

Diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para el municipio de San Juan de Pasto

Hernán Darío Enríquez Martínez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa Especialización de Redes de Nueva Generación

Pasto, 2022

Diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para el municipio de San Juan de Pasto

Hernán Darío Enríquez Martínez

Trabajo de grado presentando como requisito para optar título de: Especialista en Redes de
Nueva Generación

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa Especialización de Redes de Nueva Generación

Pasto, 2022

Tabla de contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	11
Definición del problema.....	11
Justificación.....	12
Objetivos	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos	13
Marco Referencial y Teórico	14
2.1 Marco Referencial.....	14
Marco Conceptual	16
Comunicaciones Inalámbricas.....	16
Medidores de agua.....	20
Sensores de flujo.....	25
Sistemas embebidos.....	26
Redes LPWAN	29
Internet de las cosas (IoT)	37
Metodología	40
Metodología Cualitativa.....	40
Método Experimental.....	40
La Investigación de campo	40
Recopilación de información.....	40
Técnicas.....	40
Ejecución del proyecto	41
Desarrollo del prototipo	42
Requerimientos del prototipo.....	42
Selección de instrumentación y módulos electrónicos para el sistema.....	43
Censado	43
Control y procesamiento de datos	45
Control y procesamiento de datos	47
Envío a BBDD.....	48
Visualización y monitoreo.....	50

Comparativa de tecnologías inalámbricas LPWAN para despliegue IoT.....	50
Calidad de servicio	53
Duración de batería.....	53
Latencia	53
Escalabilidad y longitud de carga útil.....	54
Rango.....	54
Costo.....	54
Diseño arquitectura del prototipo.....	57
Arquitectura Tecnológica para despliegue IoT	57
Arquitectura Lambda.....	57
Arquitectura en sensores WSN.....	58
Arquitectura y red de acceso NGN	60
Redes de acceso	60
Tecnologías de acceso	61
Tecnologías de acceso inalámbrico a usar.....	61
Elaboración etapa de sensado y procesamiento de datos	62
Nodo esclavo	62
Nodo maestro.....	64
Elaboración etapa de comunicación Inalámbrica.....	65
Elaboración etapa de envío de información a BBDD en tiempo real	67
Configuración BBDD Firebase Realtime	68
Consumo del servicio y monitoreo.....	69
Requerimientos no Funcionales.....	72
Requerimientos Funcionales.....	72
Despliegue de IoT en redes 5G	75
Conclusiones.....	77
Referencias.....	79

Índice de Figuras

Figura 1. Topología ZigBee.....	17
Figura 2. Módulos XBee.....	18
Figura 3. Módulo Wi-Fi.....	19
Figura 4. Módulo RFID	20
Figura 5. Clasificación de medidores	21
Figura 6. Medidor V200P	22
Figura 7. Medidor S150 y S150P.....	22
Figura 8. Medidor V100	23
Figura 9. Medidor QALCOSONIC W1.....	24
Figura 10. Medidor M120i.....	24
Figura 11. Medidor H4000i	25
Figura 12. Principio de funcionamiento	26
Figura 13. Placa Arduino UNO	27
Figura 14. Placa NodeMCU ESP8266.....	28
Figura 15. Placa RaspBerry PI.....	28
Figura 16. Placa PYCOM	29
Figura 17. Comparativa de tecnologías inalámbricas respecto al ancho de banda.....	30
Figura 18. Arquitectura Sigfox	32
Figura 19. Arquitectura LoraWAN.....	33
Figura 20. Arquitectura LTE-M.....	34
Figura 21. Arquitectura NB-IoT	35
Figura 22. Arquitectura ZigBee	36
Figura 23. Arquitectura de IoT	37
Figura 24. Diagrama de bloques del sistema	42
Figura 25. Diagrama conexión Sensor de flujo	45
Figura 26. Plataforma almacenamiento y monitoreo de variables.....	50
Figura 27. Mapa radial comparativa de tecnologías LWPAN para despliegue IoT	55
Figura 28. Arquitectura Lambda.....	57
Figura 29. Arquitectura en sensores WSN.....	58
Figura 30. Arquitectura del prototipo	59

Figura 31. Diagrama físico del prototipo.....	60
Figura 32. Conteo de pulsos y cálculo de volumen	63
Figura 33. Medición de consumo de agua	63
Figura 34. Módulo Esclavo.....	64
Figura 35. Módulo Maestro	64
Figura 36. Programación XCTU XBee Maestro	65
Figura 37. Programación XBee Maestro	65
Figura 38. Programación XCTU XBee esclavo.....	66
Figura 39. Programación XBee esclavo	66
Figura 40. Configuración Receptor ESP8266.....	67
Figura 41. Envío de información a BBDD	68
Figura 42. Dashboard Principal	68
Figura 43. Configuración de variables.....	69
Figura 44. Configuración de conexión a BBDD.....	70
Figura 45. Importación de librerías.....	70
Figura 46. Creación funciones de lectura	71
Figura 47. Creación función cambio de estado.....	71
Figura 48. Diagrama Casos de Uso	72
Figura 49. Programación Interfaz	73
Figura 50. Vista de Interfaz	74
Figura 51. Arquitectura NGN IoT	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Sensores de Flujo	44
Tabla 2. Placas Embebidas.....	46
Tabla 3. Tecnologías Inalámbricas	47
Tabla 4. Placas Electrónicas IoT	49
Tabla 5. Comparativa de tecnologías	51

Resumen

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) e Internet de las Cosas (IoT) han sido de importancia para el desarrollo de distintas áreas del conocimiento, optimizando los procesos empresariales e industriales. Dentro de las actividades que realiza la empresa proveedora de agua apta para el consumo humano potable del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, se destaca la toma de medición de lectura de caudal en cada uno de los hogares.

Esta labor contempla una serie de circunstancias complicadas que se describe a continuación: desplazarse a todos los barrios del Municipio de Pasto, entre ellos los de la periferia y tomar 388 lecturas al día, demanda mucho tiempo y riesgos físicos; El ir, a lugares de difícil acceso por la problemática social (delincuencia) provoca un riesgo laboral. Por lo tanto, se pensó en diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para municipio de San Juan de Pasto.

Visto lo anterior, se tuvo en cuenta el método experimental en la investigación de campo como metodología, donde se realizó soluciones de interconexión de las distintas fases y pruebas. Con el fin, de validarlas y que estén en perfecto estado. Además, este trabajo permite contribuir al uso eficiente y consciente del agua, mediante la aplicabilidad de diversas tecnologías, topologías y la viabilidad que determine costo/beneficio para la implementación de la red de acceso.

Palabras Claves: Caudal, Xbee, Arduino, nube, adquisición, inalámbrica, automatizar, IoT.

Abstract

Information and Communication Technologies (ICT) and the Internet of Things (IoT) have been important for the development of different areas of knowledge, optimizing business and industrial processes. Among the activities carried out by the company that supplies drinking water suitable for human consumption in the Municipality of Pasto, Department of Nariño, the taking of flow reading measurements in each of the homes stands out.

This work includes a series of complicated circumstances that are described below: traveling to all the neighborhoods of the Municipality of Pasto, including those on the outskirts, and taking 388 readings a day, requires a lot of time and physical risks; Going to places that are difficult to access due to social problems (crime) causes an occupational risk. Therefore, it was thought to design a prototype for measuring water consumption in residential environments through the use of a system under the IEEE 802.15.4 standard, supported by a flow sensor and information record in the cloud for the municipality of San John of Pasto.

In view of the above, the experimental method was taken into account in the field investigation as a methodology, where interconnection solutions of the different phases and tests were carried out. In order to validate them and that they are in perfect condition. In addition, this work allows contributing to the efficient and conscious use of water, through the applicability of various technologies, topologies and the feasibility that determines cost / benefit for the implementation of the access network.

Keywords: Flow, Xbee, Arduino, cloud, acquisition, wireless, automate, IoT.

Introducción

Los sistemas inalámbricos se han desarrollado en todo el mundo, esto ha llevado a la automatización de los procesos empresariales, industriales y de tecnología. Actualmente, estas herramientas tecnológicas se han aplicado en diferentes campos como se puede evidenciar en el departamento del Meta, donde se realizó el “diseño de un prototipo para la medición del consumo de agua, en un grifo de una unidad habitacional a través de la tecnología ZigBee” (Granados & Pérez, 2017). Otro estudio que cabe resaltar es “el diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto, con interacción al usuario basado en el concepto internet de las cosas” (Valbuena & Pardo, 2016); Estos avances tecnológicos han aportado en la eficiencia de los procesos y rendimiento de las actividades técnicas como: la medición del caudal y toma de datos del consumo de agua y energía.

La telemetría es un método que permite medir variables tanto físicas como químicas, para posteriormente enviar información hacia un gestor de datos. Esta misma técnica, puede ayudar a controlar todo el proceso que se realiza. Se tuvo en cuenta una de las necesidades más relevantes, como automatizar la medición de lectura de caudal por cada residencia, debido a que esta labor requiere de mucha duración y se corre el riesgo de no tomar la lectura a tiempo, representando un problema para la empresa proveedora de agua en el municipio de San Juan de Pasto. Por lo tanto, se ha pensado en diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales, mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para dicho municipio.

Planteamiento del Problema

Definición del problema

Dentro de las actividades que realiza la empresa proveedora de agua apta para el consumo humano potable del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, se destaca la toma de medición de lectura de caudal en cada uno de los hogares, este trabajo se realiza por parte lectores capacitados en el tema, visitando cada usuario o suscriptores en su respectiva residencia.

Esta labor contempla una serie de circunstancias complicadas que se describe a continuación: desplazarse a todos los barrios del Municipio de Pasto, entre ellos los de la periferia y tomar 388 lecturas al día, demanda mucho tiempo y riesgo físicos; El ir, a lugares de difícil acceso por la problemática social (delincuencia) provoca un riesgo laboral, además se presentan casos en los cuales hay ausencia del propietario en el día de visita, lo cual no permite tomar registro y deben realizar recuperación de causales. Es más, a todos estos escenarios se suma el problema que hoy en día está afectando a la humanidad como la pandemia por COVID-19, lo cual hace que esta labor sea cada vez más difícil de realizar y se somete en algunas condiciones a un problema de seguridad en el trabajo afectando legal y económicamente a la empresa.

Para atenuar el problema de la baja aplicabilidad de herramientas tecnológicas en la actividad que llevan a cabo los lectores de medición de caudal de la empresa proveedora de agua en el Municipio de Pasto, se requiere elaborar un diseño del prototipo de medición automático de consumo de agua en entorno residenciales.

Justificación

El proyecto tiene como finalidad, aportar a la optimización de medición de consumo del agua, mediante la instalación de un sensor de caudal con referencia YF-S201 en el lugar de vivienda de los usuarios. Estos datos se envían mediante una comunicación inalámbrica con tecnología XBee, luego de dicha recepción y procesado, la información se transmite a la nube en tiempo real.

Teniendo en cuenta la importancia de la telemetría, que está inmersa en las redes de nueva generación hoy en día, generando soluciones y mejorando de los distintos procesos rudimentarios a la empresa entre los cuales está: medir el caudal que cada usuario consume al mes de una forma ágil, disminuyendo costos en personal logístico. Obteniendo así, un trabajo de mayor eficacia en la toma de lectura.

El alcance de esta propuesta tiene como objetivo cambiar el proceso de toma de lectura del caudal mediante una comunicación red inalámbrica y la respectiva visualización del consumo en tiempo real por parte de la empresa proveedora del servicio, permitiendo así, la toma de decisiones frente al caso. A largo plazo, aplicar esta idea a gran escala en gran parte del municipio de Pasto, mediante las distintas soluciones de conectividad que soporte el modelo de infraestructura de la red de acceso.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado por un sensor de caudal y registro de información en la nube para municipio de San Juan de Pasto.

Objetivos Específicos

Comparar tecnologías de adquisición de datos, comunicaciones y de caudal que solventen los requerimientos generales para el envío de información acorde con la arquitectura propuesta.

Diseñar un sistema de medición de caudal, bajo entorno inalámbrico con tecnología ZigBee para el almacenamiento de los datos en la nube.

Realizar pruebas del prototipo funcional en un entorno controlado, para validación del sistema.

Marco Referencial y Teórico

Marco Referencial

La constante evolución tecnológica en el mundo lleva a la optimización de procesos en distintas áreas del conocimiento, por lo tanto, las empresas ven la necesidad de implementar tecnologías de nueva generación que involucra IoT con el fin de realizar trabajos de calidad mediante el ahorro de tiempo, disminución de costos y seguridad de trabajo. Es por ello que se ha recopilado información relevante de Colombia y Ecuador como se detalla a continuación:

En el año 2017, “en la universidad cooperativa de Colombia sede Meta, Gisell Granados y Javier Pérez en su proyecto de titulación: Diseño de un prototipo para la medición del consumo de agua en un grifo de una unidad habitacional a través de la tecnología ZigBee” (Granados & Pérez, 2017). Consiste en un sistema de supervisión e implementación del sistema de medición agua en una tubería que conectan distintas llaves en una habitación, con la finalidad de que al momento usen este servicio, se sepa el valor aproximado del consumo. Todo esto se compone en su etapa inicial mediante un sensor de caudal, que mide su uso en tiempo real y este dato a su vez es enviado de forma inalámbrica a una placa que interpreta la información y es transmitida a un gestor de datos para que el suscriptor, mediante un aplicativo o página web local tenga conocimiento de lo que gasta.

