	66
Anexos	77

Índice de Tablas

Tabla 1. Características del IoT.....	23
Tabla 2. Datos técnicos equipos de bombeo PAPRAH.....	28
Tabla 3. Líneas de captación y distribución	31
Tabla 4. Datos detectados por el caudalímetro de ultrasonido	33
Tabla 5. Plan Uursalink Cloud	37
Tabla 6. Parámetros a medir de alternativas propuesta por componente	40
Tabla 7. Tecnología de las alternativas propuestas por capas IoT	40
Tabla 8. Relación de señal de salida sensor de flujo YF-S201	42
Tabla 9. Factor de conversión "k" por modelo de sensor	42
Tabla 10. Piezas y accesorios electrónicos del proyecto piloto	44
Tabla 11. Componentes placa transmisor	47
Tabla 12. Componentes placa receptor	49
Tabla 13. Componentes placa directa	52
Tabla 14. Relación factor de conversión "k"	55
Tabla 15. Lecturas de pulsos en sensor de edificación PAPRAH.....	56
Tabla 16. Lecturas de pulsos en sensor de vivienda unifamiliar	56
Tabla 17. Enlace de acceso para visualización de datos	58
Tabla 18. Datos de consumo de agua potable en noviembre de 2020.....	61

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio del proyecto	15
Figura 2. Evolución de internet.....	22
Figura 3. Consumo de energía y cobertura en redes inalámbricas.....	27
Figura 4. Vista en planta captación	29
Figura 5. Vista en planta de PAPRAH	30
Figura 6. Lectura de caudal en línea HD de 300mm	32
Figura 7. Lectura de caudal en línea HD de 500mm	32
Figura 8. Lectura de caudal en línea PVC de 250mm	33
Figura 9. Oferta económica de alternativas por componentes	39
Figura 10. Ubicación del montaje de sensores del proyecto piloto	41
Figura 11. Diagrama de conexión placa transmisor	45
Figura 12. Diagrama de conexión placa receptor	46
Figura 13. Placa Transmisor	47
Figura 14. Placa Receptor	48
Figura 15. Placa Transmisor previo a su puesta en marcha	49
Figura 16. Placa Receptor previo a su puesta en marcha.....	50
Figura 17. Arquitectura IoT proyecto piloto transmisor - receptor	50
Figura 18. Diagrama de conexión placa directa.....	51
Figura 19. Placa directa.....	52
Figura 20. Placa directa previo a su puesta en marcha	53
Figura 21. Arquitectura IoT proyecto piloto placa directa	53
Figura 22. Sensor YF-S201 instalado en edificación PAPRAH.....	54
Figura 23. Sensor YF-S201 instalado en vivienda unifamiliar	54
Figura 24. Consumo de agua en litros por minuto edificación PAPRAH	58

Figura 25. Consumo de agua en litros por minuto vivienda unifamiliar.....	59
Figura 26. Consumo de agua en litros edificación EMRAPAH	59
Figura 27. Consumo de agua en litros de vivienda unifamiliar	60
Figura 28. Consumo de agua potable en m ³ /día en noviembre 2020	62

Resumen

En la ciudad de Arenillas, la planta de tratamiento de agua potable regional realiza el control y monitoreo del funcionamiento del sistema a través de un supervisor que coordina con el personal técnico los puntos de muestreo, definidos estos, se procede a la toma y transporte de muestras de agua al laboratorio para su análisis. No existe ningún sistema automatizado para este proceso y diariamente demanda personal, recursos y tiempo para su ejecución. El Internet de las Cosas (IoT) es una alternativa sostenible y eficiente para alcanzar mejores resultados, a través de sensores IoT es posible detectar, almacenar y visualizar de forma remota parámetros de calidad del agua. El presente proyecto identificó el sistema de control y monitoreo empleado y analizó varias propuestas de proveedores IoT, con la información recabada se estructuró dos alternativas IoT para controlar y monitorear el sistema mediante un protocolo de comunicación LoRaWAN que opera en un espectro de radio sin licencia, una arquitectura IoT conformada por una red de sensores de baja potencia y la tecnología de Ursalink como servidor de red y aplicación. El costo de implementación es de \$120.000,00 dólares que incluye suministro, montaje y puesta en marcha. Además, se desarrolló a nivel piloto un sistema IoT para detectar datos de consumo de agua potable en dos acometidas de diámetro 1/2", la prueba fue exitosa y evidenció el potencial del IoT para automatizar estos procesos, reducir aguas no contabilizadas y contribuir con el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Palabras claves:

- **AGUA**
- **INTERNET**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **EFICIENCIA**

Abstract

In the city of Arenillas, the regional drinking water treatment plant controls and monitors the operation of the system through a supervisor who coordinates with the technical staff the sampling points, defined these, proceeds to take and transport the water samples to the laboratory for analysis. There is no automated system for this process and it demands personnel, resources and time for its execution on a daily basis. The Internet of Things (IoT) is a sustainable and efficient alternative to achieve better results, through IoT sensors it is possible to remotely detect, store and display water quality parameters. This project identified the control and monitoring system used and analyzed several proposals from IoT providers, with the information collected, two IoT alternatives were structured to control and monitor the system through a LoRaWAN communication protocol that operates on a radio spectrum without a license. an IoT architecture made up of a low-power sensor network and Ursalink technology as a network and application server. The implementation cost is \$ 120,000.00 which includes supply, assembly and start-up. In addition, an IoT system was developed at a pilot level to detect drinking water consumption data in two 1/2 "diameter connections. The test was successful and showed the potential of the IoT to automate these processes, reduce unaccounted for water and contribute to Goal 6 of the 2030 Agenda for Sustainable Development.

Key words:

- **WATER**
- **INTERNET**
- **AUTOMATION**
- **EFFICIENCY**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Se espera un incremento de la población mundial de 2 000 millones de habitantes en los próximos 30 años, pasando de 7 700 a 9 700 millones de habitantes para el año 2050 (ONU, 2019), ocasionando que el consumo de recursos aumente a medida que aumenta la población mundial, lo que provocará la demanda más rápida jamás experimentada en el mundo de recursos (Rios, 2018).

El crecimiento poblacional y su urbanización acelerada, limita principalmente el acceso a los recursos hídricos, generando en las entidades prestadoras del servicio de agua un desafío para mejorar su eficiencia operativa, mayor control, mantenimiento de redes y concientizar a la población al uso racional del servicio (BID, 2015).

El acceso seguro al agua potable en Ecuador hasta el año 2019 alcanzó el 67.8% de la población, el básico con limitaciones en calidad y suficiencia el 23.4% y el 8.8% restante no tiene acceso al agua potable (INEC, 2019). Para alcanzar mejores resultados es necesario desarrollar tecnologías innovadoras, eficientes y escalables, combinando infraestructura física, gestión de datos y sistemas automatizados para satisfacer necesidades dentro de los límites de disponibilidad del agua (Ryder, 2018).

La forma en que se gestiona los recursos ha cambiado con la tecnología, el Internet de las Cosas (IoT) permite mejorar la eficiencia en el monitoreo y control del uso de recursos hídricos y automatizar la mayor parte de sus procesos (Bosire, 2017). El decimotercero simposio sobre tecnologías de la información y la comunicación, medio ambiente y cambio climático realizado en Ginebra, reconoció al IoT entre otras tecnologías como un potencial transformador de vanguardia para apoyar la transición a una economía circular (ITU, 2019).

El proyecto múltiple Tahuín con su embalse permite regular el cauce del río Arenillas, riego para cultivos, y provee del recurso al sistema de abastecimiento regional, este sistema tiene un reservorio de 3 600 m³ y entrega a los cantones Arenillas 30 L/s y Huaquillas 70 L/s (GADM Arenillas, 2015; Huaquillas, 2014). El presente proyecto desarrolla el estudio de un sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la Planta de Agua Potable Regional Arenilla-Huaquillas (PAPRAH) basado en IoT, para su posterior implementación.

La tecnología IoT es una solución central para abordar problemas de conservación y gestión del agua, mediante una red de sensores es posible detectar fugas, controlar la calidad, seguridad del sistema, mantenimiento predictivo de la infraestructura, eficiencia de procesos, entre otras mejoras (Dogo *et al.*, 2019).

Área de Estudio

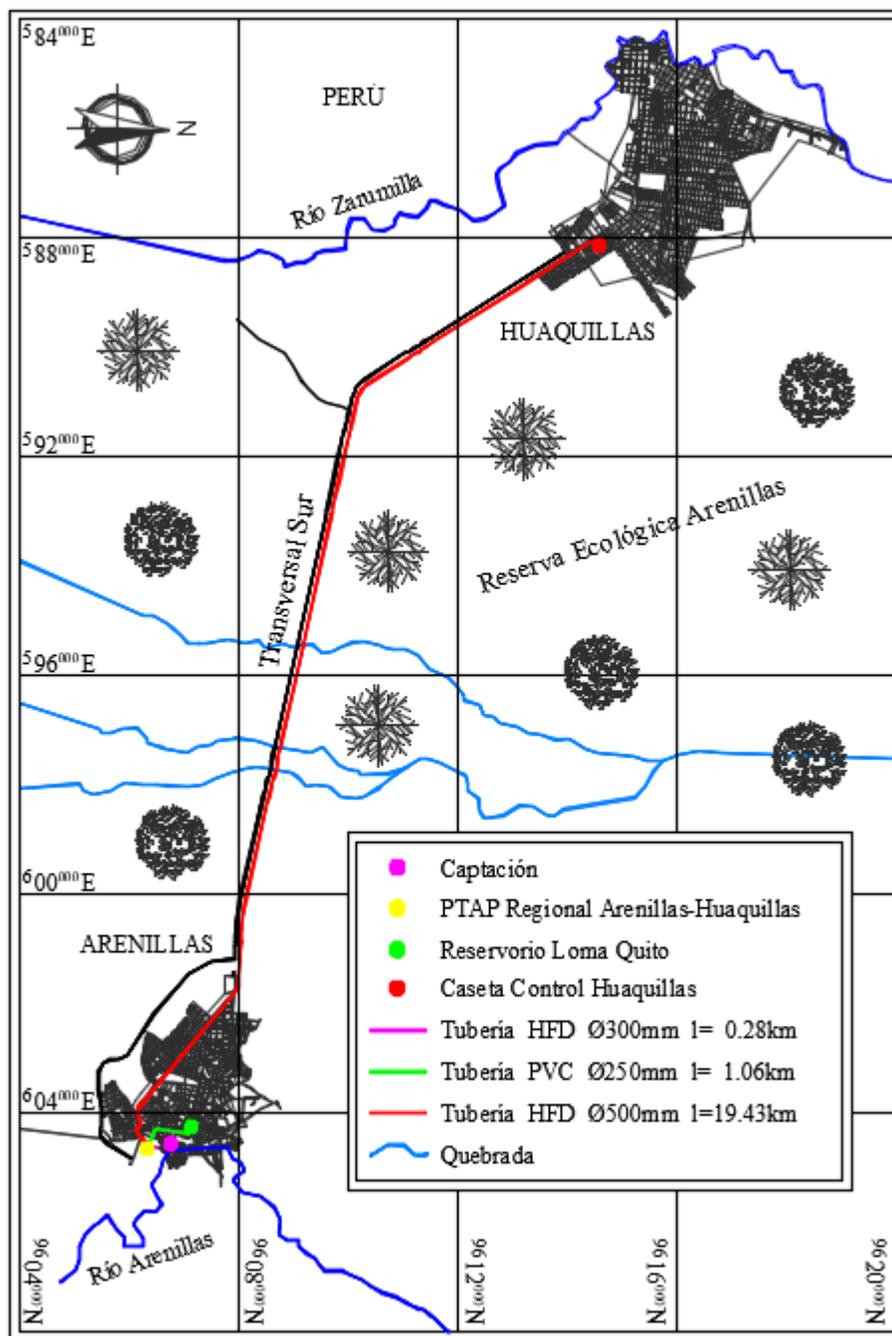
En la región litoral, al sur del país se encuentra la provincia de El Oro con una extensión territorial de 5 767 km². Está constituida por 14 cantones, entre ellos Arenillas con una población de 33 473 habitantes y una extensión de 808,7 km²; y Huaquillas con una población de 60 440 habitantes y una extensión de 112,60 km² (INEC, 2020).

La empresa municipal regional de agua potable Arenillas-Huaquillas (EMRAPAH), creada con Registro Oficial No.77 inició en el año 2009 la operación de la PAPRAH, para dotar del servicio a Huaquillas y Arenillas, donde en éste último cantón, desde el sector Los Jardines se trata el agua captada del río Arenillas. El agua potable es distribuida por impulsión a un reservorio en el sector Loma Quito, y por gravedad a una caseta de control en Huaquillas (EMRAPAH, 2020).

El área de estudio del proyecto es de 41,54 hectáreas que responde al trazado de la línea de captación y distribución de la PAPRAH, localizadas en la zona urbana de la ciudad de Arenillas y paralelo a la vía transversal sur hasta llegar a Huaquillas, como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Área de estudio del proyecto



Nota: La figura presenta la ubicación de los componentes del sistema regional Arenillas-Huaquillas. Fuente: EMRAPAH, 2020.

Planteamiento del Problema

La American Water Works Association está haciendo cada vez más hincapié en el monitoreo y preservación de la calidad del agua, apoya el desarrollo e implementación de mejores prácticas de diseño, operación para mantener la calidad en los sistemas de distribución, que son, una de varias barreras disponibles en las entidades prestadoras del servicio para prevenir la contaminación y mantener el agua segura (AWWA, 2017).

La gestión de las redes de distribución de agua en el mundo busca lograr estándares mejorados en la prestación del servicio, sin embargo, hay eventos que ocurren que degradan su rendimiento, debido a una mayor demanda, infraestructura envejecida, y operatividad inadecuada, que limitan acciones para detectar y reparar daños a corto, mediano y largo plazo (Bello, 2019).

La operación de los sistemas de distribución de agua en Ecuador ha evidenciado falencias, en el cantón Ibarra a finales del año 2002, trabajos de regeneración de vías ocasionaron roturas en tuberías de aguas servidas que contaminaron las redes de agua potable. Esta negligencia de autoridades, técnicos municipales y contratistas, provocó una declaratoria de emergencia sanitaria al registrar 3 200 pacientes con enfermedades gastrointestinales (EU, 2002).

Es importante que las empresas prestadoras de servicios de agua, cuenten con información confiable que detalle el estado del sistema, esta gestión de recopilación, almacenamiento y procesamiento de datos permitirá estimar riesgos en los sistemas de distribución (Pérez *et al.*, 2012).

El sistema de la PAPRAH realiza el control y monitoreo de su funcionamiento de forma presencial, con personal técnico que inspecciona, registra datos, toma muestras y realiza pruebas de laboratorio. Estas actividades demandan tiempo para su ejecución y procesamiento de información, incrementan los costos de operación y producción del agua potable (EMRAPAH, 2020).

Elaborar el estudio de un sistema automatizado para el control y monitoreo del funcionamiento de la PAPRAH basado en IoT, que presente en tiempo real y de forma remota el comportamiento del sistema, calidad del agua en el río, reservorios y datos hidráulicos en tuberías, permitirá a la empresa municipal regional después de su implementación, tener mayor eficiencia operativa, toma de decisiones oportunas y mayor rentabilidad a largo plazo.

Un porcentaje mínimo de las empresas de servicios de agua pueden ajustar y controlar las operaciones del sistema de forma remota, el no hacerlo genera costos anuales por operación de campo y mantenimiento de 10 mil millones de dólares a nivel mundial, que representa un costo significativo para las empresas (Sensus, 2012).

Objetivo General

- Diseñar un sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la PAPRAH para medir, transmitir y presentar datos de cloro, turbidez, oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, nivel de agua, presión, y caudal mediante una red de sensores inalámbricos basado en IoT, distribuidos en la captación, planta de tratamiento y distribución principal.

Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones técnicas del funcionamiento de la PAPRAH desde la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución principal para diagnosticar su sistema de control y monitoreo.
- Analizar las redes inalámbricas de área extensa disponibles y determinar la tecnología más adecuada para la medición, transmisión y presentación segura de datos que permita controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH.
- Determinar la arquitectura de hardware y software de una red de sensores inalámbricos basado en IoT para la medición, transmisión y presentación segura de datos que permita controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH.

- Diseñar una propuesta para el suministro, montaje y puesta en marcha de una red de sensores inalámbricos basado en IoT para medir, transmitir y presentar datos de cloro, turbidez, oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, nivel de agua, presión, y caudal distribuidos en la captación, planta de tratamiento y distribución principal para controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH.