En el año 2018, “en la universidad politécnica salesiana sede Quito, Carlos Campoverde y Juan Gualoto en su proyecto titulado: Desarrollo de un sistema de medición de caudal energéticamente independiente con transmisión de datos en la comunidad de paquiestina” (Campoverde & Gualoto, 2018). Consiste en que este sector, existe una distribución de agua en distintos surcos, lo realizan por tuberías de 1 pulgada. El problema radica en el uso inapropiado de este recurso. Para solventar la problemática desarrollaron un sistema que tiene la finalidad

supervisar el consumo de agua cuyos datos serán transmitidos a un servidor y a su vez son visualizados en la nube los diferentes registros por parte del presidente de la junta de regantes de la comunidad de Paquiestancia.

En el año 2016, “en la universidad distrital Francisco José de Caldas, Gerardo Valbuena y Didier Pardo en su proyecto titulado: Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto Internet de las cosas” (Valbuena & Pardo, 2016). Consiste en el desarrollo de una aplicación orientada al IoT, donde se puede observar el consumo tanto de la energía eléctrica como de agua potable en un entorno doméstico. Este se compone de tres terminales monofásicas y dos para el caudal de agua, los datos pueden ser visualizados con dispositivos móviles inteligentes conectado a una red de internet.

En el año 2018, “en la universidad militar Nueva Granada de Cajicá Colombia, Jaime Sánchez en su proyecto titulado: Lecturas de medición de agua por telemetría y su transmisión inalámbrica en Zipaquirá” (Sánchez, 2018). Analizaron que, a partir de una prueba piloto, la implantación de este nuevo método de mediciones, fraudes, desperdicios, fugas y conexiones fraudulentas trae un beneficio respecto al cobro del mismo servicio. Este sistema de lectura debe de estar en condiciones específicas para su respectiva transmisión, el cual almacena y de forma inmediata envía información al sistema, necesaria para la respectiva liquidación. En este proceso de transmisión inalámbrica de contadores de agua utiliza lo siguientes instrumentos: red celular, modem, servidor, gestor de datos y GPS. A su vez esta implementación genera beneficios relevantes como disminución de costos, lectura casa por casa, errores y perdidas de datos.

En el año 2021, “en la universidad Nacional Abierta y a Distancia sede Cundinamarca, Giovanni Ramírez en su proyecto titulado: Reconocimiento de las condiciones ambientales

mediante el uso de IoT y nube publica en el cultivo de lechuga de la Zona Rural Mosquera” (Ramírez, 2021). Para este proceso de construcción y desarrollo continuo de tecnología aplicada, identificó una serie de cultivos agrícolas que son parte relevante en el suministro de víveres para los habitantes de la ciudad y sus alrededores, esto causó en particular, un interés de investigación de las condiciones actuales de dicho cultivo, que pueden ser mejoradas en términos de: calidad, tiempos de recolección y rentabilidad al agricultor. Mediante, la utilización de sistemas IoT, donde juega un papel importante en las tendencias de agricultura a nivel mundial.

En el año 2018, “en la universidad de Nariño, David Guerrero y Fabio Rubio en su proyecto titulado: Implementación de una granja digital mediante el Internet de las Cosas (IoT)” (Guerrero & Rubio, 2018). Ellos expresan que en el colegio educativo de Obonuco tienen una huerta, donde los estudiantes realizan prácticas técnicas agrícolas. Pero, esta carece de herramientas tecnológicas que impiden optimizar la producción y realizar un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Frente a esto, elaboraron el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado, dicha aplicación es capaz de detectar los principales factores ambientales presentes en el cultivo. Finalmente, crearon un aplicativo web para el respecto monitoreo, registro y visualización en tiempo real de dichas variables.

Marco Conceptual

Comunicaciones Inalámbricas

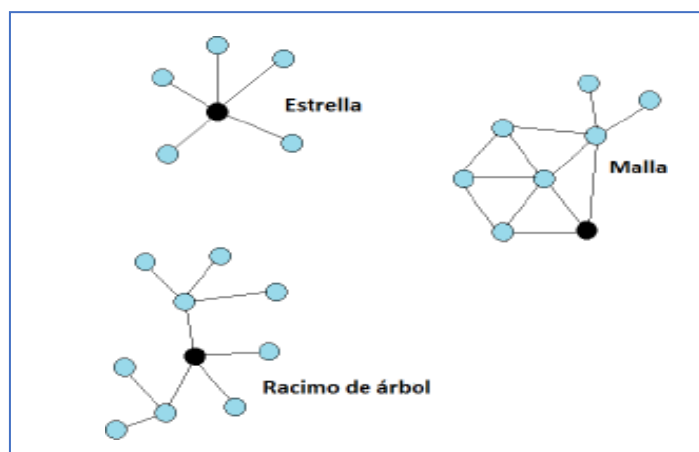
ZigBee. Este protocolo es utilizado en múltiples aplicaciones como en la domótica debido a su bajo consumo de energía, su topología malla y la fácil integración de distintos elementos electrónicos. De igual forma, “es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. El ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas WPAN” (Durán & Iturriago, 2012, p. 37). Cabe resaltar que, “esta

tecnología es impulsada por ZigBee Alliance y permite interconectar más de 2 nodos logrando transferencia de datos. Maneja velocidades de transmisión entre 20 y 250 Kbps, funcionando en la banda sin licencia de 2,4 GHz” (Durán & Iturriago, 2012, p. 37). Además, su alcance para interiores es de 40 metros y exteriores es de 120 metros con línea de vista.

Esta tecnología tiene tres tipos de topología como se muestra en la figura 1 y se clasifican de la siguiente forma. Estrella: Tiene un bajo consumo de energía y es conformada por un coordinador y varios esclavos; Malla: Donde existe varias rutas para el transporte de los datos y obtiene una alta confiabilidad, por último, Árbol: Es una combinación de las anteriores topologías mencionadas.

Figura 1.

Topología ZigBee



Nota. Elaboración propia

Módulos XBee. Estos módulos inalámbricos son “utilizados para realizar la comunicación bidireccional, fue mediante dispositivos XBee de la Serie 1 modelo IC: 4214A-XBee, con capacidad de hasta de 8 entradas y salidas digitales” (Durán & Iturriago, 2012, p. 38). De igual forma, “estos dispositivos XBee utilizados en las pruebas son del fabricante DIGI como se indica en la figura 2 y permite eliminar el cable de comunicación entre el PC y dispositivos a

controlar” (Durán & Iturriago, 2012, p. 38).

Unos de los beneficios de este tipo de módulos es que tiene una gran flexibilidad en la configuración del sistema y cabe resaltar que maneja una latencia o retardo de 30ms, tiene un alcance de 30m en interiores y exteriores en línea de vista 100m.

Figura 2.

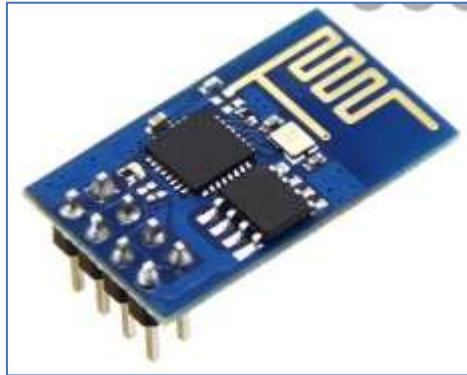
Módulos XBee



Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Wi-Fi.

Consiste de un estándar que, “implementa los niveles inferiores del modelo OSI, en concreto, el nivel físico y el de enlace sobre un canal inalámbrico. En su concepción se pensó para sustituir a Ethernet (estándar 802.3) en aquellas zonas o puntos donde difícilmente se llegar con un cable” (Cunalata, 2020, p. 17).

Figura 3.*Módulo Wi-Fi*

Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

RFID

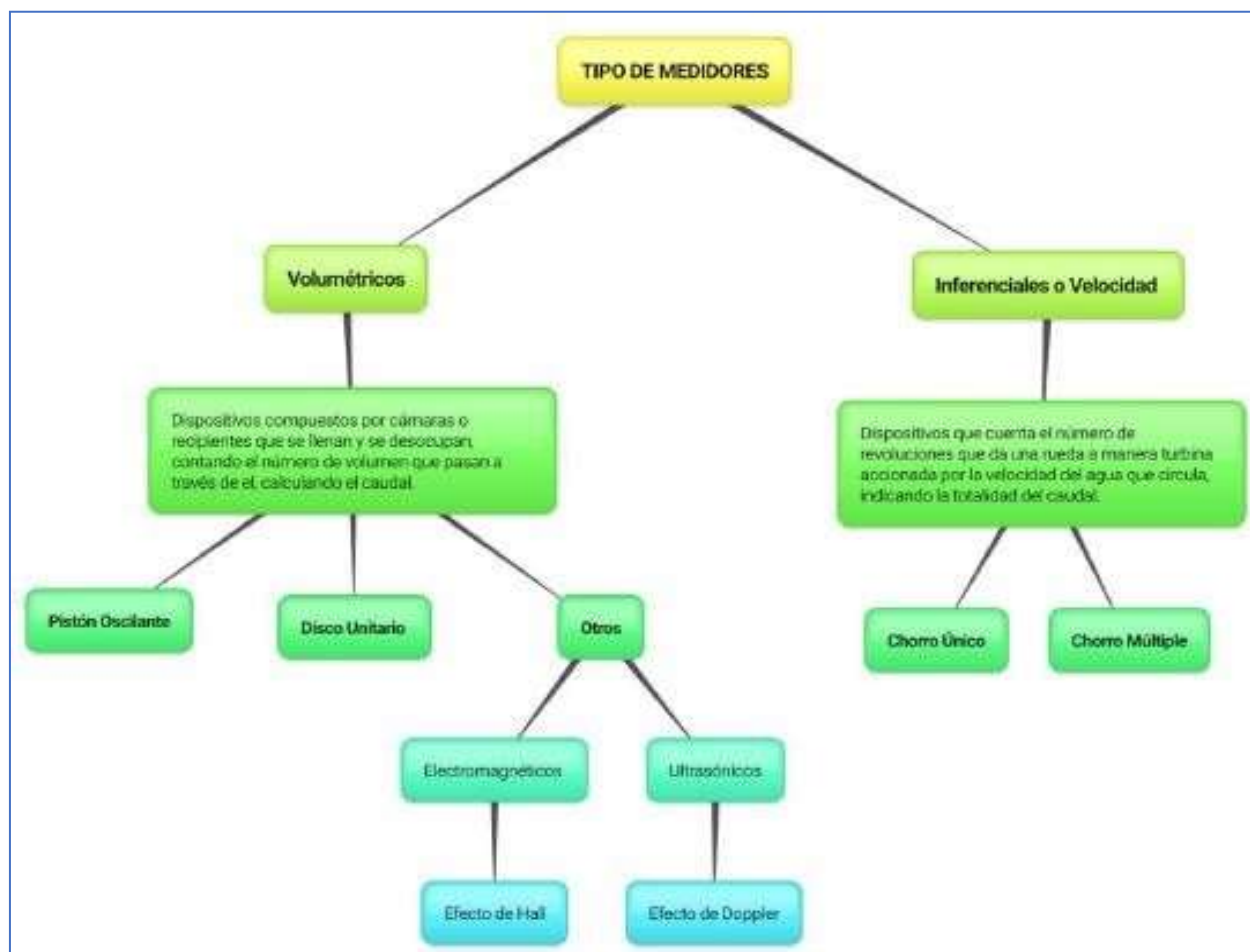
. Esta tecnología, “corresponde con un método de almacenamiento y recuperación remota de información, basado en el empleo de etiquetas en las que se almacenan los datos. De forma que cuando dichos transpondedores entran en el área de cobertura de un lector RFID, éste envía una señal para que la etiqueta le transmita la información almacenada en su memoria” (Cunalata, 2020, p. 16). En pocas palabras, uno de los beneficios es tomar datos de las etiquetas dispersas en el medio mediante la radio frecuencia, sin la necesidad de contacto físico entre el lector y transportador. Pero, existe una limitante respecto al alcance, que no podrá superarlo de acuerdo a la potencia impuesta por Tx máxima y Rx mínima detectable.

Figura 4.*Módulo RFID*

Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Medidores de agua

Este instrumento hace referencia a “un dispositivo perteneciente a una conexión que registra con precisión la cantidad de agua que pasa a través de él. Suele usarse en las conducciones de abastecimiento de agua de instalaciones residenciales e industriales, para realizar los cobros pertinentes a los usuarios” (Cunalata, 2020, p. 6). A continuación, se observa una clasificación de estos instrumentos:

Figura 5.*Clasificación de medidores*

Nota. Elaboración propia

Medidores de agua (Volumétricos) existentes en Colombia.

V200P.

Este contador es “diseñado para la facturación de consumos, ofrece alta precisión en cualquier posición de instalación. Además, tiene una larga vida útil y con excelentes características proporcionadas por el pistón de pared ranurada. Este pistón evita la deposición de partículas sólidas, reduciendo la posibilidad de parada del contador” (Acuatubos S.A.S, 2017).

Figura 6.*Medidor V200P*

Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_Contadores.pdf)

S150 y S150P.

El contador S150 y S150P, “pertenece a la familia de contadores de velocidad y chorro único de Honeywell. Diseñado para uso domiciliario bajo los parámetros de la normativa ISO 4064, ofrece una alta calidad metrológica a lo largo del tiempo” (Acuatubos S.A.S, 2017). Este dispositivo está disponible con esfera inclinada, facilitando la lectura en instalaciones de difícil acceso.

Figura 7.*Medidor S150 y S150P*

Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_CONTADORES.pdf)

V100.

El V100, “es un medidor volumétrico diseñado para medir agua potable fría para facturación de ingresos de las empresas de servicios públicos. El diseño único del V100 ofrece una combinación inigualable de precisión, durabilidad y seguridad” (Acuatubos S.A.S, 2017).

Figura 8.

Medidor V100



Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_Contadores.pdf)

QALCOSONIC WI.

Medidor ultrasónico, “diseñado para medir con alta precisión el consumo de agua fría y caliente en acometidas comerciales y domiciliarias. Garantía de estabilidad en la precisión de la medición en el largo plazo, Radio integrado de fábrica para IOT:NFC, LoRa, WM-Bus Y Alta precisión en la medición” (Acuatubos S.A.S, 2017).

Figura 9.*Medidor QALCOSONIC W1*

Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_Contadores.pdf)

M120i. El contador M120i, “pertenece a la familia de contadores de velocidad y chorro múltiple de Honeywell. Diseñado para uso domiciliario bajo los parámetros de la normativa ISO 4064. La esfera está preparada para la fácil colocación de un emisor de pulsos de tipo inductivo bidireccional” (Acuatubos S.A.S, 2017).

Figura 10.*Medidor M120i*

Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_CONTADORES.pdf)

H4000i. El contador H4000i ha sido, “diseñado para la medición de grandes caudales de agua fría tanto en aplicaciones comerciales como industriales. Puede ser instalado en horizontal,

vertical o inclinado. La esfera está preparada para la fácil colocación de un emisor de pulsos de tipo inductivo bidireccional” (Acuatubos S.A.S, 2017).

Figura 11.

Medidor H4000i



Nota. Adaptado de *Catálogo de medidores para agua potable*, por Acuatubos, 2017 (https://acuatubos.com.co/descargas/catalogo/HONEYWELL_CONTADORES.pdf)

Sensores de flujo

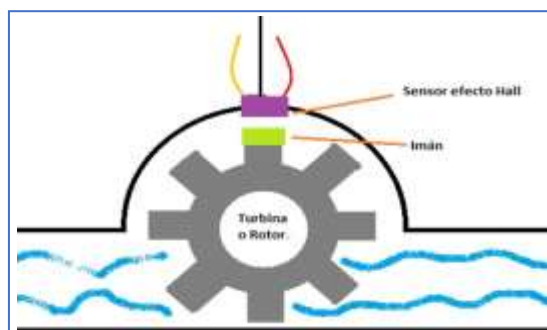
Este es un sensor de flujo o también conocido como sensor de caudal; “es medido normalmente por la cantidad de volumen que pasa por una tubería en determinado tiempo, está dado en magnitudes de litros por hora (l/h), litros por minuto (l/m), metros cúbicos por hora (m^3/h), entre otras medidas comunes” (Cunalata, 2020, p. 16). Estos sensores indican que para el respectivo funcionamiento se debe ubicar directamente en la tubería de entrada. El principio de funcionamiento de estos sensores es mediante El efecto hall, consiste en la aparición de un campo magnético, que genera pulsos eléctricos por separación de cargas; En la figura 12 se puede observar, que en la turbina o rotor se encuentra un imán con recubrimiento plástico, el cual va a pasar cada determinado tiempo por el sensor de efecto hall, este periodo de tiempo es directamente proporcional al flujo del agua que pasa a través del sensor.

Físicamente, es conocido como atracción o repulsión de cargas, la cual indica que el campo eléctrico generado sobre el punto P (sensor de efecto hall) en base al imán que se

mantiene en constante movimiento por el flujo de agua, el pulso resultante tendrá un valor de 0 cuando la parte positiva del imán este cerca del sensor (circuito abierto) y tendrá un valor de 1 cuando la parte negativa del imán este cerca al sensor. (Cunalata, 2020, p. 16)

Figura 12.

Principio de funcionamiento



Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Sistemas embebidos

IoT.

Con la revolución Digital “se empezó a hablar de un término que hoy en día es muy común encontrar, el "Internet de todas las cosas", término acuñado a los sistemas embebidos con conexión a internet, se dice que en específico son sistemas embebidos ya que son implementados para objetos que cumplen funciones específicas” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 11). Cabe resaltar, que no es únicamente un sistema embebido, sino que también es de fácil integración de distintos sensores como actuadores, para que esté en la capacidad de hacer acciones como recopilación de datos a través de los mismos y enviarlos a distintas plataformas para ser visualizados.

Arduino.

Actualmente, esta plataforma es muy utilizada en muchas de las aplicabilidades como

mecatrónicas, domótica y muchas más. Cabe resaltar que una de las principales ventajas es que se puede “dotarlo de comunicación de una forma sencilla añadiendo un shield y dispondremos de casi cualquier tipo de comunicación tanto de acceso a Internet para comunicar arduinos entre sí o con otros dispositivos de una red privada” (Crespo, 2017). Además, este sistema embebido es adaptable a distintos sensores dependiendo del caso a requerir, distintos módulos de comunicación y actuadores.

Figura 13.

Placa Arduino UNO



Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

NodeCMU ESP8266.

Este dispositivo es un “circuito integrado que encapsula un módulo Wifi fabricado por Espressif, este cuenta con la pila completa de los protocolos más importantes como son el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el Protocolo de Internet(IP) y un microcontrolador, este es compatible con el estándar IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n y soporta protocolos de seguridad inalámbrica WEP, WPA y WPA2” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 12). Otro beneficio de este módulo es la facilidad de conexión con plataformas IoT como Ubidots, thinger, etc.

Figura 14.*Placa NodeMCU ESP8266*

Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Raspberry PI.

Es importante destacar que la RPi, “es un pequeño ordenador capaz de alojar un sistema operativo y con mejores prestaciones que un Arduino. Por otro lado, su precio es superior al de Arduino. En general, aunque los primeros casos de uso surgieron en pruebas de concepto a nivel domótico, la RPi tiene un uso mucho más amplio y, a día de hoy, se puede ver este dispositivo en numerosos sectores (industria, seguridad, telecontrol, etc” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 45).

Figura 15.*Placa RaspBerry PI*

Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

PYCOM.

Es el dispositivo “más barato y sencillo de implementar a la hora de desarrollar un entorno de IoT. Arduino es la solución perfecta para hacer pruebas básicas, como la ya más que conocida iniciación realizando un sistema de medición de temperatura y humedad, hasta soluciones más complejas donde se despliegan numerosos sistemas de medición y que suben esa información con un servidor” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 46).

Figura 16.

Placa PYCOM



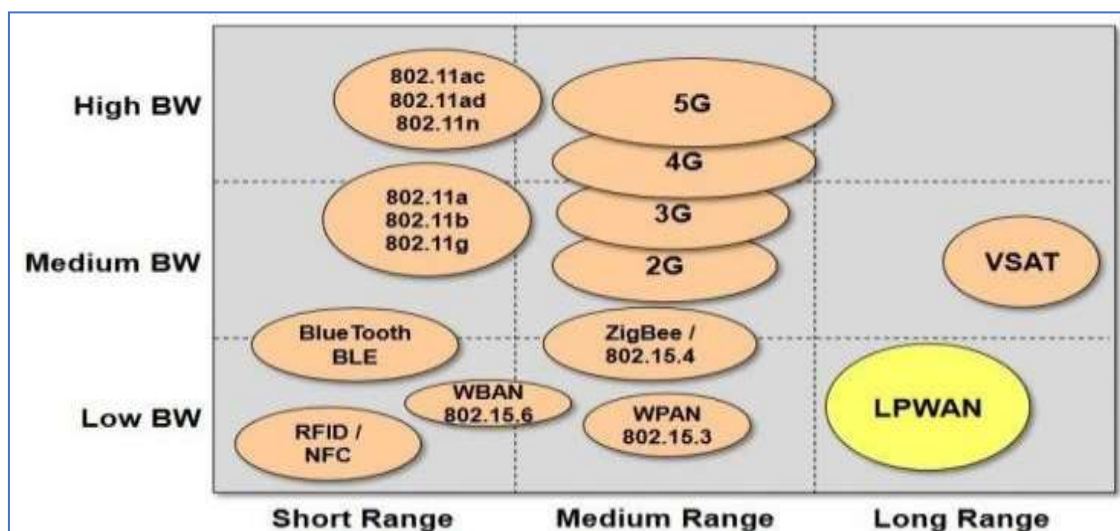
Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Redes LPWAN

Las actuales redes de comunicación inalámbrica, “no se ajustan a los requisitos de IoT por diversos motivos: las tecnologías como bluetooth y ZigBee no están diseñadas para largo alcance y las tecnologías 3G, 4G y 5G que presentan un mayor alcance consumen mucha energía” (Hernández, 2020, p. 10). Como solución a esta necesidad nace “LPWAN, siglas de Low Power Wide Area Network. Su objetivo es dar conectividad a un elevado número de elementos en una zona de cobertura amplia minimizando el consumo de energía” (Hernández, 2020, p. 10).

Figura 17.

Comparativa de tecnologías inalámbricas respecto al ancho de banda



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020

(<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

Como se aprecia en la figura 21, no es posible que una tecnología inalámbrica pueda cubrir todos los requerimientos IoT. La tecnología LPWAN cubre casi en exclusiva las necesidades de aquellas aplicaciones que requieren transferir de forma inalámbrica pequeñas cantidades de datos, pocas veces al día y a través de largas distancias.

Las redes LPWAN no permiten transmitir grandes cantidades de datos, pero lo hacen a grandes distancias. “Esto supone no transmisión de datos constantes, ni llamadas, ni enviar texto. Por tanto, sirven para interconectar dispositivos que requieran mínimo ancho de banda, por esto las principales aplicaciones son: Ciudades inteligentes, Industria, Agricultura, ganadería, Medicina, Dispositivos personales y Tracking” (Hernández, 2020, p. 11).

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado diferentes tecnologías LPWAN que cumplen los requisitos que necesita la industria IoT para poder conectar la gran cantidad de

dispositivos y son:

Larga duración de la batería: la baja señalización permite una duración de las baterías de años.

Bajo coste: los protocolos simplificados y livianos de LPWAN reducen la complejidad en el diseño hardware reduciendo los costes. Cobertura amplia: el alcance operativo de LPWAN varía desde pocos kilómetros en áreas urbanas hasta más de 10 km en entornos rurales. También permite una efectiva comunicación de datos en ubicaciones interiores y subterráneas. Baja potencia: optimizados para el consumo de energía, los transceptores LPWAN pueden funcionar con baterías pequeñas y económicas hasta por 20 años. Soporte para un gran número de dispositivos: dada la baja señalización soportan un gran número de dispositivos. (Hernández, 2020, p. 12)

Por lo general, las redes LPWAN se asocian con redes de sensores y dispositivos distanciados geográficamente, que solo transmiten poca información sobre su estado. Dentro de las tecnologías LPWAN más importantes encontramos una división: “las redes LPWAN sin licencia donde se encuentran Sigfox, LoRaWAN y ZigBee lo que provoca que necesiten mecanismos de protección contra interferencias, como ensanchado de espectro y las redes LPWAN con licencia donde se encuentran LTE-M y NB-IoT” (Hernández, 2020, p. 12).

Sigfox. Utiliza las bandas de radio sin licencia ISM en el espectro de 868 MHz para Europa y 902 MHz para EEUU. Esto le obliga a no poder ocupar el canal más de cierto porcentaje del tiempo. Sus principales características son:

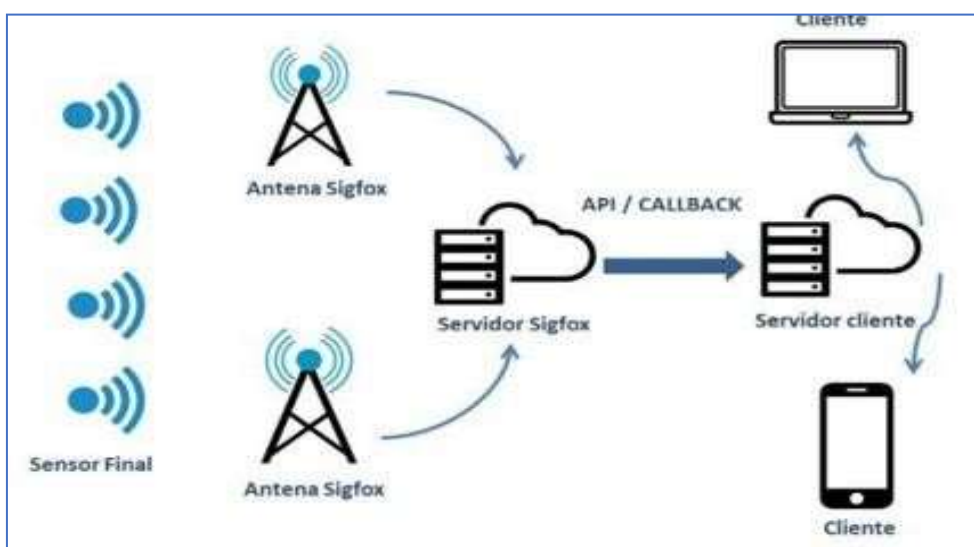
Opera en las bandas 433 MHz para Asia, 868 MHz en Europa y 902 MHz en EEUU; Los dispositivos finales se conectan a las estaciones base mediante modulación BPSK con una portadora de ancho de banda ultra-estrecha; Utiliza Ultra Narrow Band (UNB) diseñada para funcionar con bajas velocidades de transferencias de 10 a 1.000 bits por segundo;

Consume 50 microvatios, lo que permite una vida útil de las baterías de 20 años; Alcance de 40 km en ambientes rurales y 10 en ambientes urbanos; Transmite mensajes de 12 bytes; Duty cycle, impone una de las limitaciones más fuertes sobre Sigfox, el límite en el número de mensajes diarios por dispositivo a 140 (Hernández, 2020, p. 13).

Esta tecnología proporciona una estructura de telecomunicaciones construida e independiente de cualquier red existente. Su topología es en estrella con un funcionamiento simple, los dispositivos se conectan a las estaciones base que recopilan la información y llegan a la respectiva nube.

Figura 18.