Justificación del Proyecto

La Constitución del Ecuador expresa el derecho que la población tiene al agua, lo considera un patrimonio nacional, prohíbe su privatización y define al Estado como responsable de la provisión de los servicios públicos de agua, para planificar, regular y controlar la gestión del agua, priorizando la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano en el uso y aprovechamiento (Asamblea Constituyente, 2008).

La meta 6.1 de los objetivos de la "Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible" busca alcanzar el acceso universal y equitativo al agua potable, los prestadoras del servicio deben ser sostenibles en su gestión, dotando cantidad y calidad, sin comprometer la capacidad futura, mejorar los sistemas de operación y mantenimiento, reducir el uso de energía, un sistema tarifario justo y una planificación de inversión (IWA, 2020).

La prestación adecuada del servicio público de agua potable constituye una herramienta para alcanzar el desarrollo sostenible y brinda una respuesta frente a la problemática alrededor del recurso hídrico, el ejercicio de la función administrativa debe satisfacer los fines estatales, el servicio a la comunidad y garantizar los derechos constitucionales (Gallo, 2019).

El control, monitoreo y mantenimiento es un pilar esencial en un sistema de abastecimiento de agua, permite a las entidades garantizar un servicio de calidad, eficiente y controlar problemas de pérdidas por daños en el sistema. La gestión de las necesidades de mantenimiento de estos sistemas involucra a múltiples partes interesadas y requiere un proceso de análisis para encontrar una solución (Sousa & Costa, 2020).

Una red de sensores inalámbricos basado en IoT permite a las empresas prestadoras del servicio muestrear y probar automáticamente la calidad del agua e intervenir de forma oportuna para mitigar posibles amenazas, disminuir los costos de mano de obra, equipos de muestreo y la reducción de productos químicos utilizados en laboratorio para garantizar los estándares de calidad del agua (Sensus, 2012).

La tecnología IoT es una alternativa sostenible para las empresas prestadoras del servicio de agua, permite alcanzar rentabilidad financiera, que se proyecten a un futuro cada vez más limitado de recursos, es el momento para que los servicios públicos aprovechen esta alternativa de desarrollo y para alcanzar el éxito es necesario el esfuerzo colectivo de todas las partes interesadas en la gestión del agua (Sensus, 2012).

La PAPRAH representa un eje primordial para el desarrollo de la zona sur del país, la empresa municipal regional de agua potable Arenillas-Huaquillas con su servicio permite cubrir la demanda y preservar la salud de sus habitantes, busca un equilibrio económica, social y ambiental en su gestión, por lo cual el presente proyecto ofrece un estudio de mejora que permitirá continuar con esa línea de gestión, mayor eficiencia operativa y calidad del servicio (EMRAPAH, 2020).

Capítulo II

Fundamentos Teóricos

Marco Epistemológico

Carrera-Villacrés *et al.* (2020), fabricaron un colector de niebla con una torre de condensación que puede capturar hasta 20 litros de agua por metro cuadrado de malla, instalaron en la torre un nodo sensor LoRa basado en IoT para monitorear parámetros de temperatura, humedad, velocidad del viento, intensidad de luz, nivel de agua captada. Los datos se envían a través de LoRa WAN a un servidor de redes IP en la Universidad de Berna en Suiza y permite en tiempo real el acceso en línea a datos ambientales de la zona del volcán Ilaló, región de los Andes del Ecuador.

Subramaniam *et al.* (2019), realizaron el monitoreo de la calidad del agua con IoT, el sistema tiene el potencial de reducir el tiempo de respuesta a diferencia con la recolección manual de muestras, dado que la naturaleza de IoT es de bajo costo y poco espacio, la implementación representó un costo mínima. Se instalaron sensores para medir turbidez, temperatura, pH, sólidos disueltos de varias fuentes de agua, los resultados se registraron en tiempo real y realizaron predicciones en base a datos históricos, evidenciando que estos sistemas pueden actuar de manera proactiva para reducir los riesgos de calidad del agua.

Shirode *et al.* (2018), implementaron un sistema de monitoreo de la calidad del agua basado en IoT, receptando datos de pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, en tiempo real a través de varios sensores, mediante un módulo Wi-Fi transfirieron los datos recopilados a un microcontrolador y un computador. El sistema permite monitorear los niveles de contaminación en los cuerpos de agua y enviar advertencias inmediatas a la población para prevenir enfermedades causadas por el agua contaminada y la presencia de metales.

Marco Conceptual

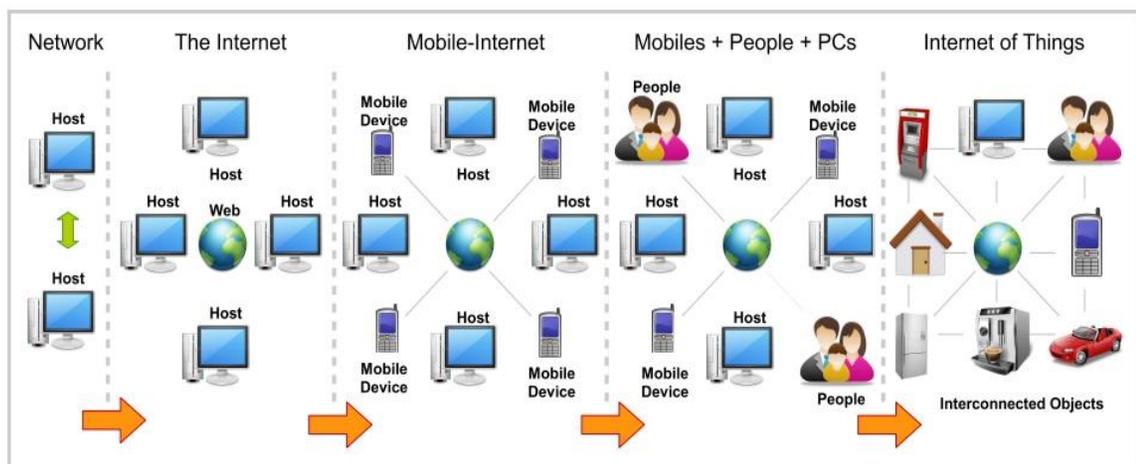
Internet de las cosas

La revolución industrial permitió el acceso a máquinas, fábricas, electricidad, seguido de la revolución de internet que trajo el acceso sin precedentes a la información y comunicación digital, estas dos olas de innovación permiten experimentar en el mundo un cambio metamórfico denominado "Internet Industrial" ocasionando que máquinas, analítica web y creatividad humana se junten para facilitar y mejorar la eficiencia de los procesos (Annunziata, 2013).

El británico Kevin Ashton autor del término "Internet of Things" con sus siglas en inglés "IoT", es quién desarrolló las primeras investigaciones en este campo, como director ejecutivo de Auto-ID Labs habló en conferencias e hizo presentaciones que promocionaron y recaudaron millones de dólares de patrocinadores corporativos como PepsiCo, Tesco, Walmart, entre otros; promovió además la tecnología RFID (Radio Frequency Identification) pasiva de frecuencia alta de bajo costo y los estándares de red para compartir datos (Roberti, 2013).

Se presenta en la Figura 2 la evolución de internet, una transición marcada por cinco etapas, las primeras responden a la conexión entre dos o más computadoras por medio de redes informáticas e internet, la tercera incluye la conexión de dispositivos móviles a internet, las personas se unieron a internet mediante redes sociales en la cuarta etapa, y finalmente la conexión de objetos a internet o IoT (Perera *et al.*, 2015).

Existen objetos que tienen componentes electrónicos integrados y están conectados a internet, permitiendo la comunicación entre personas y objetos para un fin determinado (Matta & Pant, 2019), el IoT está evolucionando la industria, mediante la interconexión de máquinas de forma autónoma se logra maximizar la eficiencia energética, y sensores en piezas de máquinas permiten recopilar datos y realizar mantenimientos predictivos (IRENA, 2019).

Figura 2*Evolución de internet*

Nota: La figura presenta la transición de internet haciendo posible la interconexión de este con equipos, personas y cosas. Tomado de *A survey on internet of things from industrial market perspective* (p.4), por Perera *et al.*, 2015.

El IoT mejorará muchas de las grandes ciudades del mundo, mientras que otras que lo ignoren se volverán menos productivas. El patrón de crecimiento de las ciudades que adopten la tecnología incluirá aplicaciones simples al principio, luego una evolución de complejidad y uso en todas partes (Ashton, 2013). Investigadores y organizaciones definen el IoT según sus perspectivas, entre ellas se cita las siguientes:

- Es una red de objetos físicos, dispositivos y otros elementos integrados con electrónica, software y conectividad de red, para recopilar e intercambiar datos relacionados con aspectos del mundo real, alcanzando eficiencia y optimizando recursos (ITU, 2015).
- Es una red inteligente que conecta todo a internet, para intercambiar datos y comunicarse con dispositivos de detección según los protocolos designados, incrementa la interacción con aplicaciones y personas a través de la combinación de hardware, software, datos y servicio de red (Chen *et al.*, 2014).

- Es una red global dinámica con capacidades de autoconfiguración basadas en protocolos de comunicación estándar, donde cosas físicas y virtuales tienen identidades, atributos y utilizan interfaces en redes de información (IERC, 2014). Las características de la tecnología IoT para adquirir, procesar, enviar y presentar datos de interés, se describe en la Tabla 1.

Tabla 1*Características del IoT*

Característica	Descripción
Interconectividad	Facilidad para enlazar objetos físicos con el entorno de datos y comunicación.
Servicio	Servicios para administrar dentro de los requisitos de las cosas y coherencia entre cosas físicas y virtuales.
Heterogeneidad	Sensores que se desarrollan en diferentes etapas y redes de hardware, compatibles con miles de dispositivos.
Dinámico	Sensores que cambian de un estado a otro, asociados o separados, además el número de equipos puede cambiar progresivamente.
Escalable	El control de dispositivos y la comunicación entre sí, tendrá al menos un orden de magnitud mayor que los dispositivos actualmente conectados a internet.
Seguridad	Permite personalizar y asegurar puntos finales, redes y datos, creando una seguridad confiable.
Conectividad	El IoT permite tener accesibilidad para ingresar a una red, y compatibilidad para recibir y enviar datos.

Nota: Esta tabla presenta las mejoras que ofrece el IoT para implementar sistemas de automatización. Fuente: Mahadevan & Vijayakumar, 2020.

Arquitectura IoT

Está conformado por niveles o capas tecnológicas esenciales para IoT, permite diseñar e ilustrar la interconectividad entre varias tecnologías, comunicar la escalabilidad, modularidad y configuración de implementaciones en diferentes escenarios (Patel *et al.*, 2016), sus características implican funcionalidad, disponibilidad y facilidad de mantenimiento, no existe un acuerdo único y general con la arquitectura IoT, sin embargo, las cuatro capas principales según las mejoras y desafíos son: aplicación, procesamiento de datos, puerta de enlace y sensor (hIOTron, 2020).

- **Capa de Aplicación:** Representa todas las aplicaciones en las que se ha implementado el IoT, como hogares inteligentes, ciudades inteligentes, entre otros. Es la interfaz entre dispositivos finales de IoT y la red, tiene la facultad de ofrecer servicios a las aplicaciones, estos pueden ser diferentes para cada propósito, debido a los servicios basados en la información o datos recopilados por los sensores (hIOTron, 2020).
- **Capa de Procesamiento de Datos:** Cumple dos funciones, la primera confirmar que los datos recibidos son enviados por usuarios auténticos, la autenticación de usuarios y datos es posible mediante el uso de claves y contraseñas previamente definidas; la segunda es enviar datos a la capa de red, esta transferencia de información puede ser de forma inalámbrica o por cable (hIOTron, 2020).
- **Capa de Red:** Es un puente de enlace que transporta y transmite de forma inalámbrica o por cable datos detectados y recopilados de objetos físicos a través de sensores. Conecta los dispositivos de red y las redes entre sí, por lo que, es extremadamente sensible a intromisiones informáticas, generando serios problemas de seguridad con respecto a la integridad y autenticación de datos que se transmiten a la red (hIOTron, 2020).

- Capa de sensor: Es responsable de reconocer cosas y recopilar los datos de ellas, existen varios tipos de sensores para diferentes propósitos, estos sensores conectados a objetos inteligentes o de forma directa recopilan información mediante identificación por radiofrecuencia, sensores, códigos de barras (hIOTron, 2020).

Los sensores permiten la interconexión del mundo físico y digital, recopilando y procesando en tiempo real datos de temperatura, calidad del aire, humedad, presión, flujo, etc. Pueden tener un grado de memoria para registrar un número específico de lecturas, pueden medir una propiedad física y convertirla en una señal comprensible para un instrumento, según su propósito se clasifican en sensores ambientales, corporales, para electrodomésticos y para vehículos y máquinas, etc. (Patel *et al.*, 2016).

Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son redes informáticas que utilizan ondas electromagnéticas para transportar datos entre dispositivos a través de las diversas partes de la red (Tech-FAQ, 2020). El espectro electromagnético permite a través del aire enviar y recibir señales de radio, televisión, luz visible, rayos X y rayos gamma, parte del espectro está regulado por gobiernos y autorizado a organizaciones para aplicaciones específicas, otras áreas del espectro son privadas y públicas como la banda infrarroja y banda de radiofrecuencia (Harrington, 2015).

La banda infrarroja permite comunicaciones de corto alcance y línea de visión, ya que no puede atravesar paredes u otros obstáculos, este tipo de conexión uno a uno transporta datos entre PDA (Personal Digital Assistant) y computadoras, dispositivos de control remoto y teclados inalámbricos; mientras que la banda de radiofrecuencia permite comunicaciones de mayor alcance, pueden atravesar paredes y otros obstáculos, como comunicaciones telefónicas móviles, redes inalámbricas (Harrington, 2015).

Las redes inalámbricas pertenecen a las áreas tecnológicas de más rápido crecimiento en telecomunicaciones, los costos y tiempo de su implementación es drásticamente menor que el de las redes cableadas (Tech-FAQ, 2020), las redes inalámbricas y sus aplicaciones están relacionadas con todos los aspectos de la vida, además que están destinadas a convertirse en la infraestructura más importante de la sociedad de la información global del siglo XXI (Ji, 2017).

Existen varios tipos de redes inalámbricas, redes fijas por comunicación a través de antenas estáticas o redes móviles por comunicación mediante antenas que cambian de ubicación constantemente, los principales tipos de redes inalámbricas según los pasajes que siguen, rangos y tecnología utilizada son: área personal, área local, área metropolitana y área amplia (Tech-FAQ, 2020).

- Red de área personal inalámbrica (WPAN): Conectan dispositivos en áreas reducidas con un alcance no mayor a diez metros, utilizado para interconectar dispositivos compatibles cerca de una ubicación central, entre las tecnologías tenemos radio Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, entre otras (CControls, 2020).
- Red de área local inalámbrica (WLAN): El alcance de comunicación puede cubrir desde una habitación hasta un campus completo, utiliza cables para varios puntos de acceso que conectan a los usuarios de forma inalámbrica. El Wi-Fi está relacionado con esta tecnología, utilizado en redes domésticas, residenciales, comerciales y áreas al aire libre dentro de un rango corto (CControls, 2020).
- Red de área metropolitana inalámbrica (WMAN): Estas redes permiten interconectar varias redes WLAN, el estándar IEEE 802.16 se utiliza para implementaciones compatibles con WMAN, entre ellas WiMax con un alcance de 50 km y acceso por microondas, MMDS con un alcance de 100 km mediante frecuencia ultra alta, entre otras (Tech-FAQ, 2020).

- Redes inalámbricas de área amplia (WWAN): Cubren grandes áreas geográficas, transmite pequeños paquetes de datos entre dispositivos, principalmente a través de sensores, utiliza tecnologías de comunicación de redes celulares y redes de área amplia de baja potencia LPWAN (CControls, 2020).

Las redes LPWAN (Low Power Wide Area Networks) es el eje principal de IoT, sensores se comunican durante largos periodos de tiempo con requisitos de energía bajos. Existen diferentes redes LPWAN, desde el año 2013 opera la red comercial Sigfox, la red pública LoRaWAN desde el año 2016 y tecnologías 3GPP, LTE-M, NB-IoT, entre otras alternativas de comunicación inalámbrica para IoT (WND, 2019).

El IoT tiene una variedad de requisitos que dependen de largo alcance, bajo consumo de energía y conectividad rentable. La red LPWAN cumple estos requisitos y permite una rentabilidad superior a la telefonía móvil (Kaneva, 2019), ver Figura 3.

Figura 3

Consumo de energía y cobertura en redes inalámbricas



Nota: La figura presenta la marcada diferencia que posee LPWAN en consumo de energía y cobertura con respecto a otras redes. Tomado de *The Significance of a National Low Power Wide Area Network* (p.5), por Kaneva, 2019.