Arquitectura Sigfox



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020 (<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

LoRaWAN. Es una técnica de modulación orientada a IoT que utiliza la banda ISM, aunque puede operar en cualquier frecuencia por debajo de 1GHz. Sus principales características son:

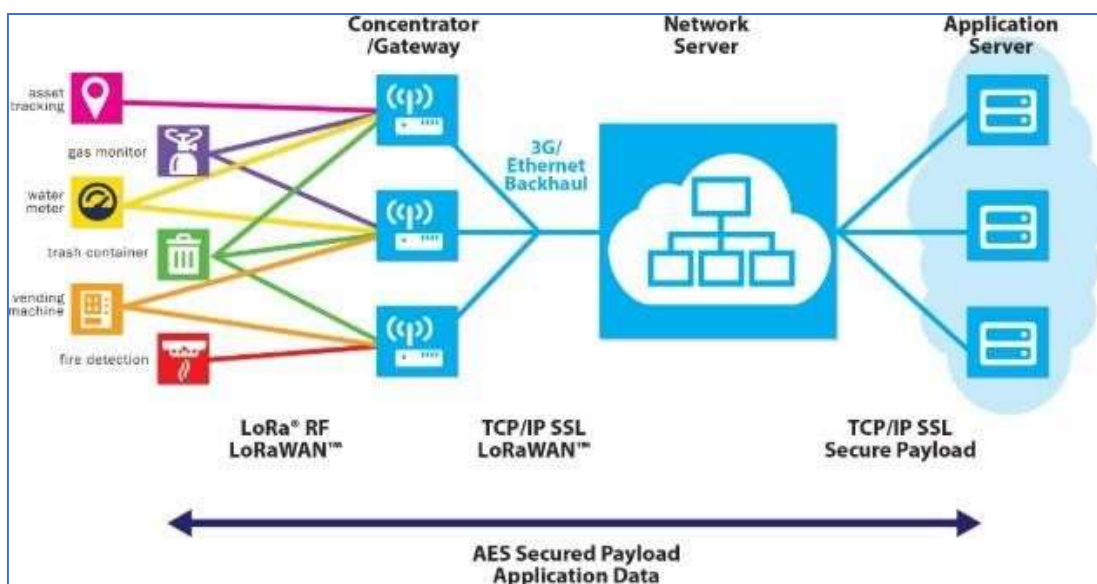
Opera en las bandas 433 MHz para Asia, 868 MHz en Europa y 915 MHz en EEUU;

Espectro ensanchado donde la señal a mandar utiliza más ancho de banda que el necesario teóricamente pero que permite una recepción de múltiples señales a la vez que tengan distinta velocidad; Velocidad de 0.3kbps para SF12 hasta 5486 kbps para SF7; Alcance de 14 km para SF12 y 2 km para SF7. (Hernández, 2020, p. 15)

Utiliza una red en forma de estrella de un solo salto. Son redes fáciles de implementar y gestionar ya que no necesitan elementos de enrutamiento. Los gateway retransmiten la información que procede de los dispositivos finales a un servidor de red.

Figura 19.

Arquitectura LoraWAN



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020

(<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

LTE-M. Es una tecnología complementaria de fácil implantación en dispositivos 2G, 3G y 4G. Actualmente la red LTE-M, “permite la transmisión de imágenes, de texto y voz. LTE-M fue estandarizado en 2016 por el 3GPP en la Rel13 al igual que NB-IoT. Se refiere específicamente a LTE CatM1, adecuado para el IoT” (Hernández, 2020, p. 16). Utiliza

modulación QPSK, sus principales características son:

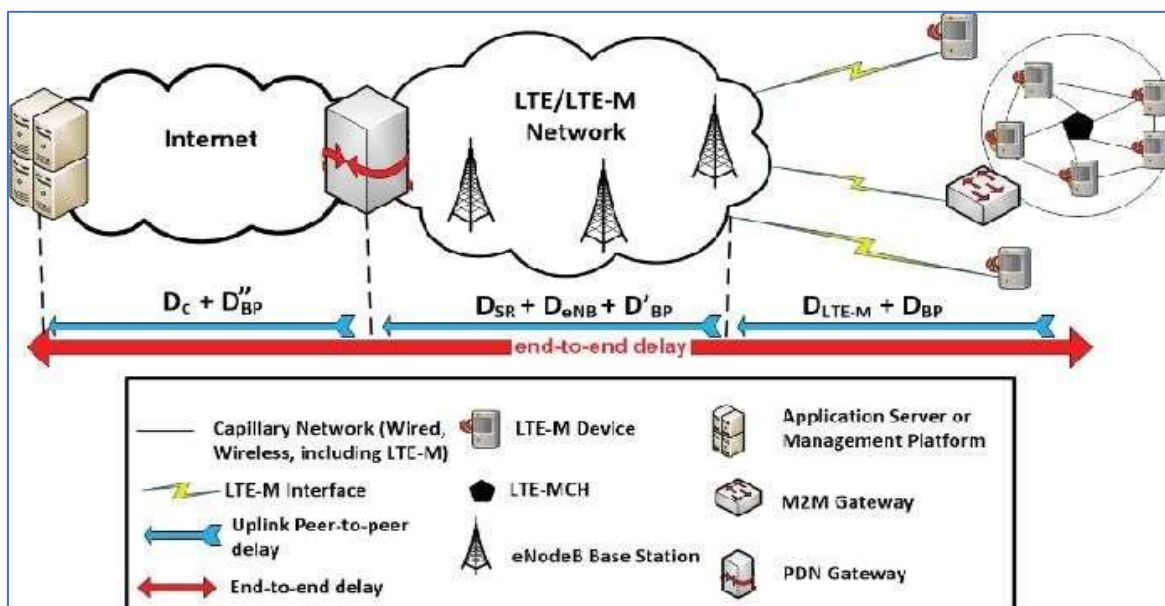
- Opera en las bandas de frecuencia LTE con licencia; Velocidades de datos de 1.4 MHz;
- Soporte de funcionalidad de voz a través de VoLTE; Permite aplicaciones en tiempo real;
- Alcance de 1 km en áreas urbanas y 5 km en áreas suburbanas; Movilidad total.

(Hernández, 2020, p. 16)

LTE-M se basa en la arquitectura de la red LTE, denominada EPC (Evolved Packet Core), con alguna optimización para soportar IoT. Los dispositivos se conectan al gateway si se recopila la información de múltiples dispositivos o directamente a las estaciones base (eNodeB) que recopilan la información y la hacen llegar a internet.

Figura 20.

Arquitectura LTE-M



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020

(<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

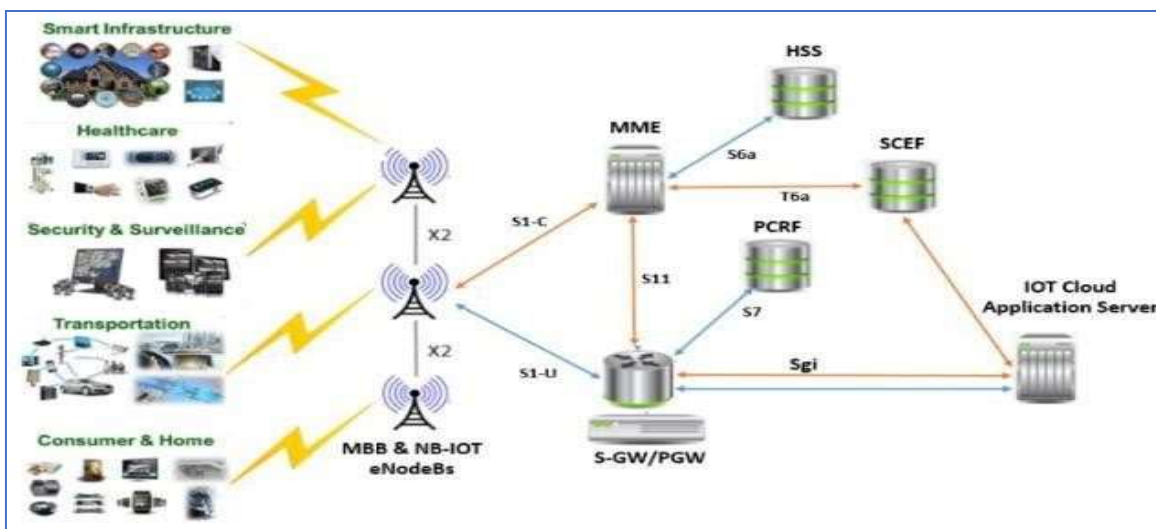
NB-IoT (NarrowBand Internet of Things). Es una tecnología de banda estrecha que puede coexistir con GSM y LTE bajo bandas de frecuencia con licencia introducida por el 3GPP. Utiliza técnica de modulación QPSK, sus características son:

Opera en las bandas de frecuencia LTE con licencia; Ancho de banda de 200kHz con velocidades de aproximadamente 100 kbps; Soporte de funcionalidad de voz a través de VoLTE; Movilidad total; Alcance de 10 km en áreas suburbanas. (Hernández, 2020, p. 18)

La arquitectura básica consta de dos partes, la red de acceso y la red central del sistema de paquetes evolucionado (EPS). En la arquitectura de la red de acceso no hay cambios, pero en la red Central tanto el plano de usuario como el plano de control, se realizan algunas optimizaciones para admitir aplicaciones IoT.

Figura 21.

Arquitectura NB-IoT



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020 (<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

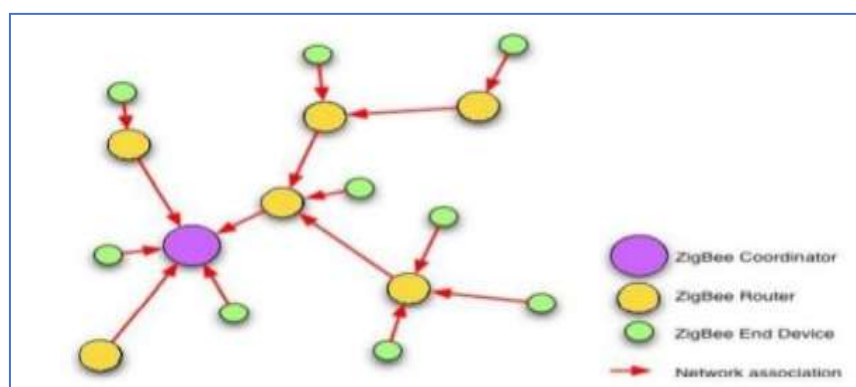
ZigBee. Este protocolo fue creado para el control y monitoreo con bajo consumo

energético y bajo costo en implementación la cual, “funciona por radio con modo bidireccional, es decir que puede enviar y recibir datos, esta tecnología puede emplear diferentes topologías de red como estrella, malla, punto a punto y árbol creando una red local” (Hernández, 2020, p. 25). Ofrece, velocidades comprendidas entre 20 Kbps hasta 250 kbps; El alcance entre dispositivos es de 0-100 m; Opera bajo las frecuencias de 2.4 GHz; Puede ser alimentado con dos pilas AA durante 6 meses y hasta 2 años; Agilidad en frecuencia, es decir que las redes cambian los canales de forma dinámica en caso que ocurra interferencia; Escalabilidad de red, proporciona un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo opciones de gestión, flexibilidad y desempeño. (Hernández, 2020, p. 25)

En su arquitectura existen 3 tipos de dispositivos: Coordinador, es el encargado de centralizar la información; Router, es el encargado del enrutamiento de saltos múltiples de los mensajes; Dispositivo final, es el encargado de recopilar la información proveniente de sensores.

Figura 22.

Arquitectura ZigBee



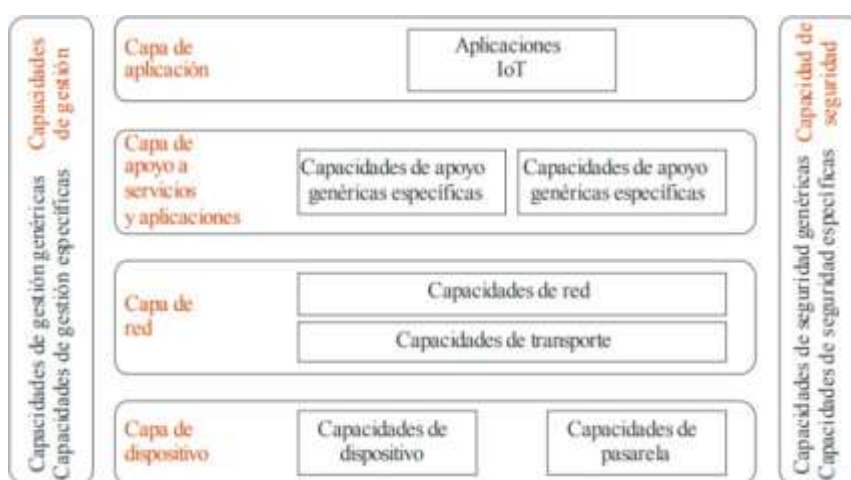
Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020 (<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

Internet de las cosas (IoT)

Arquitectura. Esta estructura es construida alrededor de una arquitectura multicapas en la cual los objetos inteligentes se conectarán y se usarán para prestar diferentes servicios por medio de las cuatro capas principales, la capa de aplicación, la capa de soporte de servicio y aplicación, la capa de red y la capa de dispositivo.

Figura 23.

Arquitectura de IoT



Nota. Adaptado de *Diseño de una red IoT para el hogar*, por Oscar Corredor, 2020 (https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17670/1/2020_diseno_red_iot.pdf)

IoT puede imaginarse como una estructura que ofrece servicios de aplicación habilitados por varias tecnologías. Sus servicios de aplicación pueden dotar de inteligencia a ciudades, transporte, edificios, administración de la energía, de la industria, y de la salud, proporcionadas por diferentes sensores y redes de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network), nanotecnología, identificación de radio frecuencia RFID (Radio Frequency Identification), localización, almacenamiento y nube. Los sistemas y aplicaciones de la IoT están diseñados para brindar escalabilidad, seguridad, privacidad, transparencia, protección, confianza, fiabilidad, anonimato e integridad.