Capítulo III

Metodología

Sistema Regional Arenillas-Huaquillas

Previa coordinación con el gerente de EMRAPAH, en la tercera semana del mes de octubre del año 2020 se realizó el recorrido a las instalaciones de la PAPRAH y entrevistas con personal técnico encargado de las diferentes áreas, esto permitió conocer las condiciones técnicas del funcionamiento de la captación, planta de tratamiento, reservorios, líneas principales y el sistema de control y monitoreo empleado.

Captación

El sistema regional Arenillas-Huaquillas se abastece del río Arenillas, desde la captación a 0,50 km aguas arriba del río se encuentra un azud que permite derivar parte del cauce a través de un canal abierto hacia la estación de bombeo.

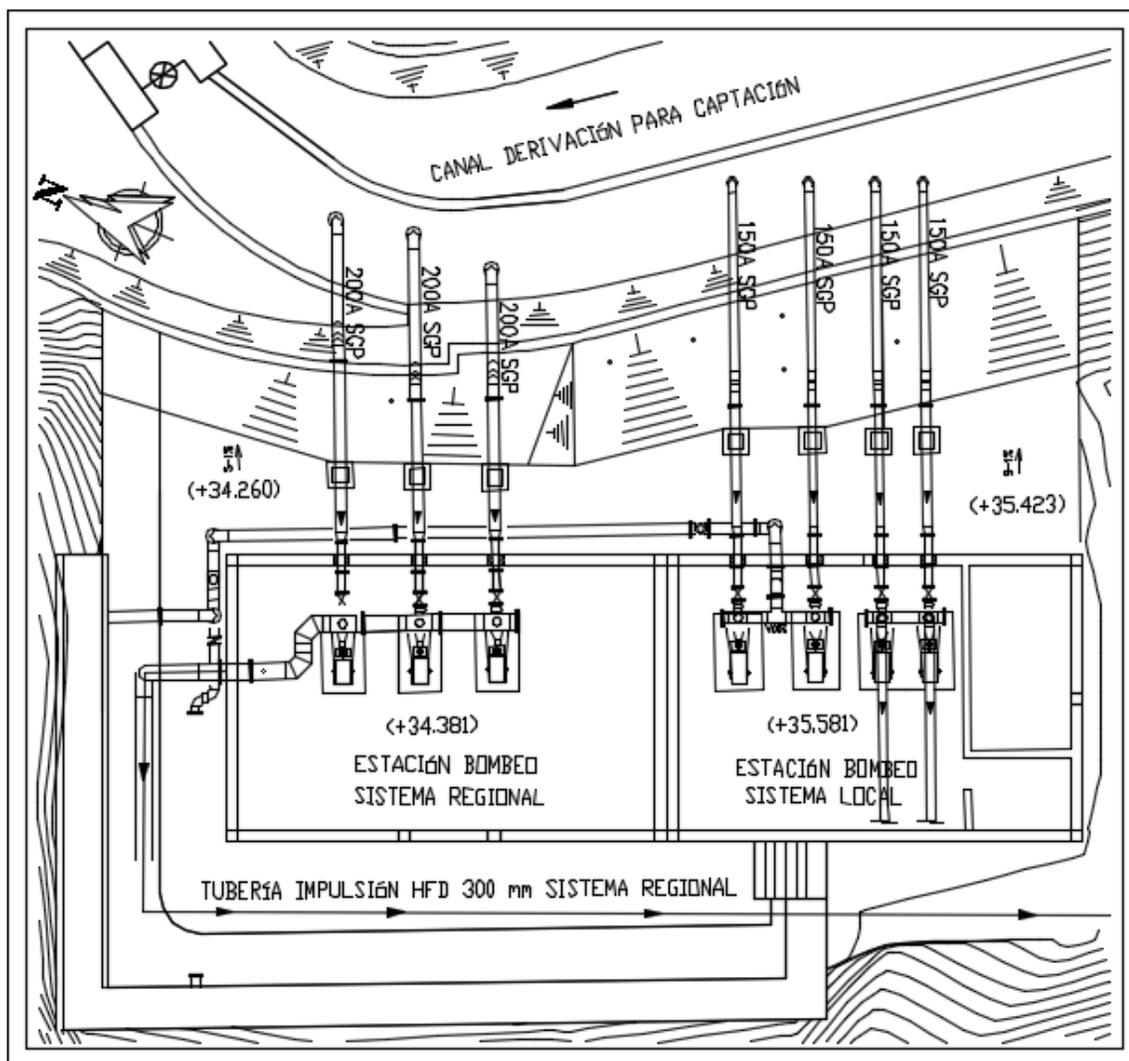
En la Figura 4 se presenta la vista en planta de la captación, esta se divide en dos áreas, la primera con tres bombas de 100 HP que operan para la PAPRAH ubicada en el sector Los Jardines, ver Tabla 2. La segunda con una bomba de 125 HP que opera para la planta de agua local ubicada en el sector Loma Quito. Las bombas operan de forma alternada y son monitoreadas por un técnico de la empresa permanentemente.

Tabla 2

Datos técnicos equipos de bombeo PAPRAH

Descripción	Unidad	Valor
Potencia	HP	100
Voltios	V	230 / 260
Frecuencia	Hz	60
Eficiencia	%	94,50
TDH	msnm	800

Nota: La tabla presenta información de interés de las bombas.

Figura 4*Vista en planta captación*

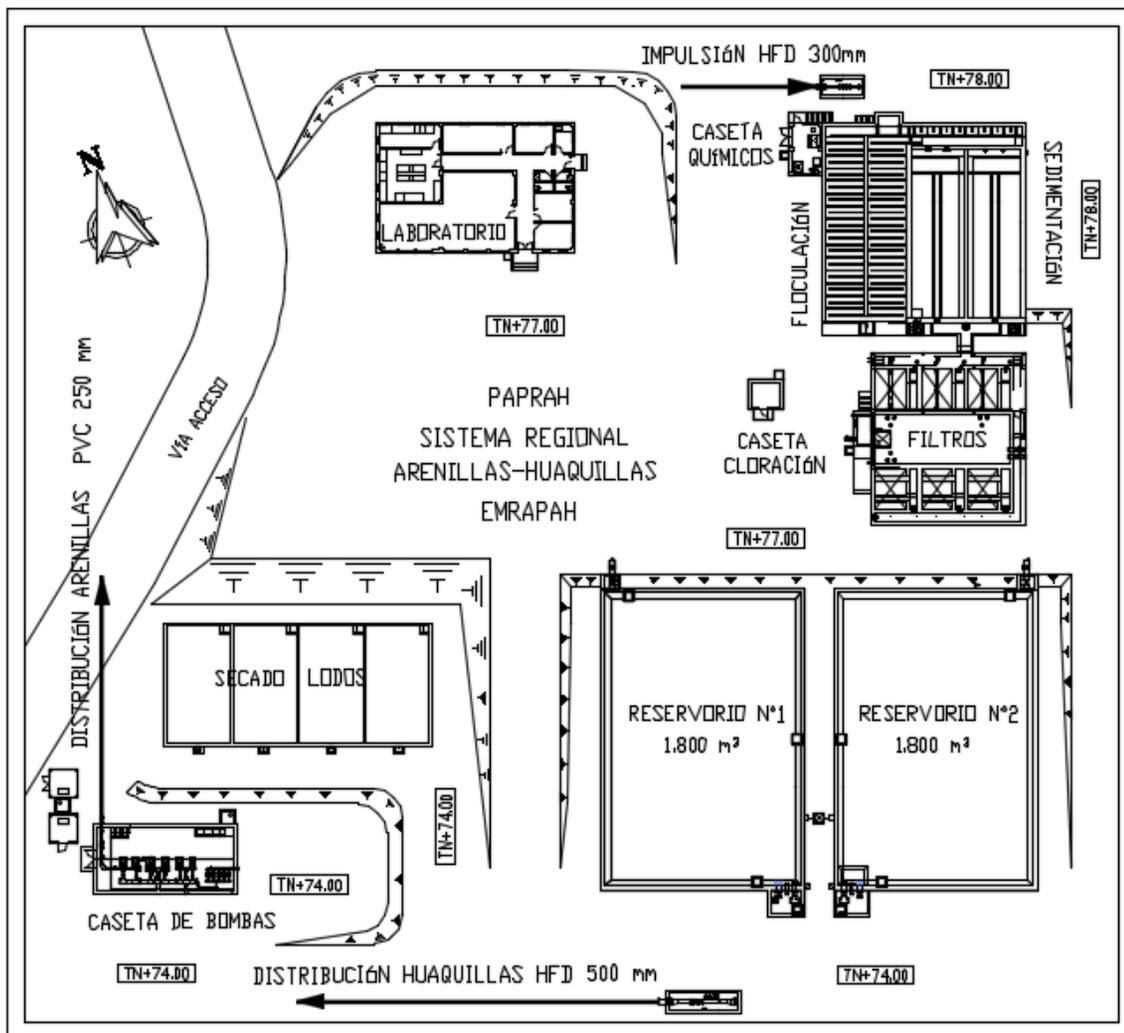
Nota: La figura presenta la ubicación de los componentes del sistema de bombeo de la captación. Fuente: EMRAPAH, 2020.

Planta de tratamiento

La PAPRAH se encuentra en el sector Los Jardines del cantón Arenillas, a una altura de 75 msnm en una extensión de 1,20 hectáreas, Figura 5; este sistema potabiliza 0,11 m³/s de agua para abastecer a las poblaciones de Arenillas y Huaquillas a través de la empresa municipal regional EMRAPAH.

Figura 5

Vista en planta de PAPRAH



Nota: La figura presenta la ubicación de los componentes de la planta de tratamiento. Fuente: EMRAPAH, 2020.

El proceso de potabilización inicia en la caseta de químicos, donde cada 24 horas se mezcla 75 kg de cloruro de polialuminio (PAC) en un metro cúbico de agua y se adiciona en el flujo previo ingreso a la zona de floculación. Finalizado el proceso químico de coagulación-floculación el agua pasa al sedimentador para separar las partículas en suspensión por decantación. Los sedimentos son descargados en los lechos de secado y luego trasladados al relleno sanitario de Arenillas para su disposición final.

Posterior a la decantación, el agua pasa por un proceso de filtración a través de seis cámaras de filtros que operan de forma simultánea. Un sistema de cloración a gas cada 24 horas adiciona 58,29 Kg de cloro al agua durante el proceso de potabilización y finalmente el agua potable es almacenada en reservorios previo a su distribución.

En la edificación está el laboratorio para el análisis de calidad del agua, donde se monitorea diariamente el cumplimiento de la norma NTE INEN 1108. Cuenta con un sistema de bombeo para el retrolavado de filtros, distribución hacia el reservorio sector Loma Quito y redes internas de la planta de tratamiento.

Reservorios

El sistema regional Arenillas-Huaquillas cuenta con dos reservorios en la PAPRAH con capacidad de 3 600 m³ para abastecer a las dos ciudades y un reservorio de 500 m³ ubicado en el sector Loma Quito para distribución interna de Arenillas.

Línea de captación y distribución

El sistema regional opera con tres líneas principales, línea de captación, línea de distribución Arenillas y línea de distribución Huaquillas, Tabla 3.

Tabla 3

Líneas de captación y distribución

Línea	Tipo	Material	Diámetro (mm)	Longitud (km)
Captación	Impulsión	HFD	300	0,28
Distribución Arenillas	Impulsión	PVC	250	1,06
Distribución Huaquillas	Gravedad	HFD	500	19,43

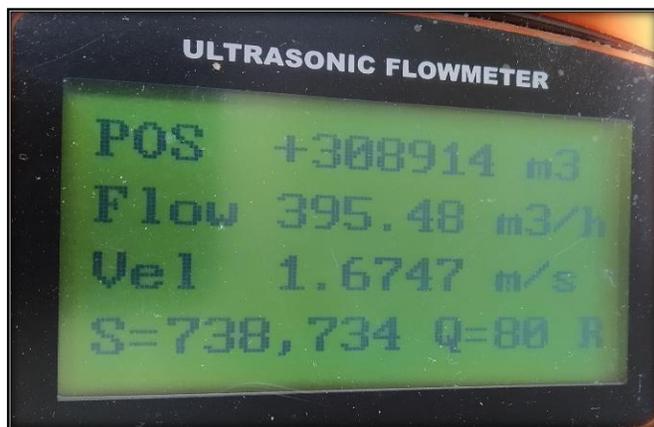
Nota: La tabla presenta información técnica de las tuberías.

Durante la visita de campo se realizó mediciones para detectar el caudal en la línea de captación y distribución de la PAPRAH, con el apoyo de un técnico de EMRAPAH y un caudalímetro de ultrasonido portátil de propiedad de la empresa.

La línea de captación de 300 mm transporta por impulsión el agua captada del río Arenillas desde la cota 36,73 hasta la cota 76,06 al ingreso del floculador de la PAPRAH, el equipo de medición detectó un caudal de 395,48 m³/h, Figura 6.

Figura 6

Lectura de caudal en línea HD de 300mm

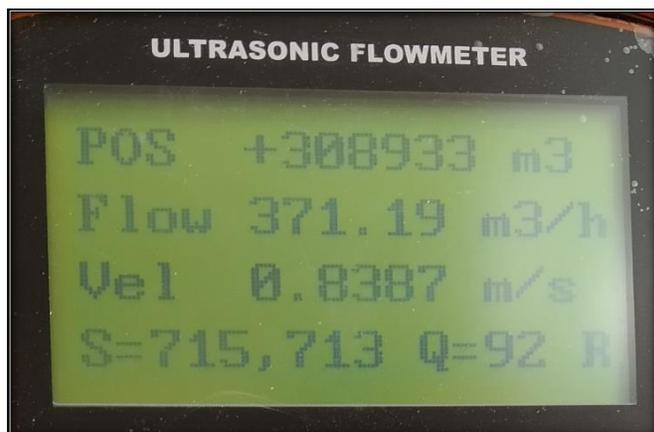


Nota: La figura presenta la pantalla del caudalímetro ultrasonido

La línea de distribución de 500 mm transporta a gravedad el agua potable desde la cota 69,23 en la PAPRAH hasta la cota 10,82 al ingreso de la caseta de control en Huaquillas, el equipo de medición detectó un caudal de 371,19 m³/h, Figura 7.

Figura 7

Lectura de caudal en línea HD de 500mm

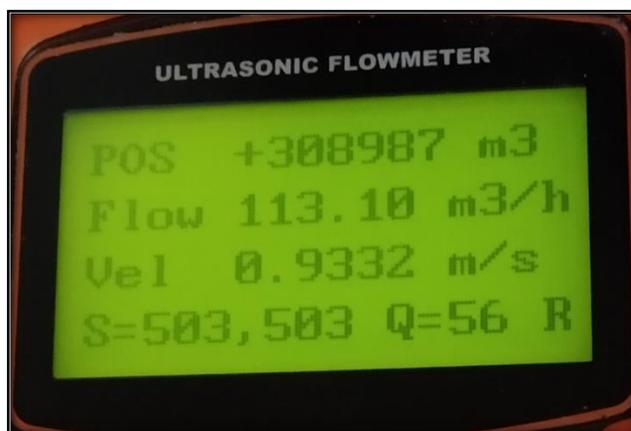


Nota: La figura presenta la pantalla del caudalímetro ultrasonido

La línea de distribución de 250 mm transporta por impulsión el agua potable desde la cota 71,65 en la PAPRAH hasta la cota 88,30 al ingreso del reservorio de 500 m³ sector Loma Quito, el equipo de medición detectó un caudal de 113,10 m³/h, Figura 8.

Figura 8

Lectura de caudal en línea PVC de 250mm



Nota: La figura presenta la pantalla del caudalímetro ultrasonido

El resumen de datos obtenidos con el caudalímetro de ultrasonido portátil en la línea de captación y distribución de la PAPRAH se presenta en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Datos detectados por el caudalímetro de ultrasonido

Indicadores	Línea 300 mm Captación	Línea 250 mm Distribución Arenillas	Línea 500 mm Distribución Huaquillas
Totalizador "POS"	+308914 m ³	+308987 m ³	+308933 m ³
Caudal (m ³ /h)	395,48	113,10	371,19
Velocidad (m/s)	1,6747	0,9332	0,8387
Potencia Señal "S"	738 734	503 503	715 713
Calidad Señal "Q"	80	56	92
Estado	R	R	R

Nota: La tabla presenta el resumen de las mediciones de campo

Control y monitoreo

La metodología empleada por EMRAPAH para el control y monitoreo del funcionamiento de la PAPRAH inicia bajo la dirección del jefe de laboratorio, quien coordina con su asistente y técnicos de campo los puntos de muestreo. A continuación, se procede a la toma y transporte de muestras de agua al laboratorio para su análisis, no existe ningún sistema automatizado para este proceso y diariamente se requiere de personal, recursos y tiempo para su ejecución.