Capa de aplicación IoT

. La capa de aplicación contiene las aplicaciones para IoT y el control de las mismas, por medio de la computación en la nube, reconocimiento difuso y otras tecnologías de computación inteligente para el análisis y cómputo de grandes cantidades de información y de control inteligente.

Capa de soporte de servicios y aplicaciones IoT.

La capa de soporte de servicios y aplicaciones consiste en los dos siguientes grupos de capacidades: Capacidades de soporte genéricas: Son funciones comunes que pueden ser utilizadas por diferentes aplicaciones IoT, tales como procesamiento o almacenamiento de datos. Estas funciones también pueden utilizar las otras funciones específicas para crear otras funciones específicas; Capacidades de soporte específicas: Son funciones para atender las necesidades particulares de diversas aplicaciones.

Capa de red IoT.

Está basada en dos tipos de capacidades: Capacidades de red: ofrecen funciones de control de la conectividad en red, tales como funciones de control de acceso y de recursos de transporte, gestión de la movilidad y autenticación, autorización y contabilidad; Capacidades de transporte: centradas en suministrar conectividad para el transporte de información y datos específicos de servicios y aplicaciones IoT, así como el transporte de información de control y gestión relacionada con IoT.

Capa de dispositivo IoT.

Se puede efectuar una clasificación de las capacidades de la capa de dispositivo, en dos tipos: Capacidades de dispositivo, dentro de las cuales se tienen: Interacción directa con la red de comunicaciones: Los dispositivos pueden obtener y cargar información directamente en la red

de comunicación y pueden recibir directamente información de la red de comunicación;

Capacidades de pasarela, son entre otras: Soporte de interfaces múltiples: En la capa de dispositivo, las capacidades de pasarela soportan dispositivos

conectados mediante diferentes tipos de tecnologías alámbricas e inalámbricas, tales como el bus de red de control de zona (CAN), ZigBee, Bluetooth o Wi-Fi.

En la capa de red, las capacidades de pasarela pueden comunicarse a través de diversas tecnologías, tales como la red telefónica pública conmutada (PSTN), las redes móviles de tercera o cuarta generación (3G o 4G), las redes 5G (evolución a corto plazo), Ethernet o las líneas digitales de abonado (DSL).

Metodología

El presente proyecto rige a conceptos de aplicación aplicada, debido a que tiene como finalidad la generación de entendimiento con aplicación directa a problemáticas de la sociedad. Para crear un diseño de un prototipo de medición de caudal por medio de arquitectura IoT, que da solución a un problema de la empresa proveedora de servicio de agua.

Metodología Cualitativa

El tema del diseño de la investigación cualitativa, tiene como finalidad la toma de decisiones.

Método Experimental

La Investigación de campo

Consiste en un estudio sistemático para estipular las características del sistema a diseñarse. Se realiza la recopilación de información, la toma de datos y verificación del funcionamiento. Empleando el método experimental, para realizar el diseño de la interconexión de las etapas (Censado, comunicación y visualización de datos), con el fin de verificar las distintas fases.

Recopilación de información

Para dicha recolección de información se citarán diversas fuentes bibliográficas, repositorios institucionales, artículos, etc. Además, se visitó lugares de información como la biblioteca de la Universidad de Nariño con el fin de entrar en contexto de las diferentes tecnologías aplicadas actualmente para resolución de problemáticas

Técnicas

Considerando que la implementación del prototipo en línea de monitoreo y obtención de parámetros físicos, requiere el conocimiento del experto en el tema de la obtención de lecturas de

consumo de agua en residencias. El presente trabajo considera, entrevistar al profesional para llevar a cabo la ejecución.

Ejecución del proyecto

Para llevar a cabo este prototipo, se realizan las siguientes actividades:

- Recopilación de escritos sobre equipos de medición de caudal, que se emplean.
- Identificación de parámetros técnicos de los medidores: Principio de funcionamiento, unidad de medida y rangos de operación.
- Identificación de conexión física del medidor de caudal en hogares.
- Analizar especificaciones técnicas de tecnologías inalámbricas como: Alcance, alimentación, ventajas/desventajas y factores ambientales que impidan su correcta funcionalidad de acuerdo al contexto.
- Selección de elementos que requiera el diseño electrónico para la medición del caudal.
- Ejecución de pruebas experimentales de sus correspondientes fases.
- Detección y corrección de fallas en las distintas etapas, como parte de la estructuración del diseño y construcción del sistema.

Desarrollo del prototipo

Requerimientos del prototipo

Para el diseño de un prototipo de medición de consumo de agua en entornos residenciales mediante el uso de un sistema bajo el estándar IEEE 802.15.4, soportado en un sensor de caudal, tecnología de comunicación XBee y registro de información en la nube, se plantea lo siguiente:

- Monitorizar el consumo de agua en hogares en tiempo real.
- Almacenar las respectivas lecturas de consumo en un gestor de datos en la nube.
- Visualizar el consumo de agua mediante una página web o plataforma IoT.

Figura 24.

Diagrama de bloques del sistema



El diagrama de bloques consta de tres etapas como se muestra en la Figura 26. La primera consiste, en la toma de datos de consumo de agua mediante un sensor de caudal y procesar la información e interpretarla y transformarla en metros cúbicos con un sistema embebido. La segunda etapa consta, de una comunicación que enlaza con la tercera etapa, esto con el fin de enviar los datos en tiempo real a la nube, indicando el consumo en metros cúbicos. La tercera etapa se encarga de almacenar el dato en un gestor de bases de datos y a su vez comunicarse, mediante wi-fi a una interfaz gráfica sea web o móvil donde el usuario y la empresa proveedora de este servicio pueda visualizar la información respectiva.

Además, en la interfaz web cuenta con un testeo de una electroválvula o solenoide, donde

de manera remota podrá suspender el servicio de agua a dicho suscriptor, esto hace que el sistema maneje una comunicación bidireccional.

Selección de instrumentación y módulos electrónicos para el sistema

Los implementos que hacen parte del sistema se han elegido acorde al diagrama de bloques. Por lo tanto, se realiza un análisis de especificaciones técnicas de cada de ellos y seleccionar el adecuado para cada etapa. Cabe resaltar que se tendrá en cuenta la relación beneficio/costo.





El sistema en general está conformado de las siguientes fases:

- Censado
- Control y procesamiento de datos
- Comunicación inalámbrica
- Envío a BBDD (Bases de datos)
- Monitoreo

Censado

Sensor de flujo de agua. Se encarga de medir la cantidad de agua que atraviesa una tubería, en instalaciones residenciales, “los diámetros habituales de tuberías son: 1, $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ siendo la tubería $\frac{1}{2}$ la que se utiliza en residencias. Las presiones en las redes de distribución equivalen a 3.5 Bares en Colombia. Además, establece un caudal entre 6 *l/min* (litros por minuto) a 12 *l/min* habitual en tuberías de $\frac{1}{2}$ ” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 46). En la tabla 1, se detallan los sensores más usados en aplicaciones residenciales. A continuación, se describen sus características:

Tabla 1.*Sensores de Flujo*

Características		Voltaje de operación	Conexión tubería	Caudal	Aplicabilidad
Referencia Sensor	Imagen				
YF-S401		5v – 12v	1/4"	0.3 – 6 L/min	Domótica residencial
YF-S201		5v – 18v	1/2"	1 – 30 L/min	Domótica residencial
FS-300 ^a		5v – 24v	3/4"	1 – 60 L/min	Domótica residencial
FS-400 ^a		5v – 24v	1"	1 – 60 L/min	Domótica industrial

Todos los modelos de sensores de caudal mencionados en la Tabla 1, cuentan con tres cables para su respectiva conexión como se muestra en la Figura 27, dos de ellos para alimentación y uno para salida de pulsos a través de una onda cuadrada, siendo la frecuencia proporcional al caudal. “El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) según el modelo y depende de la presión de la tubería residencial. Para este sistema hemos elegido el sensor YF-201, que está conformado por un rotor cuyas paletas tienen un imán, la cámara en donde se encuentra, es totalmente hermética. Externamente la cámara tiene un sensor de efecto

hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor” (Torres, Rodríguez, Solano & Martín, 2020, p. 50). Este sensor, es adecuado para la implementación del sistema por sus parámetros mencionados en la tabla 1 como el caudal y conexión a la red de agua potable del hogar.

Figura 25.

Diagrama conexión Sensor de flujo






Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Control y procesamiento de datos

Placas Electrónicas. Para procesar los datos del sensor, se analiza el caudal que circula, que tiene una respuesta directamente relacionada con la frecuencia de la onda generada, que se considera fundamental en el proyecto. Para el respectivo procesamiento se requiere de una placa embebida cuyas especificaciones sean viables con la relación costo/beneficio como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2.

Placas Embebidas

Placas Características	Arduino UNO	Arduino MEGA 2560	Nanode
Gráfica			
Voltaje de entrada	5v – 12v	5v – 12v	10v – 15v
Microcontrolador	ATmega328	ATmega328	ATmega328
Entradas análogas	6	16	4
I/O Digital	14	14	14
Frec. De Reloj	16MHZ	16MHZ	16MHZ
Memoria EEPROM	1Kb	1Kb	51 bytes
Memoria SRAM	2Kb	2Kb	1Kb
Comunicación	I2C / SPI / Serial	I2C / SPI / Serial	I2C / SPI / Serial
Voltaje de operación	5v	5v	5v
Memoria FLASH	32Kb	256Kb	256Kb
Costo	\$45.000	\$74.000	\$120.000

La elección corresponde a un Arduino UNO, debido a que maneja las características

adecuadas para el procesamiento y transformación de los datos enviados por el sensor. Además, cumple con el requerimiento beneficio/costo.

Control y procesamiento de datos

Tecnología Inalámbrica. Para el envío de datos del sistema requiere una comunicación inalámbrica, que tiene como finalidad reducir los cables, de manera que evita la desconexión y los minimicen en su totalidad, con el fin de que el proyecto no presente inconvenientes de ningún tipo para su ejecución.

La Tabla 3, muestra las distintas tecnologías inalámbricas con parámetros técnicos para su implementación.

Tabla 3.

Tecnologías Inalámbricas

Tecnología	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee	WiMAX
Parámetros				
Estándar	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	IEEE 802.16
Alcance				
Máximo	10m	150m	50m	50Km
Velocidad de transmisión	3Mbps	54Mbps	250Kbps	100Mbps
Ancho de banda	1-32 Mbps	11-300Mbps	20-250Kbps	50-70Mbps
Frecuencia	2.4Ghz	2.4-5.8Ghz	868/915Mhz 1.4Ghz	2.3-3.5Ghz
Modulación	PSK-FSK	PSK-OFMD	BPSK-QPSK	OFMD
Acceso	TDMA	CSMA-CA	CSMA	DAMA-TDMA
Ventajas	Bajo consumo de energía	Disposición de equipos y bajo costo	Bajo costo y reducción energética	Apto para largar distancias y permite altos



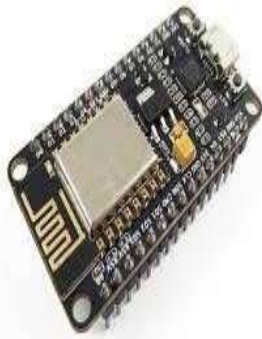
				niveles de potencia
Desventajas	Alcance muy limitado y baja velocidad de transmisión	Implementar protocolos de seguridad	Baja velocidad de transmisión	Costo elevado

La elección corresponde a tecnología Wi-Fi, debido a que se empleará para enviar los datos de la toma lectura de consumo de agua a la nube o plataformas IoT; Tecnología ZigBee, porque es empleada para enviar el dato del módulo transmisor que se ubica junto con el caudalímetro y hará enlace con módulo de recepción que se ubica dentro de la residencia junto a la placa de envío de información.

Envío a BBDD

Placas Electrónicas IoT. Un protocolo para IoT es un conjunto de estándares de comunicación M2M, establecidos para que estos dispositivos electrónicos formen parte de una red, que puedan comunicarse de manera eficiente, escalables e interactuar entre sí. Así mismo, permiten comunicaciones concurrentes de manera segura. En la Tabla 4, se observan parámetros técnicos de placas IoT.

Tabla 4.*Placas Electrónicas IoT*

Placa	RaspBerry PI 4	Pine A64	NodeMCU ESP8266
Gráfica			
Procesador	1.2GHz 64-bit Quad-Core ARMv8	1.2 Ghz 64-Bit Quad-Core ARM Cortex A53	ESP8266 @ 80MHz
Memoria interna	Tarjeta microSD	Tarjeta microSD	Capacidad de memoria externa flash QSPI - 512 KB a 4 MB Instruction RAM: 32KB
RAM	2GB	1 GB 2 GB	Data RAM: 96KB
Conectividad	4 USB 2.0 HDMI 2.4 Wifi Bluetooth 4.1 Bluetooth (BLE) Ethernet	2 USB 2.0 HDMI 1.4 Ethernet	Conversor USB-Serial CH340G / CH340G Wi-Fi
S.O.	Linux Windows IoT	Android Linux Windows IoT	XTOS IoT

Costo	\$340.000	\$250.000	\$20.000
--------------	-----------	-----------	----------

Se elige el módulo NodeMCU ESP8266, debido a que tiene una interfaz intuitiva y utiliza un lenguaje de programación comprensible. Para los requerimientos del prototipo no se necesita un sistema robusto, debido a que se evalúa una sola y no múltiples variables.

Visualización y monitoreo

Plataforma IoT o página WEB. Las plataformas y herramientas de IoT se consideran el componente más importante en el campo del internet de las cosas. Cualquier dispositivo permite conectarse a otros y aplicaciones para transmitir información, utilizando protocolos estándar de Internet. Estos entornos de IoT, tienen como funcionalidad la visualización y control de dichos datos al sistema de sensores y brinda información utilizando aplicaciones de back-end.

Figura 26.

Plataforma almacenamiento y monitoreo de variables



Nota. Adaptado de *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda*, por Daniela Paredes, 2020 (<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>)

Comparativa de tecnologías inalámbricas LPWAN para despliegue IoT

Teniendo en cuenta la información recopilada en el estado del arte acerca de las tecnologías LPWAN. Cada una de ellas, da solución a una necesidad distinta, dado que sus

parámetros no son iguales y presenta diferencias que se deben conocer, para elegir la tecnología adecuada a dicho caso.

Tabla 5.

Comparativa de tecnologías para despliegue IoT

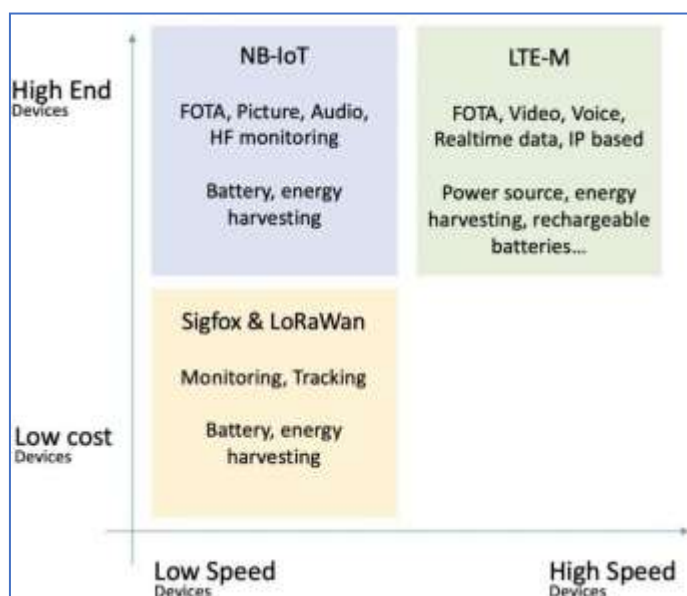
	Sigfox	LoRaWAN	LTE- M	NB-IoT
MODULACIÓN	BPSK	CSS	QPSK	QPSK
FRECUENCIA	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuencia a LTE con licencia	Bandas de frecuencia LTE con licencia y 2G
ANCHO DE BANDA	100 Hz	250 kHz y 125 kHz	1,4 MHz	200 kHz
VELOCIDAD MAX.DE DATOS	100 bps	50 kbps	1 Mbps	100 kbps
BIDIRECCIONAL	Half-duplex	Half-duplex	Full-duplex	Half-duplex
MÁXIMO MENSAJES / DÍA	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	ilimitado	Ilimitado
LONGITUD MÁXIMA DE CARGA ÚTIL	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	27.2 (DL), 62.5 (UL)	1600 bytes
DISTANCIA	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 5km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
DURACIÓN BATERÍA	20 años	15 años	10 años	10 años
INMUNIDAD A INTERFERENCIA	Muy alto	Muy alto	Medio	Bajo
AUTENTICACIÓN	No soportado	Sí (AES-128)	Sí (LTE)	Sí (LTE)
ENCRIPCIÓN	No	Si	No	No
TASA DE DATOS ADAPTATIVA	No	Si	No	No

HANDOVER	El dispositivo final no se une a una sola estación base	Los dispositivos finales no se unen a una sola estación base	Los dispositivos finales se unen a una sola estación base	Los dispositivos finales se unen a una sola estación base
COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL	No	No	Si	No
LOCALIZACIÓN	Sí (RSSI)	Sí (TDOA)	Sí	No

De la tabla 5, podemos concluir que dependiendo del tipo de datos que se quieran transmitir y del entorno se debe elegir la tecnología más adecuada. El siguiente gráfico compara las tecnologías LPWAN estudiadas anteriormente, teniendo en cuenta, el coste en el eje vertical y la velocidad en el horizontal.

Figura 29.

Diagrama comparativa de tecnologías LPWAN para despliegue IoT



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020 (<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

Para poder elegir una tecnología debe tenerse en cuenta las dos características: coste y velocidad como se muestra en la Figura 29 y llegar a un equilibrio entre ambas variables. Si ahora se realiza una comparativa en cuanto a parámetros IoT, para poder elegir una tecnología u otra son: calidad del servicio, duración de la batería, latencia, escalabilidad, longitud de la carga útil, cobertura, alcance, implementación y coste.

Calidad de servicio

Sigfox, LoRaWAN y ZigBee emplean espectro sin licencia (Banda ISM) y protocolo de comunicación asíncrono, lo que produce que no puedan ofrecer la misma QoS de NB-IoT y LTE-M. NB-IoT y LTE-M ofrecen espectro con licencia y protocolo de comunicación síncrono basado en LTE, que son óptimos para QoS.

Duración de batería

En Sigfox, LoRa, ZigBee y NB-IoT, los dispositivos se mantienen en modo de suspensión la mayor parte del tiempo, lo que reduce el consumo de energía y así aumentamos la vida útil de los dispositivos. Si es verdad que NB-IoT y LTE-M consumen más energía debido al protocolo asíncrono y el manejo de QoS.

Latencia

LTE-M, NB-IoT y LoRa clase C ofrecen baja latencia. A diferencia de Sigfox, ZigBee y LoRa clase A y B. Por lo tanto, para aplicaciones que son insensibles a la latencia y no tienen una gran cantidad de datos para enviar, Sigfox, ZigBee y la clase A LoRa son las mejores opciones. Para aplicaciones que requieren baja latencia, NB-IoT y clase-C LoRa son las mejores opciones y para aplicaciones en tiempo real LTE-M es la mejor opción.

Escalabilidad y longitud de carga útil

NB-IoT y LTE-M ofrecen la ventaja de una escalabilidad muy alta. Permite la conectividad de hasta 100K dispositivos finales por celda en comparación con 50K por celda para Sigfox y LoRa. Sin embargo, NB-IoT permite la transmisión de datos de hasta 1600 bytes. LoRa permite enviar un máximo de 243 bytes de datos. Por el contrario, Sigfox propone la longitud de carga útil más baja de 12 bytes, lo que limita su utilización en varias aplicaciones de IoT que necesitan enviar grandes tamaños de datos.

Rango

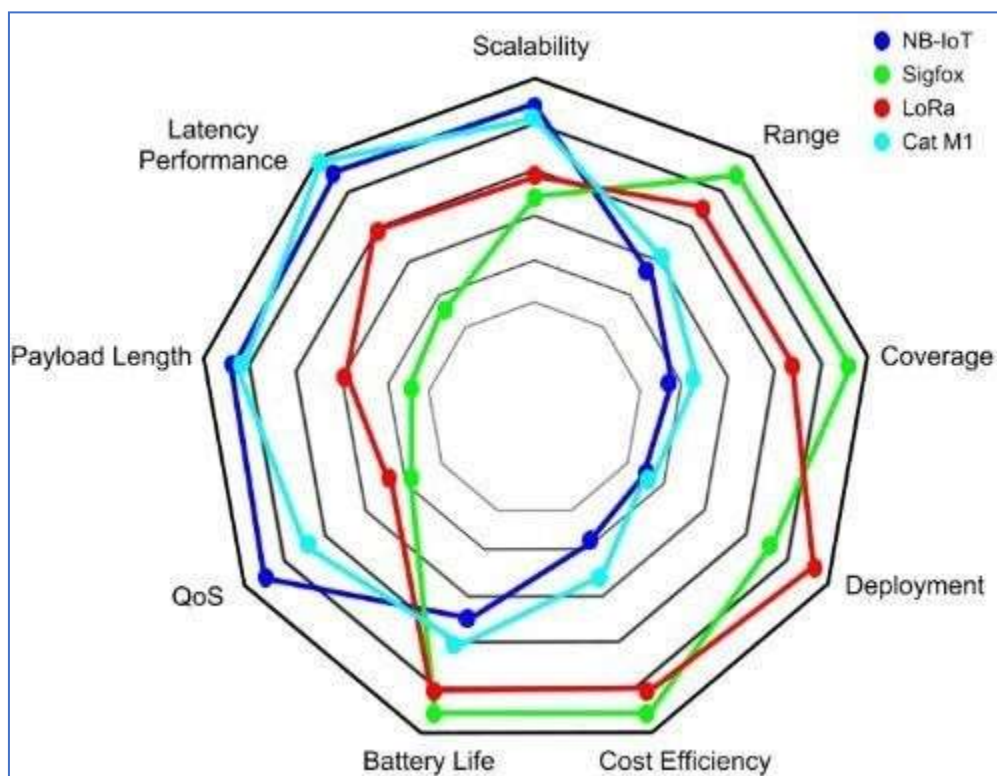
La principal ventaja de Sigfox es un rango ya que es capaz de llegar a los 40 km en áreas rurales. Por el contrario, LoRa tiene un rango de 10 km centrándose más en interiores. NB-IoT y LTE-M utilizan las estaciones base LTE, por lo tanto, no son adecuados para regiones rurales o suburbanas que no se benefician de cobertura LTE.

Costo

Se deben considerar varios aspectos de coste, como el coste del espectro (licencia), el costo de red / implementación y el coste del dispositivo. Sigfox, ZigBee y LoRa son más rentables en comparación con NB-IoT y LTE-M, ya que tienen un espectro libre y los dispositivos son más baratos.

Figura 27.

Mapa radial comparativa de tecnologías LWPAN para despliegue IoT



Nota. Adaptado de *Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN*, por José López & Xavi Guillen, 2020 (<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>)

A manera de resumen, se tiene:

	Sigfox	LoRa	LTE-M	NB-IoT
QoS	Media	Media	Alta	Muy Alta
Batería	20 años	15 años	10 años	10 años
Latencia	Alta	Alta clase A y B Baja en clase C	Baja	Baja
Escalabilidad	Baja	Baja	Alta	Alta
Rango	Alto	Media	Bajo	Bajo
Implantación	Medio	Alta	Baja	Baja
Coste	Bajo	Bajo	Alto	Alto

Con todo lo visto, se puede concluir que LoRa presenta ventajas en términos de duración de batería, implantación y coste; Sigfox ofrece ventajas en términos de cobertura, duración de la batería y coste mientras que, NB-IoT y LTE-M ofrecen beneficios en términos de QoS, latencia y escalabilidad.

Por lo tanto, en aplicaciones sensibles a la latencia como puede ser un parking inteligente, alarmas de incendios la mejor opción es NB-IoT. Si queremos utilizar aplicaciones en tiempo real como por ejemplo en sanidad para el control de constantes vitales de los pacientes, el tracking de personas o aplicaciones que necesiten VoLTE la mejor opción es LTE-M.

Si, por el contrario, las aplicaciones no son sensibles a la latencia, la mejor opción es LoRa, ZigBee o Sigfox debido a que tienen un menor coste. Por tanto, en funciones como el tracking de mercancías, el control del consumo de un hogar, la agricultura o mediciones meteorológicas LoRa, ZigBee o Sigfox son las adecuadas.

En base al análisis anterior, para el prototipado se utilizará el estándar ZigBee y Sigfox debido a su bajo costo, no requiere de compra de licencia. Cabe resaltar que Sigfox, se tiene una suscripción a manera de prueba para poder contrastar dicha solución entre estas dos tecnologías.

Para lograr desarrollar un proyecto de internet de las cosas se requiere una red de comunicaciones. Estas permiten la interconexión de dispositivos, máquinas, sensores y demás elementos, los cuales generan datos o información desde cualquier localización geográfica.

Las redes están formadas por diferentes tipos de medios tecnológicos que permiten la efectiva comunicación entre equipos que se encuentran a larga distancia. Diseño arquitectura del prototipo

Arquitectura Tecnológica para despliegue IoT

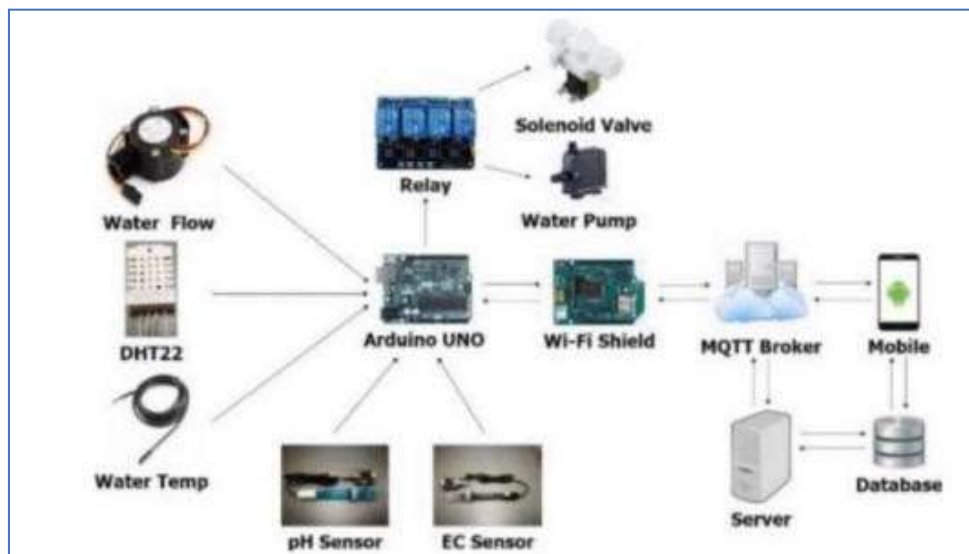
Existen propuestas de arquitecturas IoT inalámbricas aplicadas a las ciudades inteligentes en las redes NGN. En este ítem se estudiarán las más importantes:

Arquitectura Lambda

Ésta se soporta en cuatro componentes importantes: captura de datos, capa de velocidad o procesamiento, capa de almacenamiento o seguridad, y la capa de consulta. La capa de captura de datos es la encargada del ingreso de la información. Por su parte la capa de procesamiento atiende las solicitudes que tienen requisitos de baja latencia haciendo uso de algoritmos rápidos o incrementales. La capa de almacenamiento soporta toda la gestión de los datos realizando un histórico de estos. Y por último está la capa de consulta donde se representa toda la información ya sea obtenida en tiempo real o almacenada.