Facturación del Servicio

La empresa EMRAPAH no realiza la facturación mensual por micromedición, el Registro Oficial N°407 define el cobro de tarifas mensuales por categorías, doméstico \$4,79 dólares, comercial \$13,75 dólares, industrial \$37,50 dólares y pública \$2,88 dólares (EMRAPAH, 2020). El consumo efectivo de agua no es facturado a los usuarios y no refleja los verdaderos costos que representa potabilizar y distribuir el agua.

Capítulo IV

Resultados

Proveedores IoT

Desde la segunda semana del mes de junio del año 2020 se realizó el acercamiento con diferentes proveedores que desarrollan soluciones de control, monitoreo y automatización de procesos con tecnología IoT. Estas empresas realizan el servicio de suministro, montaje y puesta en marcha de proyectos integrales, según el tipo de implementación requerida.

Se realizó la presentación del sistema regional Arenillas-Huaquillas a los proveedores IoT y la mejora que se propone implementar. Esta comunicación e intercambio de información expuso varias soluciones para la implementación de un sistema automatizado de control y monitoreo con IoT.

La información recabada del estudio de mercado permitió diseñar dos alternativas de automatización con IoT. A continuación, se realiza la descripción técnica de estas según su arquitectura IoT, tipo de puerta de enlace, servidor de red y aplicación, tipo de sensores, almacenamiento, entre otros aspectos relevantes.

Alternativa A

Esta alternativa propone una red inalámbrica LPWAN, con un protocolo de comunicación LoRaWAN, que opera en un espectro de radio sin licencia, sin costo por derechos de transmisión, diseñado para permitir que dispositivos de baja potencia se comuniquen con aplicaciones conectadas a internet de forma inalámbrica y de largo alcance (LoRaWAN, 2020).

La arquitectura de LoRaWAN está conformada por sensores con dispositivos integrados de comunicación de bajo consumo eléctrico, puertas de enlace que reciben y envían datos, servidor de red que enrutan mensajes desde sensores a la aplicación o viceversa y aplicaciones que se ejecutan en un servidor (LoRaWAN, 2020).

Sensores. Los dispositivos propuestos son paramétricos de fácil montaje, con carcasas resistentes a la intemperie y fabricados especialmente para el monitoreo de calidad del agua. El consumo de energía es de 5 a 12 voltios que puede ser alimentado de forma directa o batería. Las fichas de datos del fabricante que detallan tipo, rango, autonomía, entre otras características se encuentra en el Anexo A.

Los sensores de oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad, pH y temperatura deben estar conectados a un módulo de comunicación de 3,6 voltios. Este complemento registra y transmite a través de LoRaWAN datos detectados por sensores a las puertas de enlace (AQUALABO, 2020). La ficha de datos del fabricante que detallan el tipo, rango, autonomía, entre otras características se encuentra en el Anexo B.

El analizador de cloro libre, sensor de presión de flujo y medidor de caudal deben estar conectados a un módulo de comunicación de 5 a 24 voltios. Este complemento transmite a través de LoRaWAN datos detectados por los sensores a las puertas de enlace (Ursalink Technology, 2020). La ficha de datos del fabricante que detallan el tipo, rango, autonomía, entre otras características se encuentra en el Anexo C.

Puerta de Enlace. La puerta de enlace LoRaWAN permite una comunicación de alta escalabilidad y admite miles de dispositivos que envían y reciben datos, tiene un alcance de 11 km en zonas abiertas y 1 km en zonas densas (Ursalink, 2020). Esta alternativa propone tres equipos, en la PAPRAH, reservorio 500 m³ y caseta de control Huaquillas. La ficha de datos del fabricante que detalla capacidad de memoria, protocolos de red, conectividad, entre otras características se encuentra en el Anexo D.

Servidor de Red. Esta alternativa propone aprovechar la tecnología de Ursalink Cloud como servidor de red para el procesamiento de datos. Adicional LoRaWAN posee un servidor de red integrado que permite el procesamiento de datos y alta compatibilidad con varios servidores de red de terceros como The Things Network, LORIoT, ChirpStack, Orbiwise, entre otros (Ursalink, 2020),

Servidor de Aplicación. De la misma forma que el servidor de red, esta alternativa considera como servidor de aplicación a Ursalink Cloud, esta tecnología permite facilitar la recopilación y almacenamiento de datos, integración de dispositivos a internet para ser controlados y monitoreados desde cualquier lugar en tiempo real, enviar alertas, exportar y compartir información, confidencialidad y confiabilidad a través de AWS, entre otras mejoras (Ursalink Cloud, 2020). Está disponible en versión libre y privada, las características de estas versiones se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Plan Ursalink Cloud

Característica	Libre	Contratado	
Costo mensual	-	19 USD	79 USD
Nodos y puertas de enlace	5	20	100
Cuadros de mando	1	5	
Widgets por panel	20	20	
Intervalo de reportes	10 min	5 min	
Verificar historial de datos	1 mes	12 meses	
Descargar historial de datos	1 mes	3 meses	
Destinatarios de alerta	1	5	
Alerta por correo electrónico	10	1000	
Reporte diario/semana/mes	-	Sí	
Reporte por dispositivo	-	20	
Contactos compartidos	-	5	
Aplicación móvil	Sí	Sí	

Nota: La tabla presenta la diferencia del servicio de aplicación en versión libre y contratado. Fuente: (Ursalink Cloud, 2020)

Alternativa B

De la misma forma que la alternativa A, esta alternativa propone una red inalámbrica LPWAN, con un protocolo de comunicación LoRaWAN.

Sensores. Esta alternativa plantea la instalación de cuatro sondas multiparamétricas que admiten sensores intercambiables para detectar parámetros según el requerimiento, posee una interfaz que facilita su calibración y precisión en la toma de datos, para verificaciones puntuales o remotas en muestreos de bajo flujo, reservorios, lagos o aguas pluviales a largo plazo (In-Situ, 2020).

Los componentes de la sonda son: parachoque en los extremos para protección contra golpes, instrumento, motor de limpieza, cámara para cuatro sensores, carcasa de titanio resistente a la corrosión y entornos hostiles, tapa de extremo, conector de mamparo (In-Situ, 2020). La ficha de datos del fabricante que detallan el tipo, rango, precisión, entre otras características se encuentran en el Anexo E y Anexo F.

El medidor de presión en tuberías es similar al planteado en la alternativa A, así como el medidor de caudal no invasivo y el módulo de comunicación inalámbrico para cada sensor. Esta alternativa considera el uso de paneles solares de respaldo de 50W/12V de policristalino 36 células.

Puerta de Enlace. Esta alternativa propone instalar dos puertas de enlace LoRaWAN, una en la PAPRAH y otra en la caseta de control Huaquillas. Este equipo es de similares características al propuesto en la alternativa A.

Servidor de Red. Esta alternativa propone aprovechar la tecnología de URSALINK Cloud como servidor de red para el procesamiento de datos, tecnología que también es planteada en la alternativa A.

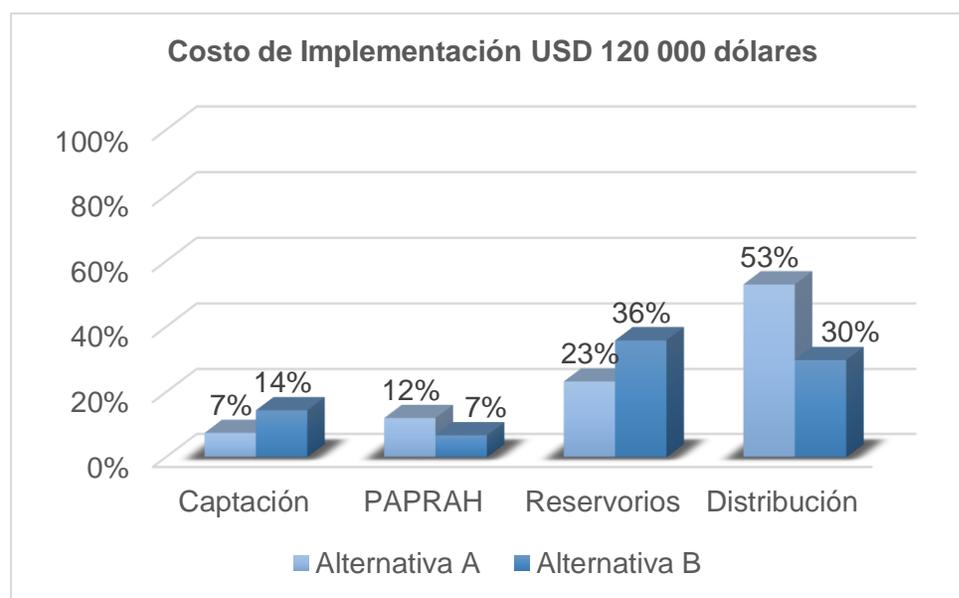
Servidor de Aplicación. Esta alternativa propone URSALINK Cloud como servidor de aplicación, tecnología que también es considerado por la alternativa A.

Costo de implementación

El costo directo para el suministro, montaje y puesta en marcha de un sistema automatizado de control y monitoreo del funcionamiento de la PAPRAH basado en IoT, según el estudio de mercado realizado a proveedores IoT y las alternativas propuestas, asciende a 120 000 dólares. En la Figura 9 se presenta en porcentaje la oferta económica de las alternativas A y B por componentes.

Figura 9

Oferta económica de alternativas por componentes



Nota: La figura presenta la diferencia en porcentajes de los costos de implementación de las alternativas por componentes.

La Tabla 6 presenta los parámetros a medir por alternativa propuesta para cada componente del sistema regional Arenillas-Huaquillas, mientras que la Tabla 7 presenta el tipo de tecnología de las alternativas propuestas por capas IoT. Existe una diferencia en los sensores, la alternativa A propone un sensor para cada parámetro y la alternativa B una sonda que admite la detección de varios parámetros de forma consecutiva.

Tabla 6*Parámetros a medir de alternativas propuesta por componente*

Componente	Alternativa A	Alternativa B
Captación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensor oxígeno ✓ Sensor turbiedad ✓ Sensor conductividad ✓ Sensor pH ✓ Sensor nivel de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sonda multiparamétrica - Conductividad - pH - Turbiedad - Oxígeno disuelto ✓ Sensor nivel agua
PAPRAH	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensor cloro libre ✓ Sensor turbiedad ✓ Sensor pH ✓ Sensor nivel de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sonda multiparamétrica - Conductividad - pH - Turbiedad - Oxígeno disuelto ✓ Sensor nivel agua ✓ Sensor cloro residual
Líneas Capta-Distrib.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensor presión ✓ Sensor cloro libre ✓ Contador ultrasonido 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medidor ultrasónico

Nota: La tabla presenta la diferencia de las alternativas según los parámetros a medir por componentes.

Tabla 7*Tecnología de las alternativas propuestas por capas IoT*

Capa IoT	Alternativa A	Alternativa B
Sensor	✓ Sensor Paramétrico	✓ Sonda multiparamétrica
Puerta de enlace	✓ LoRaWAN	✓ LoRaWAN
Servidor de red	✓ LoRaWAN	✓ LoRaWAN
Servidor aplicación	✓ Ursalink Cloud	✓ Ursalink Cloud

Nota: La tabla presenta la diferencia de las alternativas según el tipo de tecnología propuesta por capas IoT.

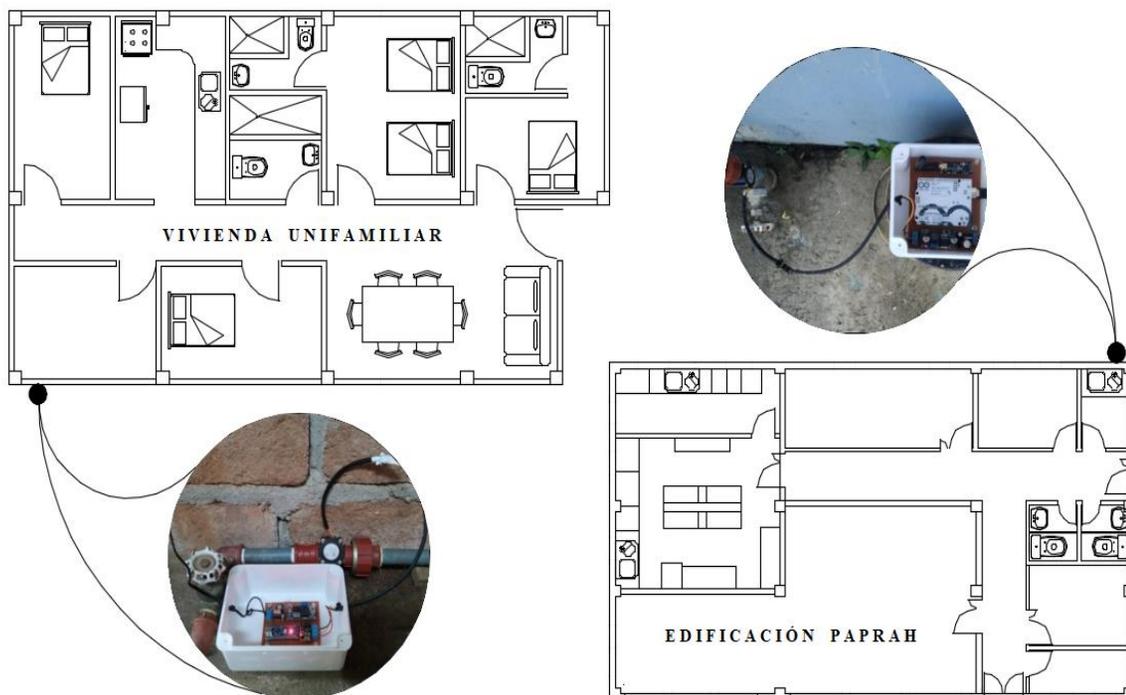
Proyecto Piloto IoT

Desde agosto del año 2020 en la ciudad de Lima-Perú se realizó el suministro de materiales, fabricación de placas de circuitos, montaje de componentes y etapa de prueba. A continuación, en octubre del año 2020 se llevó a cabo la instalación de los sensores del proyecto piloto, durante la visita de campo en la PAPRAH en Arenillas.

Los objetivos fueron diseñar e implementar a nivel piloto un sistema automatizado con IoT para detectar datos de consumo de agua potable en una acometida de diámetro 1/2" en la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar en la ciudad de Arenillas, en condiciones reales de cobertura de internet y energía que permita evidenciar el potencial del IoT para automatizar la ciudad en el futuro y reducir aguas no contabilizadas. Se presenta la ubicación del montaje de los sensores del proyecto piloto en la Figura 10.

Figura 10

Ubicación del montaje de sensores del proyecto piloto



Nota: La imagen presenta la vista en planta del montaje de los sensores del proyecto piloto en la ciudad de Arenillas.

Componentes

Sensor de Flujo. El sensor YF-S201 fabricado por UrukTech, está conformado de una carcasa de plástico, un rotor y un sensor de efecto "Hall". Al circular el agua a través del rotor, éste emite un pulso con cada revolución y su frecuencia de señal de salida viene dada por $f_{OUT} = k * Q$, Tabla 8 (Dialog Semiconductor, 2018). Las principales características del sensor y ficha de datos del fabricante se detallan en el Anexo G.

Tabla 8

Relación de señal de salida sensor de flujo YF-S201

Fórmula	Descripción
	f es la frecuencia en hercio (Hz)
$f_{OUT} = k * Q$	k factor de conversión del fabricante
	Q es el caudal en litros/minutos (L/min)

Nota: La tabla presenta las variables de la fórmula para calcular el caudal medido por el sensor de flujo. Fuente: Dialog Semiconductor, 2018

La Tabla 9 presenta el factor de conversión del fabricante, el mismo que varía según el modelo del sensor. Utilizar los valores por defecto no garantiza precisión, siendo necesario calibrar los sensores y ajustar este factor (NAYLAMP MECHATRONICS, 2020).

Tabla 9

Factor de conversión "k" por modelo de sensor

Modelo	Diámetro (pulgada)	Caudal (L/min)	Factor Conversión
YF-S201	1/2	1 – 30	7,5
FS300A	3/4	1 – 60	5,5
FS400A	1	1 – 60	3,5

Nota: La tabla presenta el factor de conversión por modelo de sensor. Fuente: NAYLAMP MECHATRONICS, 2020

Placa Arduino. La plataforma electrónica Arduino de código abierto, a través de su hardware y software permite desarrollar proyectos interactivos, mediante códigos de lenguaje de programación sus placas pueden recibir datos de sensores y controlar actuadores (Arduino, 2020).