Figura 28.

Arquitectura Lambda



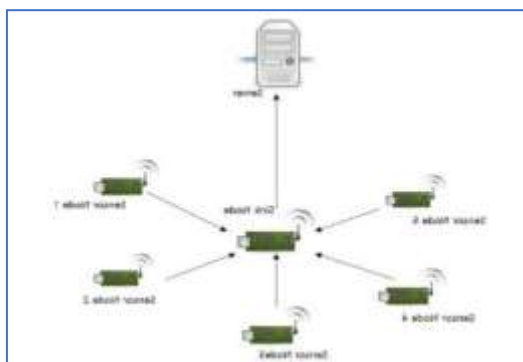
Nota. Adaptado de *Análisis del estado del arte del IoT*, por Juan Tapias, 2021 (<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/44574/jetapiasb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Arquitectura en sensores WSN

Esta arquitectura propone una red de comunicación de sensores WSN compuesto por varios sensores nodos, conectados a un sensor principal o central conocido como nodo Sink, el cual se conecta de forma directa al servidor como podemos observar en la Figura 29.

Figura 29.

Arquitectura en sensores WSN



Nota. Adaptado de *Análisis del estado del arte del IoT*, por Juan Tapias, 2021 (<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/44574/jetapiasb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

De acuerdo al análisis anterior, se opta por la arquitectura Lambda debido a que cumple con los requerimientos de cada etapa como captura de datos, procesamiento, almacenamiento y consulta.

Figura 30.

Arquitectura del prototipo

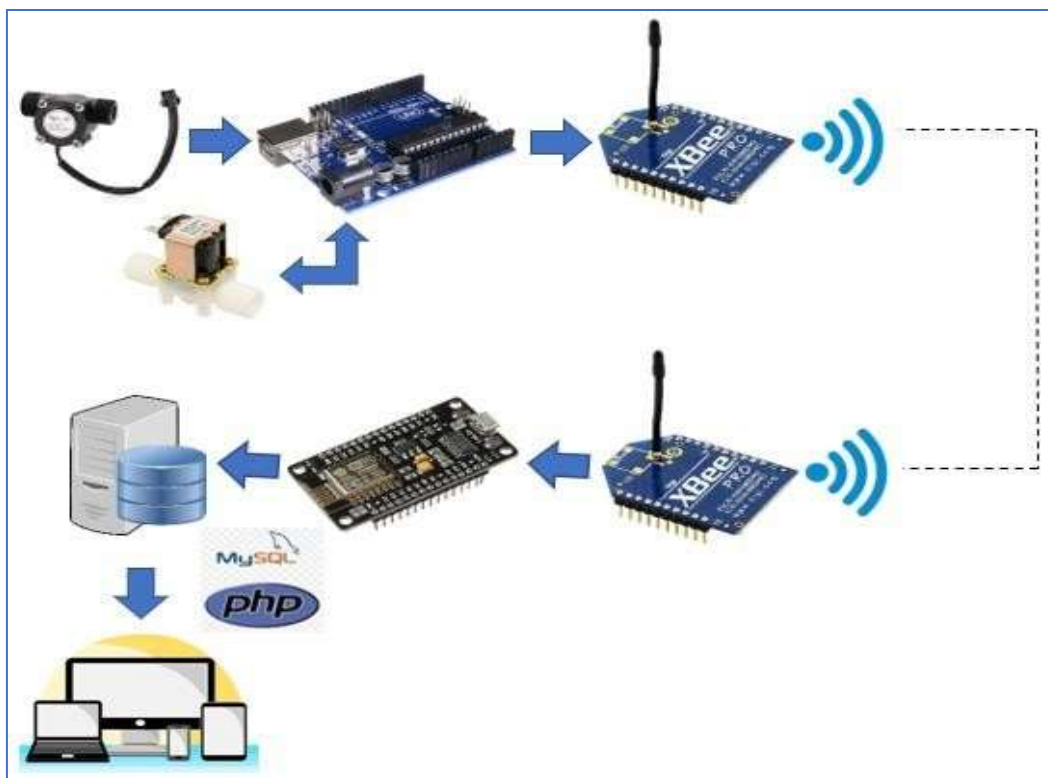


Fuente. Elaboración propia

Arquitectura y red de acceso NGN

Figura 31.

Diagrama físico del prototipo



Nota. Elaboración propia

Redes de acceso

Las redes de acceso componen la principal infraestructura para la conectividad y el transporte de los datos mediante conjunto de tecnologías que permiten conectar a los usuarios con los proveedores de servicio, logrando dar acceso a los beneficios que contiene la información. Estas redes soportan tecnologías de última milla, lo que implica que dentro de las redes de acceso se pueden utilizar diversos equipos dependiendo el caso o necesidad correspondiente en las redes de nueva generación.

Tecnologías de acceso

Las tecnologías de acceso son las encargadas de llevar la información de los datos multimedia del proveedor hasta el usuario y pueden clasificarse según el tipo de acceso:

- Acceso cableado.
- Acceso inalámbrico.
- Acceso móvil.

Una de las posibles soluciones es la red de “Acceso móvil”, que permiten una movilidad al usuario final, consiste en una red de múltiples puntos de acceso inalámbrico generando una cobertura geográfica amplia. Se encuentran las siguientes tecnologías: UMTS(3G), LTE(4G) y 5G. Cabe resaltar que su uso de frecuencias en el espectro electromagnético es licenciado, para este tipo de aplicaciones existen otras alternativas como las redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN).

Para este proyecto se establece la red de “Acceso inalámbrico”, teniendo en cuenta el análisis hecho con anterioridad, acerca de las tecnologías LPWAN de despliegues para IoT en la Tabla 5, no tiene como requerimiento un medio físico cableado para enviar la información, debido a que se transmite de forma inalámbrica por medio de ondas electromagnéticas y su uso en el espectro es no licenciado, estos accesos permiten movilidad del usuario final.

Tecnologías de acceso inalámbrico a usar

Wi-Fi. Sustituye la conexión por cable desde el nodo maestro hasta la BBDD alojada en la nube, es una de las tecnologías más populares y realiza la comunicación de forma inalámbrica a través de ondas magnéticas.

ZigBee. Sustituye la conexión por cable desde el nodo esclavo hasta el nodo maestro.

Elaboración etapa de sensado y procesamiento de datos

Durante esta etapa, se desarrolla la ejecución de los módulos de sensado que componen el sistema, estos se clasifican de la siguiente manera:

Nodo esclavo

Se conforma de un módulo XBee para la transmisión de información, consta de la placa Arduino UNO y el sensor de flujo YF-S201.

Este tipo de placas cuentan para distintos propósitos como entradas, salidas digitales, analógicas, PWM, etc... Estas realizarán el conteo de las pulsaciones digitales del sensor de flujo, con el fin de encontrar la frecuencia mediante la función `attachInterrupt()`. Con este valor, se logra hacer una conversión a caudal Q , mediante la utilización de una constante de conversión K que es suministrada por el fabricante de dicho sensor.

$$f(Hz) = K * Q \left(\frac{l}{min} \right) \rightarrow Q \left(\frac{l}{min} \right) = \frac{f(Hz)}{K}$$

El factor de conversión para este sensor es de $K = 7.5$

$$Q \left(\frac{l}{min} \right) = \frac{f(Hz)}{K}$$

Figura 32.*Conteo de pulsos y cálculo de volumen*

```

void setup() {
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(1, canal);
  radio.startListening();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PinSensor), ContarPulsos, RISING);
  t0=millis();
  XBee.begin(9600);
}

void loop() {
  //CONTADOR DE PULSOS//
  Serial.print("Numero de pulsos: ");
  Serial.println(NumPulsos);

  //LECTURA DE SENSOR DE FLUJO//
  float frecuencia=obtenerfrecuencia();
  float caudal_L_m=frecuencia/factorconversion;
  dt=millis()-t0;
  t0=millis();
  volumen=volumen+(((caudal_L_m)/60)*(dt/1000));

  Serial.print("Caudal: ");
  Serial.print(caudal_L_m,3);
  Serial.print("L/min, Volumen: ");
  Serial.print(volumen,3);
  Serial.print("Litros");
}

```

*Nota. Elaboración propia***Figura 33.***Medición de consumo de agua*

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PinSensor), ContarPulsos,
t0=millis();
XBee.begin(9600);
}

void loop() {
  //CONTADOR DE PULSOS//
  Serial.print("Numero de pulsos: ");
  Serial.println(NumPulsos);

  //LECTURA DE SENSOR DE FLUJO//
  float frecuencia=obtenerfrecuencia();
  float caudal_L_m=frecuencia/factorconversion;
  dt=millis()-t0;
  t0=millis();
  volumen=volumen+(((caudal_L_m)/60)*(dt/1000));

  Serial.print("Caudal: ");
  Serial.print(caudal_L_m,3);
  Serial.print("L/min");
  Serial.print("Volumen: ");
  Serial.print(volumen);
  Serial.print("Litros");
}

```

Volumen: 0.51Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 0.67Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 0.83Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 0.99Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.14Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.30Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.46Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.61Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.77Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 1.92Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.08Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.23Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.39Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.53Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.69Litros Caudal: 9.16 L/min
 Volumen: 2.81Litros

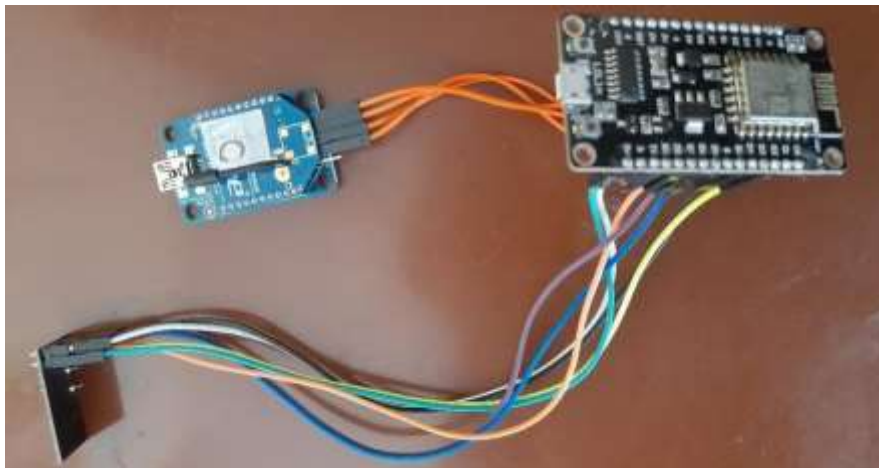
Nota. Elaboración propia

Figura 34.*Módulo Esclavo*

Nota. Elaboración propia

Nodo maestro

Se conforma de un módulo XBee para recibir información proveniente del esclavo y consta de una placa ESP8266.

Figura 35.*Módulo Maestro*

Nota. Elaboración propia

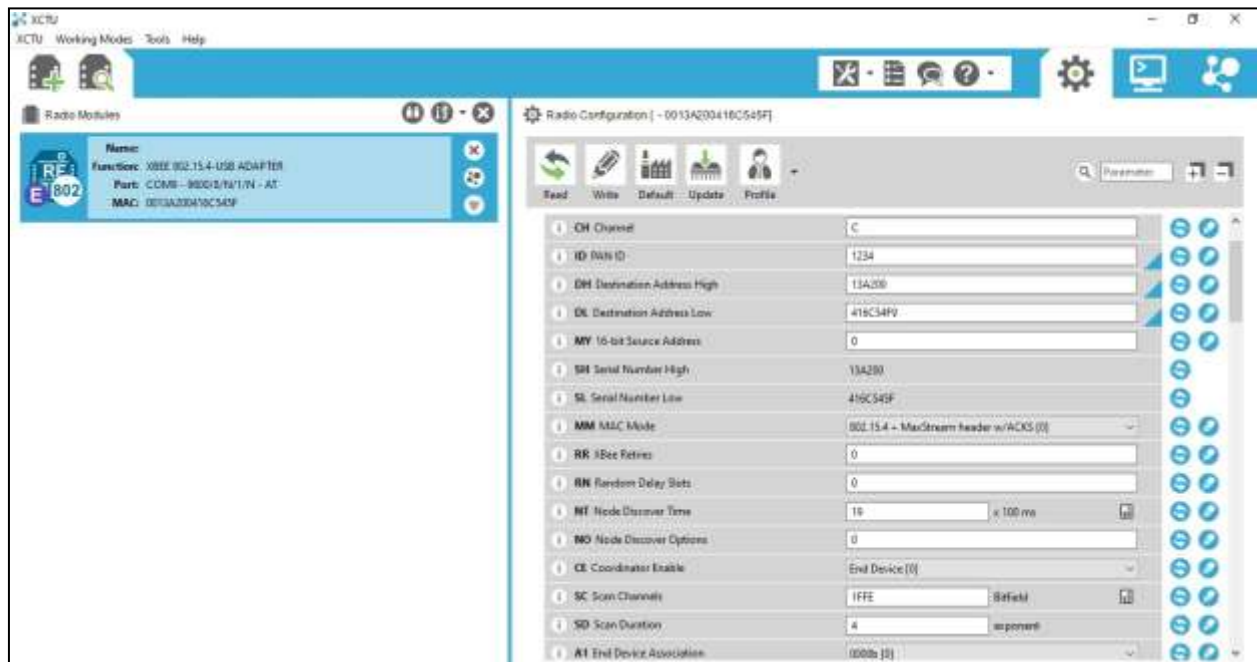
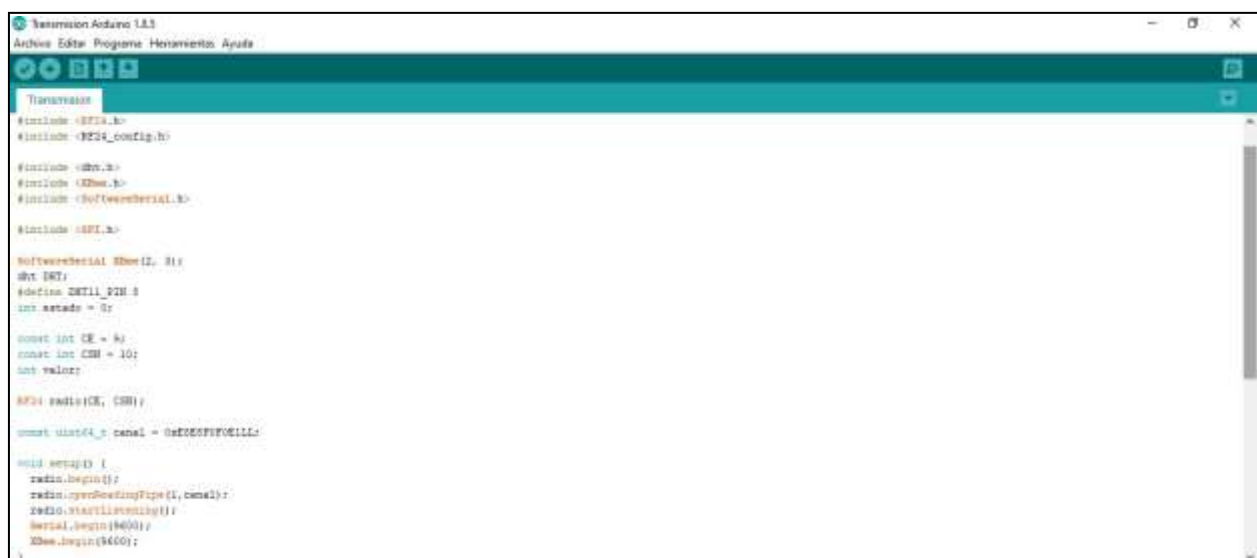
Figura 38.*Programación XCTU XBee esclavo**Nota. Elaboración propia***Figura 39.***Programación XBee esclavo**Nota. Elaboración propia*

Figura 41.*Envío de información a BBDD*