La placa Arduino Uno tiene 14 pines de entrada y salida, seis entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, una entrada de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio (Arduino, 2020). Las principales características de las placas y fichas de datos del fabricante se detallan en el Anexo H.

Módulo Wifi ESP8266. Este módulo es un sistema en chip (SoC) diseñado para la comunicación inalámbrica, su procesador y almacenamiento integrado funciona como un microcontrolador independiente, que permite integrar sensores y dispositivos a través de redes Wi-Fi (Newark, 2020). Las principales características de este módulo y la ficha de dato del fabricante se detallan en el Anexo I.

Módulo NRF24L01. Este módulo inalámbrico es utilizado para transmisiones de datos a larga distancia, posee una banda de radio (ISM) sin licencia, un transceptor de 2,4 GHz de Nordic Semiconductor, un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito amplificador de bajo ruido (LNA), antena de conector SMA con polarización inversa para un rango de frecuencia (RF) máximo (Haitronic, 2020). Las principales características de este módulo y la ficha de datos del fabricante se detallan en el Anexo J.

Se adicionaron piezas y accesorios electrónicos que permiten una mejor eficiencia y acoplamiento de componentes, Tabla 10. Como carcasa de protección se utilizó cajas de plástico 150x110x70 mm con acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y poliestireno (PS) resistentes a impactos e intemperie. Se fabricó placas de circuitos impreso (PCB) que rempazan al cableado que interconecta los componentes, evitando errores por fallas de contacto. La proforma con la descripción, cantidad, precios unitarios de suministro de componentes, fabricación de placas y códigos de programación está en el Anexo K.

Tabla 10*Piezas y accesorios electrónicos del proyecto piloto*

Descripción	Modelo	Característica
Bornera 2 pines	KF301	Corriente máxima 10A
Bornera 3 pines	KF301	Corriente máxima 10A
Diodo rectificador	1N4007	Voltaje pico repetitivo 1000V
Condensador electrolítico	VR (M)	Capacitancia 2200 uF, 16V
Condensador electrolítico	VR (M)	Capacitancia 100 uF, 16V
Regulador de voltaje	LM7805	Entrada 7V-35V, salida fijo 5V
Módulo reductor de voltaje	LM2596	Entrada 4,5V-40V, salida 1,5V-35V
Interruptor palanca	Switch	Posiciones ON - ON
Cables macho-hembra	DUPONT	Longitud 20 cm, diámetro 2,54 mm
Tubo termo retráctil	RSFR-H	Diámetro 3,5 mm, resistente abrasión
Adaptador de corriente	TMEZON	Entrada 100V-240V, salida 12V-2A
Cable de conexión	USB	Conector Tipo A - Tipo B
Cable de conexión	USB	Conector Tipo A - Tipo Mini B

Nota: La tabla presenta los accesorios electrónicos que complementaron las placas de los sensores del proyecto piloto. Fuente: Ferretrónica, 2020

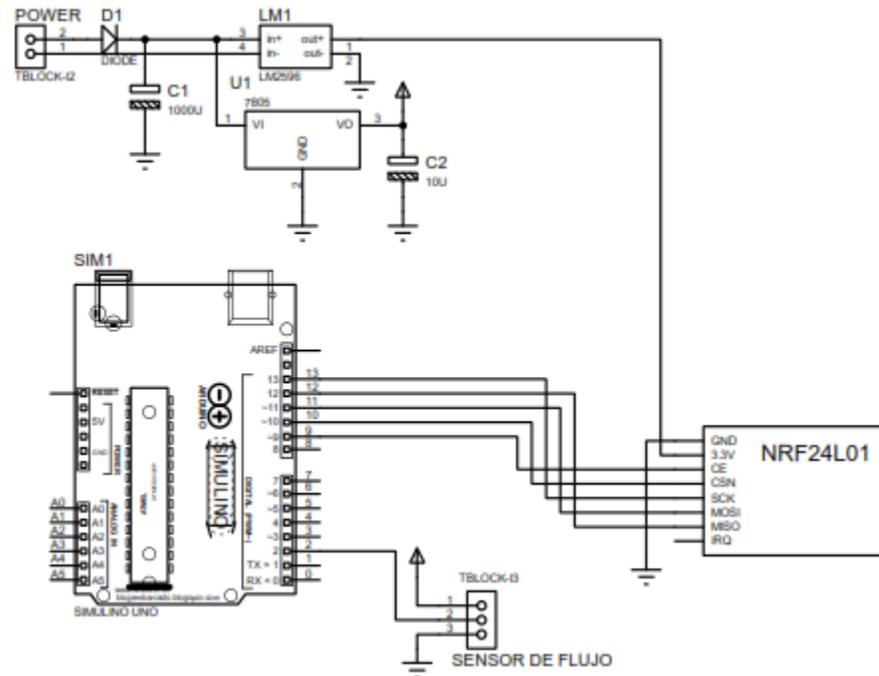
Montaje de componentes

Transmisor-Receptor. Este proyecto consta de dos placas, una placa transmisora que envía de forma inalámbrica datos de consumo de agua detectados por el sensor de flujo; la segunda placa recibe la información y la envía a través de internet a la aplicación ThingSpeak. La plataforma de análisis IoT ThingSpeak permite agregar sensores, visualizar y almacenar datos en tiempo real de forma libre o privada, facilita la creación de prototipos y construir sistemas IoT sin configurar servidores ni desarrollar software web (ThingSpeak, 2020).

Se presenta en la Figura 11 y Figura 12 los diagramas de conexión de la placa transmisor y receptor.

Figura 11

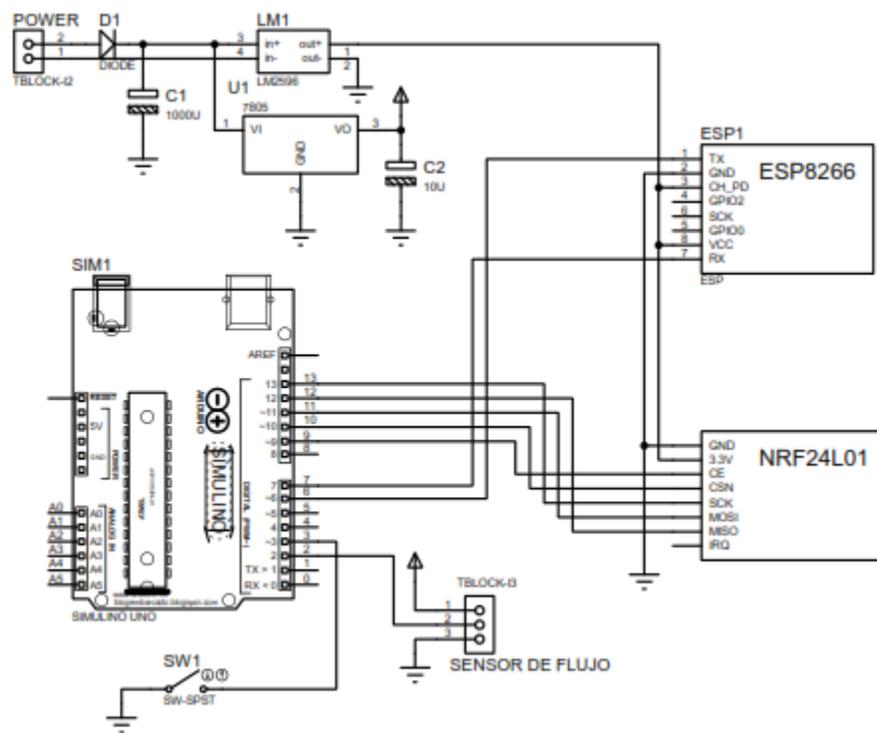
Diagrama de conexión placa transmisor



Nota: La figura presenta el diseño de la placa transmisor. Fuente: Electropar, 2020

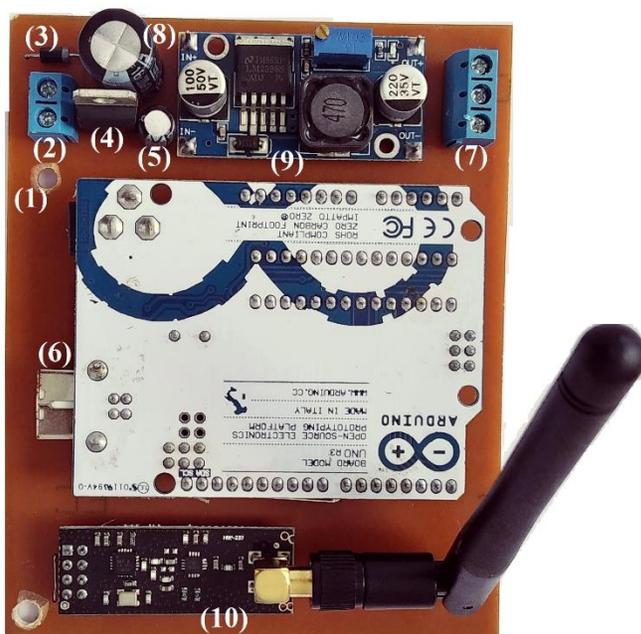
Figura 12

Diagrama de conexión placa receptor



Nota: La figura presenta el diseño de la placa receptor. Fuente: Electropar, 2020

El transmisor está conformado por una placa PCB, en ésta se encuentra una bornera de dos pines donde ingresa 12 V de alimentación por baterías recargables o adaptador de corriente, un diodo que ayuda a polarizar la corriente, un regulador de voltaje que envía 5V constantes por un condensador a la placa Arduino UNO, una bornera de tres pines para conectar un sensor de flujo que detecta y envía datos de consumo de agua al microcontrolador Arduino, un condensador para alimentar al módulo reductor de voltaje que envía 3.3 V al módulo radio, éste finalmente de forma inalámbrica envía la información al receptor, ver Figura 13 y Tabla 11.

Figura 13*Placa Transmisor*

Nota: La imagen presenta la placa transmisora ensamblada con sus componentes electrónicos.

Tabla 11*Componentes placa transmisor*

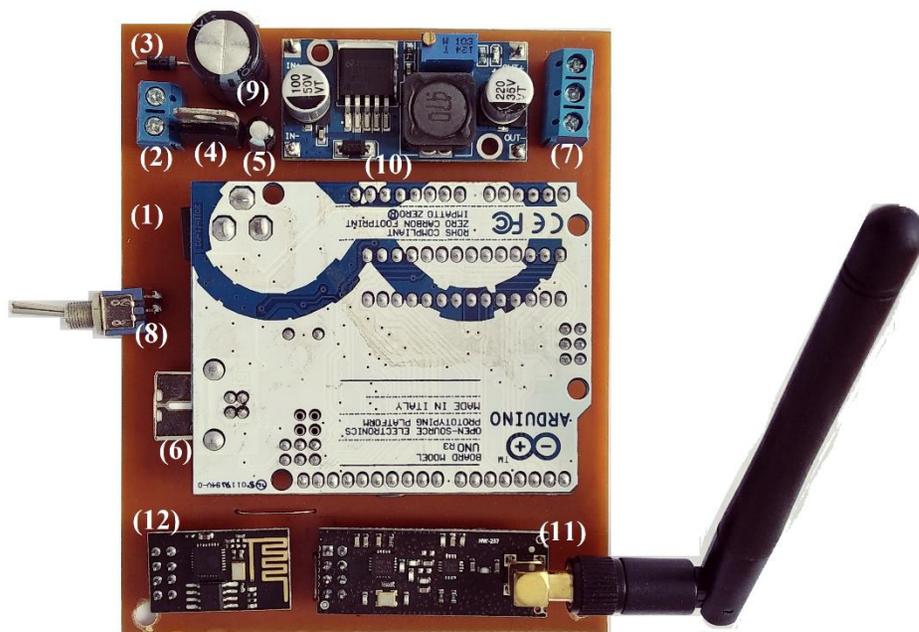
N°	Descripción	N°	Descripción
(1)	Placa circuito impreso (PCB)	(6)	Placa Arduino UNO
(2)	Bornera dos pines (+ / -)	(7)	Bornera 3 pines (+ / - / Señal)
(3)	Diodo rectificador 1N4007	(8)	Condensador 2200 uF, 16V
(4)	Regulador de voltaje LM7805	(9)	Reductor voltaje LM2596
(5)	Condensador 100 uF, 16V	(10)	Módulo Wifi ESP8266

Nota: La tabla presenta el listado de componentes electrónicos de la placa transmisor.

El receptor consta de una placa PCB, una bornera de dos pines donde ingresa 12 V de alimentación por batería o adaptador de corriente, un diodo para polarizar la corriente, un regulador de voltaje que envía 5V fijos por un condensador a la placa Arduino UNO, una bornera de tres pines para conectar un sensor de flujo (opcional), un interruptor para seleccionar la opción directo o receptor, un condensador con un módulo reductor de voltaje que envía 3,3 V al módulo radio que recibe los datos del transmisor, un módulo Wifi que se conecta al software Arduino a través de internet para procesar y enviar los datos a ThingSpeak, ver Figura 14 y Tabla 12.

Figura 14

Placa Receptor



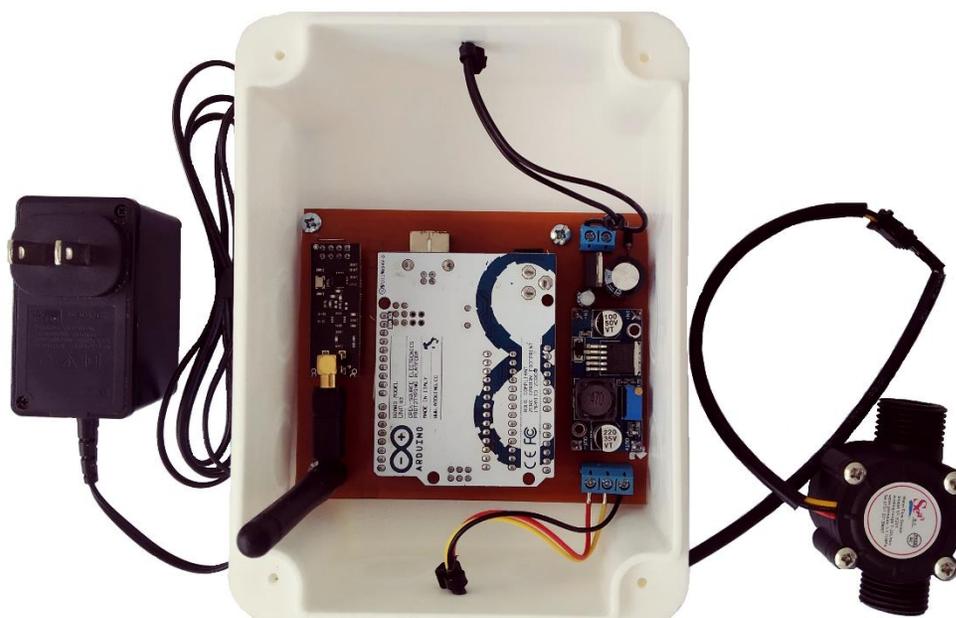
Nota: La imagen presenta la placa receptora ensamblada con sus componentes electrónicos.

Tabla 12*Componentes placa receptor*

N°	Descripción	N°	Descripción
(1)	Placa circuito impreso (PCB)	(7)	Bornera 3 pines (+ / - / Señal)
(2)	Bornera dos pines (+ / -)	(8)	Interruptor palanca (ON / ON)
(3)	Diodo rectificador 1N4007	(9)	Condensador 2200 uF, 16V
(4)	Regulador de voltaje LM7805	(10)	Reductor voltaje LM2596
(5)	Condensador 100 uF, 16V	(11)	Módulo NRF24L01 con antena
(6)	Placa Arduino UNO	(12)	Módulo Wifi ESP8266

Nota: La tabla presenta el listado de componentes electrónicos de la placa receptor.

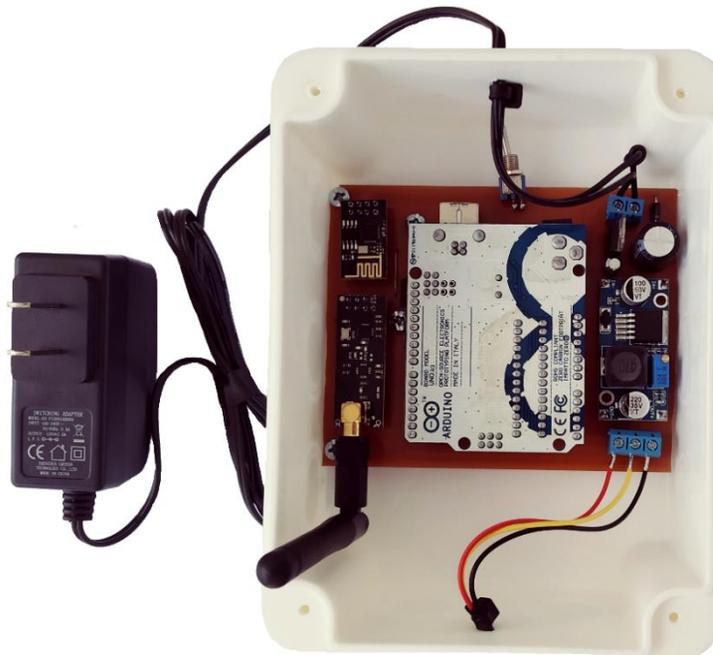
Se presenta las placas transmisor y receptor previo a su puesta en marcha en la Figura 15 y Figura 16. Además, en la Figura 17 se presenta su arquitectura IoT.

Figura 15*Placa Transmisor previo a su puesta en marcha*

Nota: La figura presenta el equipo de medición proyecto piloto.

Figura 16

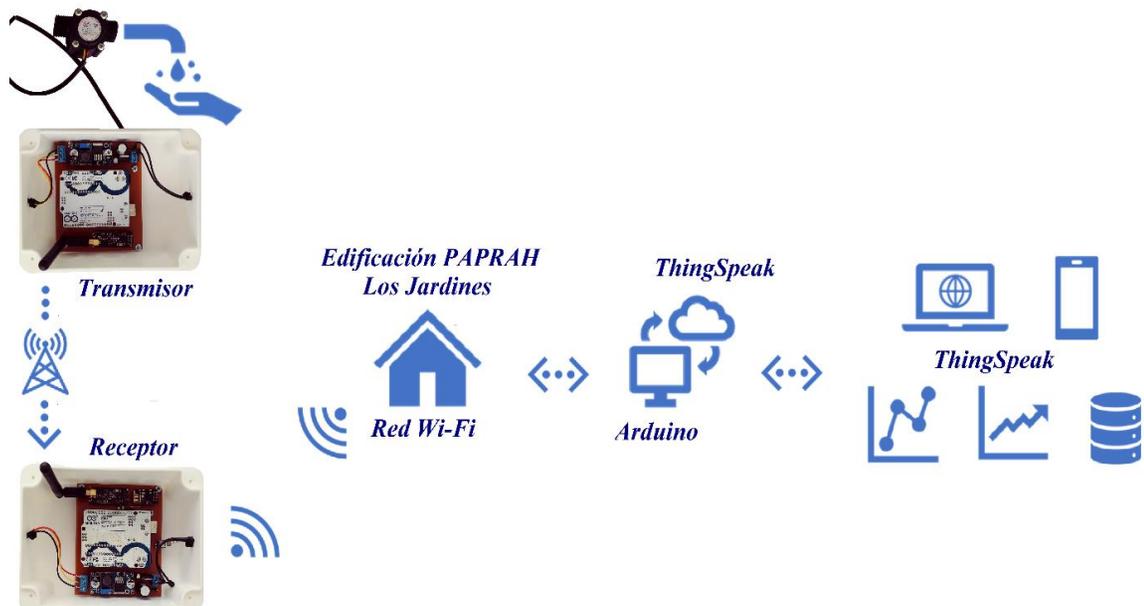
Placa Receptor previo a su puesta en marcha



Nota: La figura presenta el equipo de medición proyecto piloto.

Figura 17

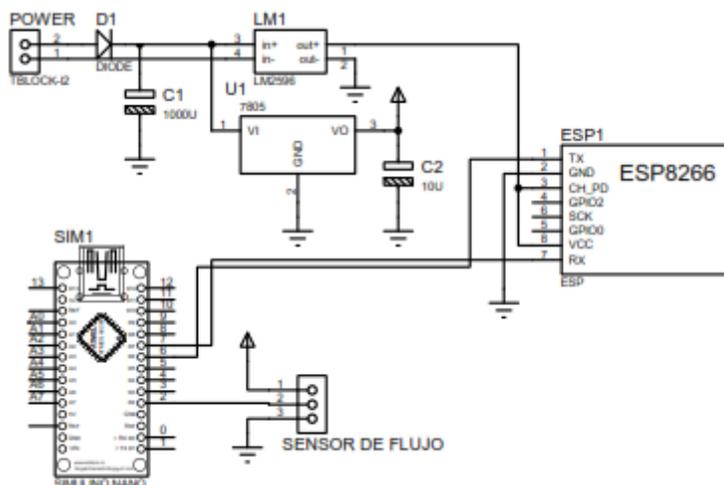
Arquitectura IoT proyecto piloto transmisor - receptor



Nota: La figura presenta el esquema de operación del proyecto piloto.

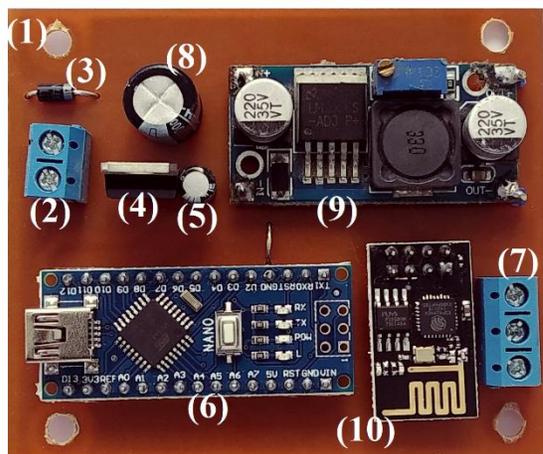
Directo. Este proyecto consta de una placa directa que envía a través de internet datos de consumo de agua detectados por el sensor de flujo a la aplicación ThingSpeak, se presenta en la Figura 18 el diagrama de conexión de la placa.

Figura 18



Nota: La figura presenta el diseño de la placa directa. Fuente: Electropar, 2020

Está conformado por una placa PCB, en ésta se encuentra una bornera de dos pines donde ingresa 12 V de alimentación por baterías recargables o adaptador de corriente, un diodo que ayuda a polarizar la corriente, un regulador de voltaje que envía 5V constantes por un condensador a la placa Arduino NANO, una bornera de tres pines para conectar un sensor de flujo que detecta y envía datos de consumo de agua al microcontrolador Arduino, un condensador para alimentar al módulo reductor de voltaje que envía 3,3 V al módulo Wifi que se conecta al software Arduino a través de internet para procesar y enviar datos a ThingSpeak, ver Figura 19 y Tabla 13.

Figura 19*Placa directa*

Nota: La figura presenta la placa directa ensamblada con sus componentes electrónicos.

Tabla 13*Componentes placa directa*

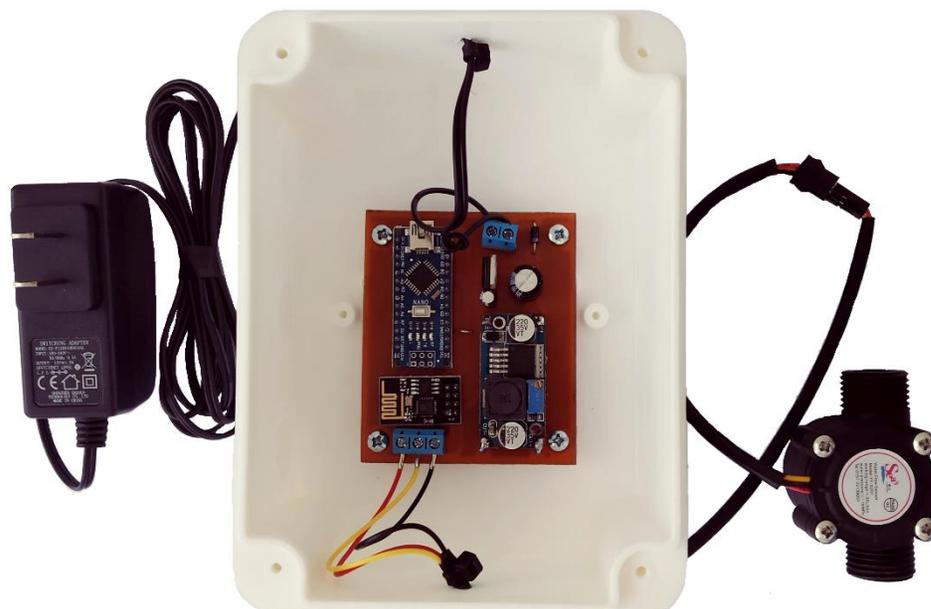
N°	Descripción	N°	Descripción
(1)	Placa circuito impreso (PCB)	(6)	Placa Arduino NANO
(2)	Bornera dos pines (+ / -)	(7)	Bornera 3 pines (+ / - / Señal)
(3)	Diodo rectificador 1N4007	(8)	Condensador 2200 uF, 16V
(4)	Regulador de voltaje LM7805	(9)	Reductor voltaje LM2596
(5)	Condensador 100 uF, 16V	(10)	Módulo Wifi ESP8266

Nota: La tabla presenta el listado de componentes electrónicos de la placa directa.

Se presenta el proyecto piloto de la placa directa previo a su puesta en marcha en la Figura 20. Además, en la Figura 21 se presenta su arquitectura IoT.

Figura 20

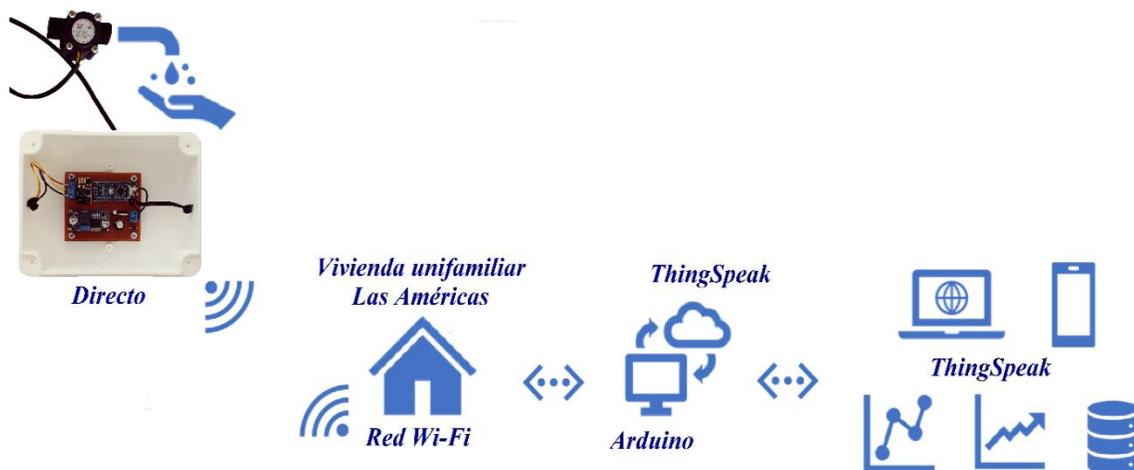
Placa directa previo a su puesta en marcha



Nota: La figura presenta el equipo de medición proyecto piloto.

Figura 21

Arquitectura IoT proyecto piloto placa directa



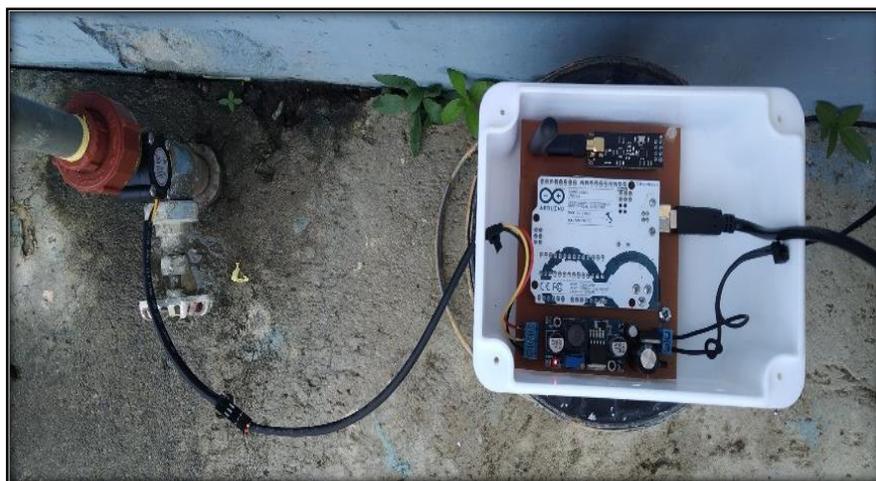
Nota: La figura presenta el esquema de operación del proyecto piloto.

Puesta en marcha

Instalación de Sensores. Se instaló los sensores en la acometida diámetro 1/2" en la edificación PAPRAH que es abastecida por una red interna, Figura 22; y en la acometida de la vivienda unifamiliar que es abastecida por la red pública, Figura 23.

Figura 22

Sensor YF-S201 instalado en edificación PAPRAH



Nota: La figura presenta el montaje del proyecto piloto.

Figura 23

Sensor YF-S201 instalado en vivienda unifamiliar



Nota: La figura presenta el montaje del proyecto piloto.

Calibración de Sensores. Es necesario realizar la calibración del sensor de flujo ajustando el factor de conversión $k = 7,5$ del fabricante para el sensor YF-S201, utilizado para transformar la frecuencia de pulsos a caudal en la relación $f_{OUT} = k * Q$.

Para realizar la calibración se procedió a calcular el número de pulsos medidos por el sensor con ayuda del hardware y software de Arduino, el código de programación está en el Anexo L. El volumen se determinó con una probeta graduada de plástico de 1000 ml. Estas dos variables permitieron ajustar el factor de conversión aplicando la relación $k = n^{\circ} \text{ pulsos} / V * 60$, Tabla 14 (NAYLAMP MECHATRONICS, 2020).

Tabla 14

Relación factor de conversión “k”

Fórmula	Descripción
	k factor de conversión
$k = n^{\circ} \text{ pulsos} / V * 60$	n° cantidad de pulsos medidos por el sensor
	V es el volumen en litros

Nota: La tabla presenta las variables de la fórmula para calcular el factor de conversión “k”. Fuente: NAYLAMP MECHATRONICS, 2020

El monitor del software Arduino debe indicar número de pulsos igual a cero, caso contrario es necesario resetear el conteo. A continuación, se procede a llenar la probeta graduada con agua de la acometida, este flujo pasa por el sensor YF-S201 que mide la cantidad de pulsos hasta un determinado volumen (NAYLAMP MECHATRONICS, 2020).

Se presenta en la Tabla 15 y Tabla 16 las lecturas de número de pulsos en diferentes volúmenes realizados y el promedio de factor de conversión “k” obtenido para cada acometida de agua, edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar.

Tabla 15*Lecturas de pulsos en sensor de edificación PAPRAH*

Lectura	n° pulsos	V (Litros)	k
1	217	0,50	7,23
2	440	1,00	7,33
3	320	0,75	7,11
4	214	0,50	7,13
5	437	1,00	7,28
6	323	0,75	7,18
7	425	1,00	7,08
8	213	0,50	7,10
9	425	1,00	7,08
10	353	0,75	7,84
		Promedio	7,24

Nota: La tabla presenta los datos del proceso de calibración.

Tabla 16*Lecturas de pulsos en sensor de vivienda unifamiliar*

Lectura	n° pulsos	V (Litros)	k
1	475	1,00	7,92
2	620	1,50	6,89
3	228	0,50	7,60
4	870	2,00	7,25
5	734	1,75	6,99
6	235	0,50	7,83
7	442	1,00	7,37
8	871	2,00	7,26
9	226	0,50	7,53
10	892	2,00	7,43
		Promedio	7,41

Nota: La tabla presenta los datos del proceso de calibración.

El factor de conversión $k = 7,5$ del fabricante para el sensor YF-S201 es reemplazado por el obtenido en la calibración de los sensores en cada acometida de agua. Se utilizó $k = 7,24$ en la edificación PAPRAH y $k = 7,41$ en la vivienda unifamiliar.

Visualización de Datos. La placa transmisor - receptor se conectó al sensor de la edificación PAPRAH y la placa directa al sensor de la vivienda unifamiliar. El microcontrolador Arduino es el hardware principal de las placas, con una laptop y un cable USB se realizó la conexión inicial entre el hardware y software de Arduino. Se cargó códigos de programación adjuntos en el Anexo M y Anexo N, que permite la interconexión entre placas, procesar información detectada por sensores, conectarse a internet y visualizar datos de caudal y volumen en la aplicación ThingSpeak.

En el software de Arduino se ingresó el usuario y clave de la red Wi-Fi de la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar; la interfaz de programación de aplicaciones (API) creada en ThingSpeak; la relación $f_{OUT} = k * Q$ para obtener el caudal (L/min) sabiendo que la frecuencia (Hz) de pulso es la señal de salida del sensor y el factor de conversión “ k ” resulta de la calibración de los sensores; y la conversión de caudal a litros para obtener el volumen.

En la aplicación ThingSpeak se generó un usuario y clave de acceso, se creó un canal para la visualización de datos de forma pública para el sensor de la edificación PAPRAH y sensor de la vivienda unifamiliar. Los canales contienen campos de caudal, volumen y ubicación georreferenciada de los sensores, que permite visualizar el consumo de agua potable en tiempo real detectado por los sensores. Los datos detectados y visualizados en la aplicación se almacenan y pueden ser descargados en formato CSV.

El canal del sensor de la edificación PAPRAH inició la presentación de datos en la aplicación ThingSpeak el 22 de octubre de 2020 y el 25 de octubre de 2020 el canal del sensor de la vivienda unifamiliar. En la Tabla 17 se presenta el enlace de acceso público para la visualización de datos de cada canal.

Tabla 17

Enlace de acceso para visualización de datos

Canal	Enlace de acceso público
Edificación PAPRAH	https://thingspeak.com/channels/1200472
Vivienda unifamiliar	https://thingspeak.com/channels/1204751

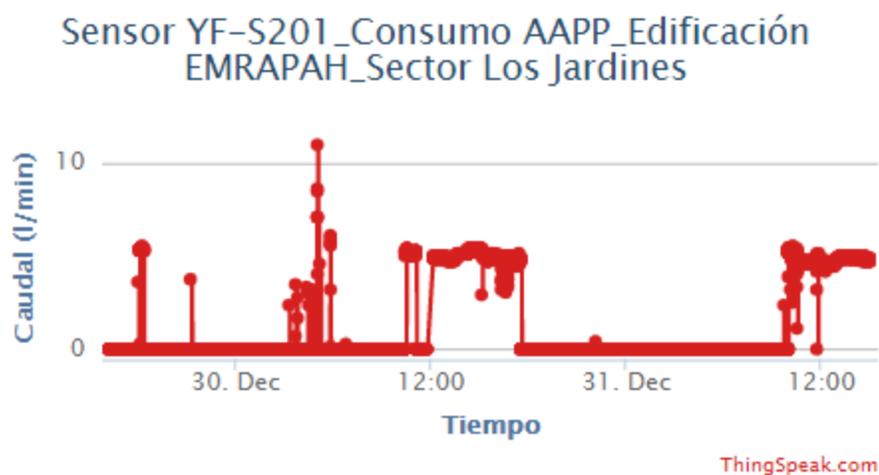
Nota: La tabla presenta el acceso a los canales del proyecto piloto.

Al clicar en los hipervínculos se tendrá acceso a la aplicación ThingSpeak, donde se podrá visualizar en tiempo real datos de consumo de agua, detectados por el sensor de la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar.

La Figura 24 y Figura 25 presenta el consumo de agua en litros por minuto de la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar. Esta gráfica lineal de forma constante registra los picos de consumo de agua durante las horas del día, al igual que las etapas donde el consumo es cero.

Figura 24

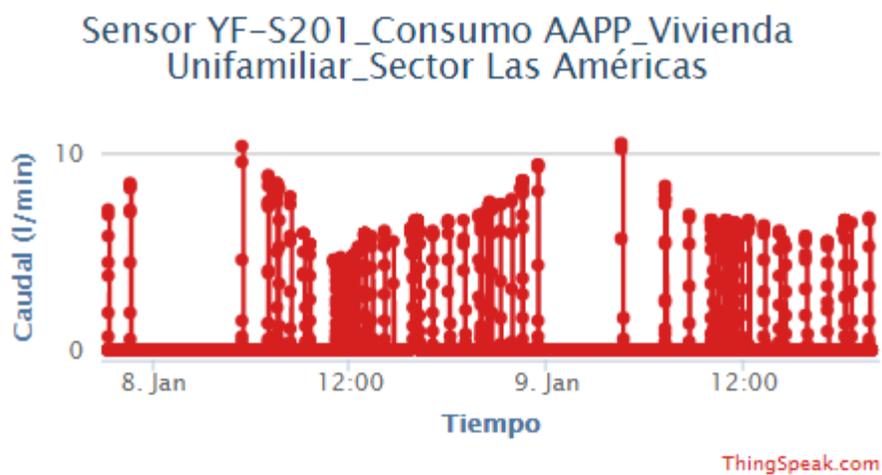
Consumo de agua en litros por minuto de edificación PAPRAH



Nota: La imagen presenta el caudal de consumo detectado por el sensor de la edificación PAPRAH. Tomado de <https://thingspeak.com/channels/1200472>

Figura 25

Consumo de agua en litros por minuto de vivienda unifamiliar



Nota: La imagen presenta el caudal de consumo detectado por el sensor de la vivienda unifamiliar. Tomado de <https://thingspeak.com/channels/1204751>

Se presenta en la Figura 26 y Figura 27 el consumo de agua acumulado en litros de la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar. Esta gráfica creciente de forma constante registra el consumo de agua durante las horas del día.

Figura 26

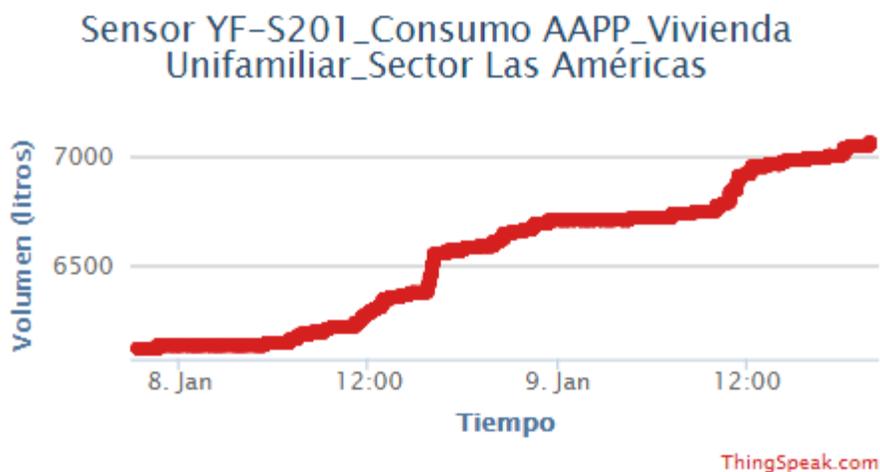
Consumo de agua en litros de edificación EMRAPAH



Nota: La imagen presenta el volumen de consumo detectado por el sensor de la edificación PAPRAH. Tomado de <https://thingspeak.com/channels/1200472>

Figura 27

Consumo de agua en litros de vivienda unifamiliar



Nota: La imagen presenta el volumen de consumo detectado por el sensor de la vivienda unifamiliar. Tomado de <https://thingspeak.com/channels/1204751>

Análisis de datos

Se presenta en la Tabla 18 y Figura 28 los datos de consumo de agua de noviembre 2020 en la edificación PAPRAH y vivienda unifamiliar, detectados por los sensores y descargados desde la aplicación ThingSpeak para su análisis.

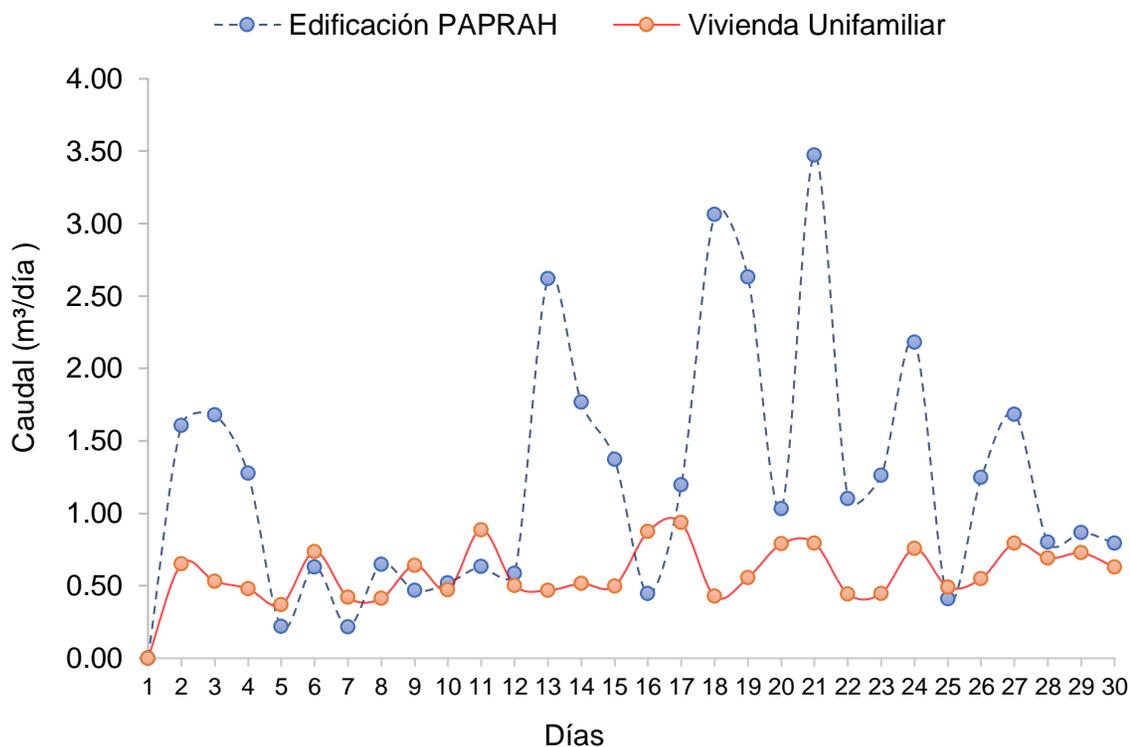
Tabla 18*Datos de consumo de agua potable en noviembre de 2020*

Fecha	Edificación PTAP (m ³ /día)	Vivienda Unifamiliar (m ³ /día)	Fecha	Edificación PTAP (m ³ /día)	Vivienda Unifamil (m ³ /día)
1/11/2020	1,61	0,65	16/11/2020	1,20	0,94
2/11/2020	1,68	0,53	17/11/2020	3,06	0,43
3/11/2020	1,28	0,48	18/11/2020	2,63	0,56
4/11/2020	0,22	0,37	19/11/2020	1,03	0,79
5/11/2020	0,63	0,74	20/11/2020	3,47	0,79
6/11/2020	0,22	0,42	21/11/2020	1,10	0,44
7/11/2020	0,65	0,41	22/11/2020	1,26	0,45
8/11/2020	0,47	0,64	23/11/2020	2,18	0,76
9/11/2020	0,52	0,47	24/11/2020	0,41	0,49
10/11/2020	0,63	0,89	25/11/2020	1,25	0,55
11/11/2020	0,58	0,50	26/11/2020	1,68	0,79
12/11/2020	2,62	0,47	27/11/2020	0,80	0,69
13/11/2020	1,77	0,52	28/11/2020	0,87	0,73
14/11/2020	1,37	0,50	29/11/2020	0,79	0,63
15/11/2020	0,45	0,87	30/11/2020	0,63	0,36

Nota: La tabla presenta los valores del consumo de agua detectados por los sensores y descargados desde la aplicación de ThingSpeak.

Figura 28

Consumo de agua potable en m³/día en noviembre 2020



Nota: La figura presenta los valores del consumo de agua detectados por los sensores y descargados desde la aplicación de ThingSpeak.

El comportamiento de los datos en la gráfica es constante en el tiempo, esto hace que su tendencia sea estacionaria por no presentar crecimiento o declinación evolutiva, sin embargo, es evidente que existe una marcada diferencia entre los picos máximos de consumo de los dos casos de estudio, esto responde al tipo de consumo que poseen, la edificación PTAP es industrial con 37,05 m³/mes y la vivienda unifamiliar es doméstico con 17,86 m³/mes en noviembre de 2020.

La dotación de agua per cápita por día para consumo e higiene recomendado por la Organización Mundial de la Salud está entre 20 y 50 litros (OMS, 2013), el Código Ecuatoriano de la Construcción para diseños de instalaciones sanitarias considera 100 litros como mínimo en clima cálido (INEN, 1997). La vivienda unifamiliar del proyecto piloto registró un consumo de 119,05 litros per cápita del promedio diario de 595,23 litros en noviembre 2020, considerando que cinco personas conforman la familia.

El proyecto piloto en la ciudad de Arenillas en condiciones reales de cobertura de internet y energía eléctrica fue exitoso, permitió visualizar y almacenar en tiempo real y de forma remota caudales por consumo de agua potable en la edificación PTAP y vivienda unifamiliar en noviembre de 2020, evidenciando el potencial del IoT para automatizar el consumo de agua en el futuro, lo que permitirá reducir aguas no contabilizadas y contribuir con el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.

- La PAPRAH se abastece del río Arenillas, desde su captación con tres bombas de 100 HP que operan alternadamente por una línea HD de 300 mm se transporta 395,48 m³/h hasta la planta de tratamiento, el agua tratada es almacenada en dos reservorios de 1 800 m³, la distribución se realiza con una línea HD de 500 mm a gravedad que entrega 371,19 m³/h a Huaquillas y una línea PVC de 250 mm que entrega 113,10 m³/h a la ciudad de Arenillas. No existe un sistema automatizado para el control y monitoreo del funcionamiento de este sistema.
- Las redes inalámbricas se caracterizan por la cobertura que ofrecen, la red de área personal (WPAN) permite un alcance de 10 m, la red de área local (WLAN) 30 m, la red de área metropolitana (WMAN) 25 km y la red inalámbrica de área amplia (WWAN) superior a 50 km, como la telefonía móvil y redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN), ésta última es la tecnología IoT más adecuada para controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH.
- La arquitectura LoRaWAN disponible desde el año 2016 con espectro de radio sin licencia, sin costo por derechos de transmisión, compatible con sensores de baja potencia que operan entre 5 a 12 voltios, interconexión entre dispositivos, puerta de enlace con cobertura inalámbrica de 11 km en zonas abiertas, es la más adecuada para controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH.
- El proyecto presenta dos alternativas para el suministro, montaje y puesta en marcha de una red de sensores IoT para controlar y monitorear el funcionamiento de la PAPRAH, el costo de inversión es USD 120 000 dólares, las propuestas se diferencian por el tipo de sensor, la alternativa A con sensores paramétricos y la alternativa B con sondas multiparamétricas, la arquitectura LoRaWAN y Ursalink como servidor de aplicación son considerados para los dos casos.

Recomendaciones.

- Las alternativas propuestas por en el presente proyecto académico son referenciales, EMRAPAH puede realizar actualizaciones o aditamentos a las alternativas, así como, buscar nuevas propuestas de un sistema automatizado basado en IoT para el control y monitoreo del funcionamiento de la PAPRAH.
- La implementación podría dividirse en dos etapas, la primera para automatizar el sistema de control y monitoreo en la captación y reservorios sector Los Jardines y Loma Quito; la segunda etapa para automatizar el sistema de control y monitoreo de las líneas principales de distribución del sistema regional Arenillas-Huaquillas.
- Actualmente EMRAPAH no realiza la facturación por micromedición, tiene establecido tarifas mensuales por categorías. Esto genera que los gastos operativos para potabilizar el agua no son facturados en su totalidad, es necesario realizar una actualización catastral y proceder con la socialización de la facturación por micromedición.
- Se recomienda a EMRAPAH que continúe con la etapa de financiamiento y ejecución de esta implementación IoT, el proyecto académico presenta un proyecto piloto que evidencia las mejoras que ofrece esta tecnología y dos alternativas técnicas que mejorarán indudablemente la eficiencia operativa de este sistema, permitiendo ofrecer un servicio de calidad a los usuarios.

Referencias Bibliográficas

- Annunziata, M. (2013). Welcome to the age of the industrial internet. In *TED Talks*. Retrieved from https://www.ted.com/talks/marco_annunziata_welcome_to_the_age_of_the_industrial_internet
- AQUALABO. (2020). Wireless communication digital sensor US version Aqua Connect AquaMod'. Retrieved December 5, 2020, from AQUALABO website: <https://en.aqualabo.fr/-b49424.html>
- Arduino. (2020a). Arduino - Home. Retrieved December 10, 2020, from Arduino website: <https://www.arduino.cc/>
- Arduino. (2020b). Placa Arduino Uno. Retrieved December 10, 2020, from Arduino Official Store website: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Ashton, K. (2004). Time to Face Reality. Retrieved November 10, 2020, from RFID Journal website: <https://www.rfidjournal.com/time-to-face-reality>
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. Retrieved November 10, 2020, from RFID Journal website: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Ashton, K. (2013). Street Smarts. Retrieved November 10, 2020, from RFID Journal website: <https://www.rfidjournal.com/street-smarts-3>
- Auto-ID Labs. (2020). Auto-ID Labs. Retrieved November 10, 2020, from <https://www.autoidlabs.org/>
- AWS. (2020). AWS | Cloud Computing - Servicios de informática en la nube. Retrieved December 7, 2020, from AWS website: <https://aws.amazon.com/es/>
- AWWA. (2017). American Water Works Association (AWWA). Distribution System Water Quality. Retrieved May 3, 2020, from <https://www.awwa.org/Policy-Advocacy/AWWA-Policy-Statements/Distribution-System-Water-Quality>
- Bello, O., Abu Mahfouz, A., Hamam, Y., Page, P., Adedeji, K., & Piller, O. (2019). Solving

- Management Problems in Water Distribution Networks: A Survey of Approaches and Mathematical Models. *Water*, 11(3), 562. <https://doi.org/10.3390/w11030562>
- BID. (2015). *El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina: Desafíos de los operadores de áreas urbanas de más de 300.000 habitantes*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). Retrieved from <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-futuro-de-los-servicios-de-agua-y-saneamiento-en-América-Latina-Desafíos-de-los-operadores-de-áreas-urbanas-de-más-de-300000-habitantes.pdf>
- Bluetooth. (2020). Bluetooth® Technology Website. Retrieved November 24, 2020, from bluetooth.com website: <https://www.bluetooth.com/>
- Bosire, B. (2017). *Disrupting the water business*. Retrieved from <https://www.hydroiq.africa/single-post/2017/12/05/Value-in-every-drop>
- Carrera-Villacrés, D., Carrera Villacrés, J. L., Braun, T., Zhao, Z., Gómez, J., & Quinteros-Carabalí, J. (2020). Fog Harvesting and IoT based Environment Monitoring System at the Ilalo volcano in Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 407. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.10775>
- CControls. (2020). Wireless technology - Types of Wireless Networks. Retrieved November 24, 2020, from Computer Controls website: <https://www.ccontrols.net/en/applications/internet-of-things-iot/wireless-networks/>
- CelPlan. (2020). MMDS, LMDS. Retrieved November 24, 2020, from CelPlan website: <https://www.celplan.com/technologies/mmds-lmnds/>
- Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., Member, S., & Wang, H. (2014). A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective. *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, 1(4), 349. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2337336>

- ChirpStack. (2020). ChirpStack open-source LoRaWAN® Network Server. Retrieved December 7, 2020, from ChirpStack website: <https://www.chirpstack.io/>
- de Sousa Pereira, L., & Costa Morais, D. (2020). The strategic choice approach to the maintenance management of a water distribution system. *Urban Water Journal*, 17(1), 23–31. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734945>
- Dialog Semiconductor. (2018). Application Note - Water flow meter AN-CM-230. Retrieved December 9, 2020, from Dialog Semiconductor website: <https://www.dialog-semiconductor.com/>
- Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., & Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. In *Springer* (pp. 129–150). https://doi.org/10.1007/978-3-030-04110-6_7
- Electropar. (2020). ELECTROPAR S.A.C. Leticia 1012, Cercado de Lima 15001, Perú. Retrieved December 19, 2020, from Electropar website: https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0x9105c8bb75c03a2f%3A0xb28cea8378635b8!3m1!7e115!4s%2F%2Fih4.googleusercontent.com%2Fproxy%2FSiY1G6X8S ymOmFekC1BTc_wWbyLyfmcNCM-kGQ7dTM8z_thv2ES9YcmV6tI6QoNMzHMhxELR2K3U4zo0BK46XQAXOBicdFq gm0fn3tUPVHNJ1KHlcfpfaExNGV-
- EMRAPAH. *Registro Oficial No. 77: Creación de la Empresa Municipal Regional de Agua Potable de Arenillas y Huaquillas*. EMRAPAH. , (2005).
- EMRAPAH. (2020). Empresa Municipal Regional de Agua Potable Arenillas Huaquillas. Retrieved May 1, 2020, from <https://www.emrapah.gob.ec/>
- EU. (2002, November 15). EL UNIVERSO (EU). Ecuador decreta emergencia en Ibarra por agua contaminada. *Noticias*. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/2002/11/15/0001/12/488DCC3FE8814F3188D74B5ADC513401.html>

- Ferretrónica. (2020). Ferretrónica. Retrieved December 16, 2020, from Ferretrónica website: <https://ferretronica.com/>
- GADM Arenillas. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Arenillas. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Arenillas. Retrieved May 3, 2020, from <https://arenillas.gob.ec/>
- GADM Arenillas. (2020). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Arenillas. Retrieved May 1, 2020, from <https://arenillas.gob.ec/>
- GADM Huaquillas. (2014). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Huaquillas. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Huaquillas. Retrieved May 3, 2020, from <https://huaquillas.gob.ec/site/>
- GADM Huaquillas. (2020). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Huaquillas. Retrieved May 1, 2020, from <https://huaquillas.gob.ec/site/>
- GADP El Oro. (2020). Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. Retrieved May 1, 2020, from <http://www.eloro.gob.ec/>
- Gallo Aponte, W. I. (2019). La calidad regulatoria del servicio público de acueducto o agua potable. Un análisis a partir de la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible ODS. *Indexlaw.Org*, 372–395. Retrieved from <https://indexlaw.org/index.php/rdb/article/view/5162>
- Generation Partnership Project. (2020). The 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Retrieved November 24, 2020, from 3gpp.org website: <https://www.3gpp.org/about-3gpp>
- GICA. (2020). Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA). Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Retrieved May 31, 2020, from <http://gica.espe.edu.ec/>
- GSMA. (2020a). Long Term Evolution for Machines: LTE-M | Internet of Things. Retrieved November 24, 2020, from gsma.com website: <https://www.gsma.com/iot/long-term->

evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/

- GSMA. (2020b). Narrowband – Internet of Things (NB-IoT) | Internet of Things. Retrieved November 24, 2020, from gsma.com website: <https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/>
- Haitronic. (2020). NRF24I01 Module With Antenna. Retrieved December 10, 2020, from Haitronic website: http://www.haitronic.cn/index.php?route=product/product&product_id=443&search=NRF24
- Harrington, A. (2015). Wireless Technologies. Retrieved November 24, 2020, from Slideplayer website: <https://slideplayer.com/slide/6164296/>
- hIOTron. (2020). In-Depth view of 4 IoT Architecture Layers. Retrieved November 18, 2020, from IoT Solutions website: <https://www.hiotron.com/iot-architecture-layers/>
- IERC. (2014). Internet of Things, European Research Cluster on the Internet of Things (IERC). Retrieved November 11, 2020, from European Research Cluster on the Internet of Things website: http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm
- In-Situ. (2020). Aqua TROLL 500 Multiparameter Sonde. Retrieved December 7, 2020, from In-Situ website: <https://in-situ.com/us/aqua-troll-500-multiparameter-sonde>
- INEC. (2019). Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC). Indicadores ODS Agua, Saneamiento e Higiene. Retrieved May 3, 2020, from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indicadores-ods-agua-saneamiento-e-higiene/>
- INEC. (2020). Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC). Proyecciones Poblacionales 2010-2020. Retrieved May 1, 2020, from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- INEN. *CPE INEN 5: Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), Diseño de Instalaciones Sanitarias: Código de Practica para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el*

- Área Rural*. , (1997).
- INEN. *NTE INEN 1108: Agua para consumo humano. Servicio Ecuatoriano de Normalización*. , (2020).
- IRENA. (2019). *Internet of Things - Innovation Landscape Brief, International Renewable Energy Agency IRENA*. Retrieved from www.irena.org
- ITU. (2015). Internet of Things Global Standards Initiative, International Telecommunication Union (ITU). Retrieved November 11, 2020, from IoT-GSI website: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>
- ITU. (2019). *13th Symposium on ICT, Environment and Climate Change. International Telecommunication Union (ITU)*. Retrieved from <https://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/symposia/201905/Pages/default.aspx>
- IWA. (2020). International Water Association (IWA). Sustainability in Water Supply. Retrieved May 4, 2020, from <https://www.iwapublishing.com/news/sustainability-water-supply>
- Ji, M. (2017). *Designing and Planning a Campus Wireless Local Area Network*. Retrieved from <https://www.theseus.fi/handle/10024/130087>
- Kaneva, T. (2019). The Significance of a National Low Power Wide Area Network (LPWAN). Retrieved November 24, 2020, from techuk.org website: <https://www.techuk.org/insights/reports/item/16015-the-significance-of-a-national-low-power-wide-area-network-lpwan>
- Linlin, C., & Naian, L. (2020). Wireless Mesh Network and IEEE 802 Standards. *Tech-En.Zte.Com.Cn*, 6, 7–10. Retrieved from <http://tech-en.zte.com.cn/EN/abstract/abstract401.shtml>
- LoRaWAN. (2020). Building a global open LoRaWAN™ network. Retrieved from The Things Network website: <https://www.thethingsnetwork.org/>
- LORIIOT. (2020). LORIIOT - The LoRaWAN® Network Server Provider. Retrieved

- December 7, 2020, from LORIOT website: <https://www.loriot.io/>
- MAE. *Registro Oficial Suplemento 983: Código Orgánico del Ambiente COA. Ministerio del Ambiente del Ecuador.* , (2017).
- Mahadevan, B., & Vijayakumar, K. (2020). Architecture and Protocols for the Internet of Things: A Case Study. In *journalstd.com*. Retrieved from <http://journalstd.com/gallery/17-feb, spl2020.pdf>
- Matta, P., & Pant, B. (2019). Internet of things: Genesis, challenges and applications. In *P. Matta and B. Pant Journal of Engineering Science* (Vol. 14). Retrieved from http://jestec.taylors.edu.my/Vol 14 issue 3 June 2019/14_3_42.pdf
- Mohamadwasel1, N. B., & Abdala, M. A. (2020). Design of WiMAX Network for Istanbul Universities With OPNET. *Informatica: Journal of Applied Machines Electrical Electronics Computer Science and Communication Systems*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.47812/IJAMECS2010101>
- Montecristi, A. C. de. *Registro Oficial No. 449: Constitución de la República del Ecuador. Asamblea Constituyente de Montecristi.* , (2008).
- NAYLAMP MECHATRONICS. (2020). Tutorial sensor de flujo de agua. Retrieved December 9, 2020, from NAYLAMP MECHATRONICS website: https://www.naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html
- Newark. (2020). ESP8266 Wifi Module. Retrieved December 10, 2020, from Newark website: https://www.newark.com/seeed-studio/83-16992/esp8266-wifi-module-breakout-board/dp/68Y0156?COM=ref_hackster#
- Nordic Semiconductor. (2020). Nordic Semiconductor Home. Retrieved December 10, 2020, from Nordic Semiconductor website: <https://www.nordicsemi.com/>
- OMS. (2013). OMS: Servicios de aguas para la salud. *WHO*.
- OMS. (2020a). Organización Mundial de la Salud. 1 de cada 3 personas en el mundo no

- tiene acceso al agua potable según UNICEF y la OMS. Retrieved May 4, 2020, from <https://www.who.int/es/news-room/detail/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water---unicef-who>
- OMS. (2020b). Organización Mundial de la Salud. Agua. Retrieved May 4, 2020, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (2019, June 17). *Naciones Unidas. Informe de la ONU: Perspectivas de Población*. p. 4. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- ONU. (2020a). Naciones Unidas. Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Retrieved April 11, 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- ONU. (2020b). Naciones Unidas. Día Mundial del Agua. Retrieved May 4, 2020, from https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/76506/día-mundial-del-agua-declaración-conjunta-del-alto-representante-y-vicepresidente-josep_es
- Orbiwise. (2020). Orbiwise – Internet of things technologies. Retrieved December 7, 2020, from Orbiwise website: <https://orbiwise.com/>
- Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. G. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
- PepsiCo. (2020). PepsiCo Home. Retrieved November 10, 2020, from <https://www.pepsico.com/>
- Perera, C., Liu, C., Jayawardena, S., & Chen, M. (2015). A survey on internet of things from industrial market perspective. *IEEE Access*, 2, 20. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7004894/>
- Pérez Vidal, A., Amézquita Marroquín, C., & Torres Lozada, P. (2012). Identificación y

- priorización de peligros como herramientas de la gestión del riesgo en sistemas de distribución de agua potable. *Redalyc.Org*, 16, 449–469. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47724934009>
- Rios, F. C. (2018). *Beyond Recycling: Design for Disassembly, Reuse, and Circular Economy in the Built Environment* (Arizona State University). Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/043e/e6f8a046e683219d568c74beecde01bf0303.pdf>
- Roberti, M. (2013). RFID Special Achievement Award: The Man Who Changed the World. Retrieved November 10, 2020, from RFID Journal website: <https://www.rfidjournal.com/rfid-special-achievement-award-the-man-who-changed-the-world-2>
- Ryder, G. (2018). How ICTs can ensure the sustainable management of water and sanitation. *ITU News*, 9. Retrieved from <https://news.itu.int/icts-ensure-sustainable-management-water-sanitation/>
- ScienceDirect. (2020). Hall Effect. Retrieved December 9, 2020, from ScienceDirect website: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hall-effect>
- Sensus. (2012). *Water 20/20: Bringing smart water networks into focus*.
- Shirode, M., Adaling, M., Biradar, J., & Mate, T. (2018). IOT Based Water Quality Monitoring System. In *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology* © 2018 IJSRCSEIT | (Vol. 1). Retrieved from www.ijsrcseit.com
- Sigfox. (2020). Sigfox - The Global Communications Service Provider for the Internet of Things (IoT). Retrieved November 24, 2020, from Sigfox website: <https://www.sigfox.com/en>
- Subramaniam, S., Chew, L.-J., Haw, S.-C., & Ziauddin, M. T. bin. (2019). WQMS: A Water Quality Monitoring System using IoT. *Proceedings of the 2019 2nd International*

Conference on Computational Intelligence and Intelligent Systems, 177–182.

<https://doi.org/10.1145/3372422.3372429>

SUIA. *Categoría I: 08. Guía de buenas prácticas ambientales para la potabilización de agua con capacidad menor o igual a 100 l/S. Sistema Único de Información Ambiental.* , (2013).

Tech-FAQ. (2020). Wireless Networks. Retrieved November 24, 2020, from Tech-FAQ website: <https://www.tech-faq.com/wireless-networks-and-their-types.html>

TechTarget. (2020). RFID (radio frequency identification), IoTAgenda - TechTarget. Retrieved November 10, 2020, from <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/RFID-radio-frequency-identification>

Tesco. (2020). Tesco Home. Retrieved November 10, 2020, from <https://www.tesco.com.my/>

The Things Network. (2020). The Things Network - Building a global open LoRaWAN™. Retrieved December 7, 2020, from The Things Network website: <https://www.thethingsnetwork.org/>

ThingSpeak. (2020). Learn More - ThingSpeak IoT. Retrieved December 18, 2020, from ThingSpeak website: https://thingspeak.com/pages/learn_more

UNICEF. (2020). UNICEF. Retrieved May 4, 2020, from <https://www.unicef.org/es>

Ursalink. (2020a). LoRa Remote I/O UC1122. Retrieved December 5, 2020, from Ursalink Technology website: <https://www.ursalink.com/en/lora-remote-io/>

Ursalink. (2020b). UG87 LoRaWAN Gateway, Ursalink. Retrieved December 5, 2020, from Ursalink Technology website: https://www.ursalink.com/en/ug87-lorawan-gateway/?utm_term=lorawan_sensors&utm_campaign=EM-潜在客户&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=8292105947&hsa_cam=9423

455403&hsa_grp=98282856689&hsa_ad=419804385064&hsa_src=g&hsa_tgt=kw
d-337714718331&hsa_kw=loraw

Ursalink Cloud. (2020). Ursalink Cloud Remote Control - We Connect Things to Cloud.

Retrieved December 7, 2020, from Ursalink website:

<https://www.ursalink.com/en/ursalink-cloud-service-remote-control/>

UrukTech. (2020). UrukTech Store. Retrieved December 9, 2020, from UrukTech website:

<http://www.uruktech.com/>

Walmart. (2020). Walmart Home. Retrieved November 10, 2020, from

<https://www.walmart.com/>

Wi-Fi. (2020). Wi-Fi Alliance®. Retrieved November 24, 2020, from Wi-Fi Alliance®

website: <https://www.wi-fi.org/>

WND. (2019). LPWAN is not red ocean market. Retrieved November 24, 2020, from WND

Group website: <https://www.wndgroup.io/2019/09/10/sigfox-lpwan-is-not-red-ocean-market/>

Z-Wave. (2020). Safer, Smarter Homes Start with Z-Wave. Retrieved November 24, 2020,

from Z-Wave website: <https://www.z-wave.com/>

Zigbee. (2020). Home - Zigbee Alianza. Retrieved November 24, 2020, from Zigbee

Alianza website: <https://zigbeealliance.org/es/>