```

Receptor Arduino IDE
Archivo [Editar] Programa Herramientas Ayuda

Receptor
void loop() {

  if (Serial.available()) {
    estado = Serial.readString();
    Serial.println(estado);
  }

  if (Firebase.RTDB.setInt("fdo", "Disponible", estado)) {
    Serial.println("Data enviada");
  } else {
    Serial.println("Data fallido");
  }

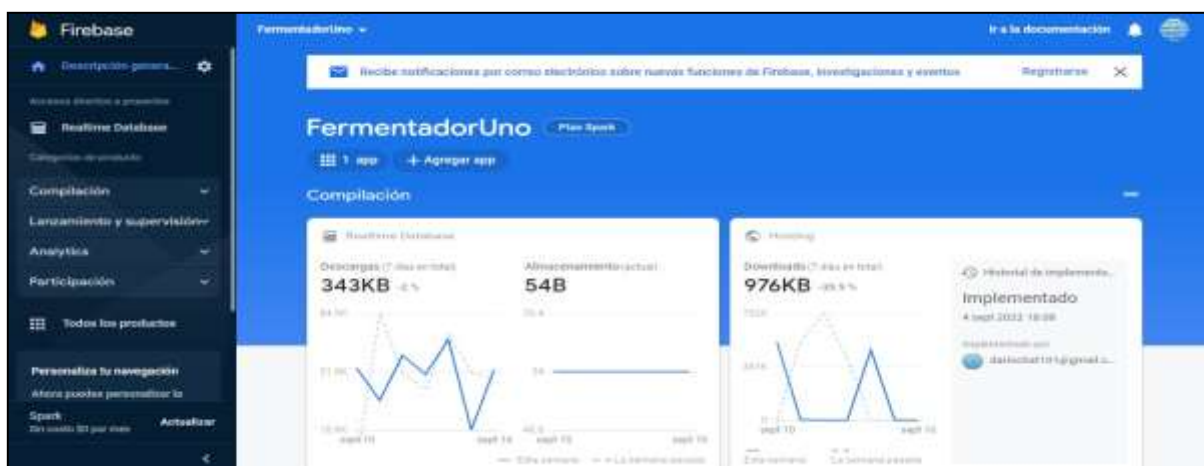
  if (Firebase.RTDB.putString("fdo", "reserva") {
    dato = fdo.readString();
    if (dato == "1") {
      digitalWrite(24, HIGH);
      //radio.write(dato, sizeof(dato));
      if (Firebase.RTDB.setBoolean("Estado", "OFF")) {
        Serial.println("Estado enviado");
      } else {
        Serial.println("Estado fallido");
      }
    } else if (dato == "2") {
      digitalWrite(24, LOW);
      //radio.write(dato, sizeof(dato));
      if (Firebase.RTDB.setBoolean("Estado", "ON")) {
        Serial.println("Estado enviado");
      } else {
    }
  }
}

```

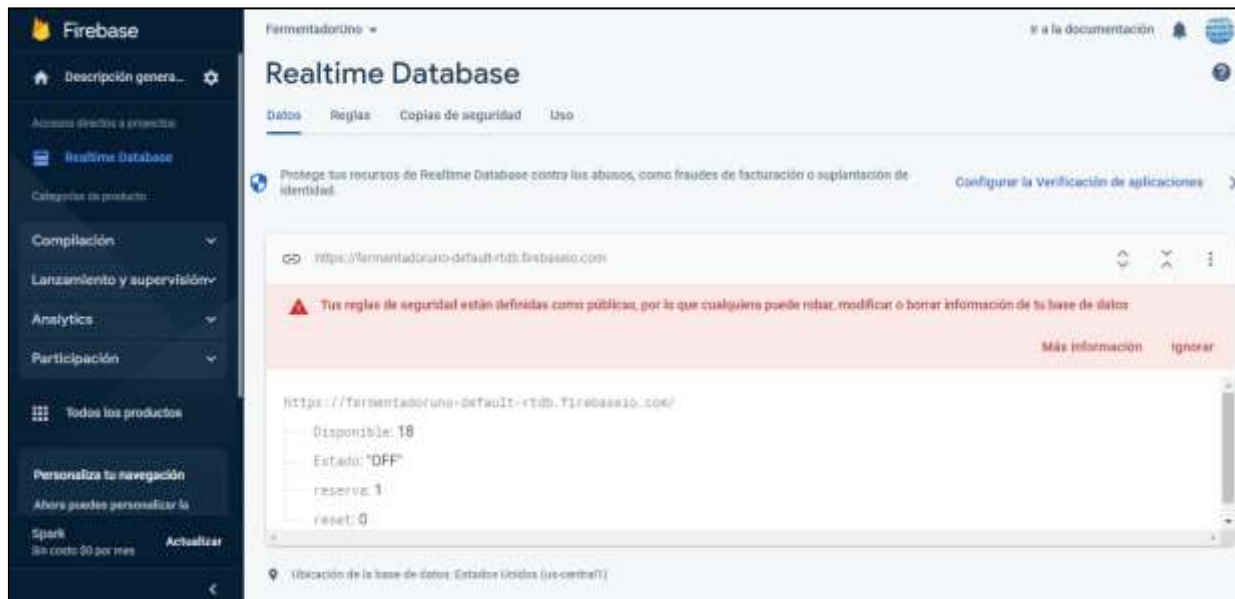
Nota. Elaboración propia

Configuración BBDD Firebase Realtime

Para este prototipo de hace el despliegue en Firebase Realtime, que es una base de datos NoSQL alojada en la nube que permite almacenar y sincronizar datos en tiempo real.

Figura 42.*Dashboard Principal*

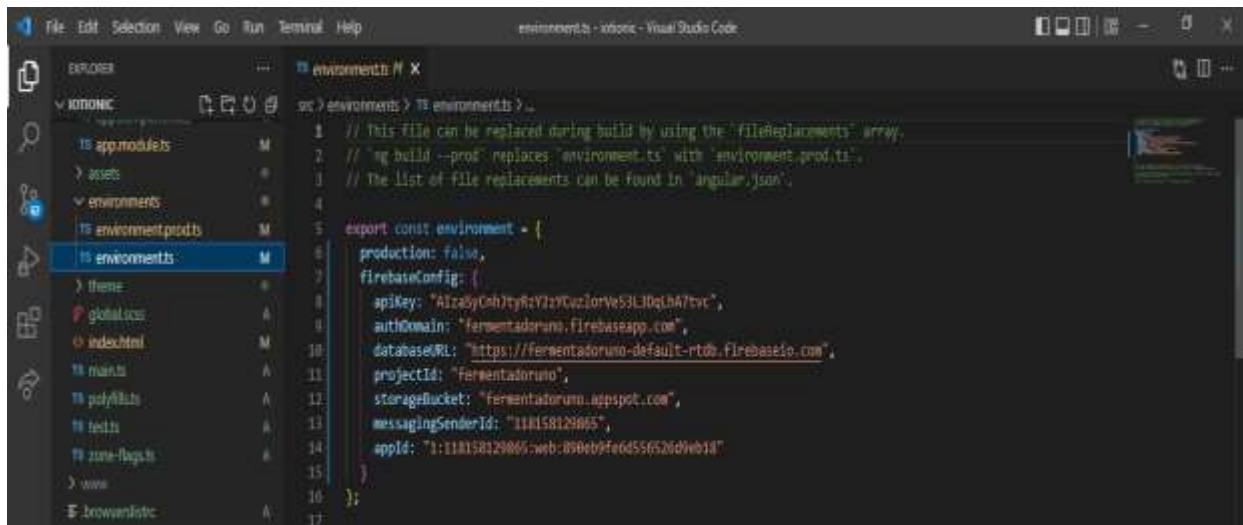
Nota. console.firebase.google.com/u/1/project/fermentadoruno/overview

Figura 43.*Configuración de variables*

Nota. <https://console.firebase.google.com/u/1/project/fermentadoruno/database/fermentadoruno-default-rtdb/data>

Consumo del servicio y monitoreo

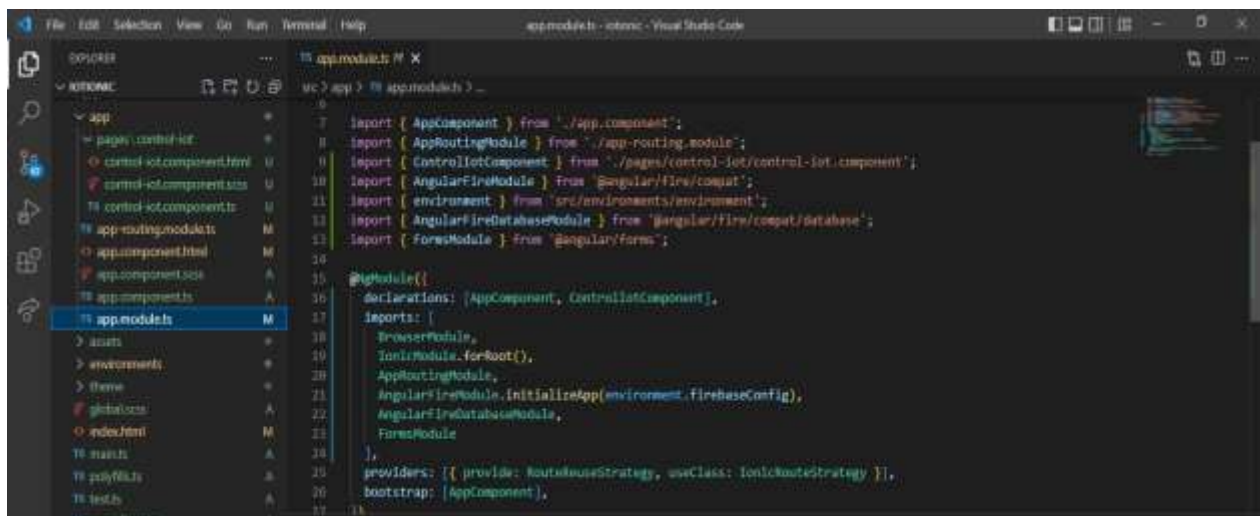
En la fase de monitoreo, inicialmente se realiza la conexión entre Firebase y el framework Angular para el consumo de dicho servicio e importar las respectivas librerías.

Figura 44.*Configuración de conexión a BBDD*


```

1 // This file can be replaced during build by using the 'fileReplacements' array.
2 // 'ng build --prod' replaces 'environment.ts' with 'environment.prod.ts'.
3 // The list of file replacements can be found in 'angular.json'.
4
5 export const environment = {
6   production: false,
7   firebaseConfig: {
8     apiKey: "AIzaSyCnh7y6tYz9CuzLorW53L30qLh47vc",
9     authDomain: "fermentadoruno.firebaseio.com",
10    databaseURL: "https://fermentadoruno-default-rtdb.firebaseio.com",
11    projectId: "Fermentadoruno",
12    storageBucket: "fermentadoruno.appspot.com",
13    messagingSenderId: "118158129865",
14    appId: "1:118158129865:web:896eb9fe6d556526d9eb18"
15  }
16 };
17

```

*Nota. Elaboración propia***Figura 45.***Importación de librerías*


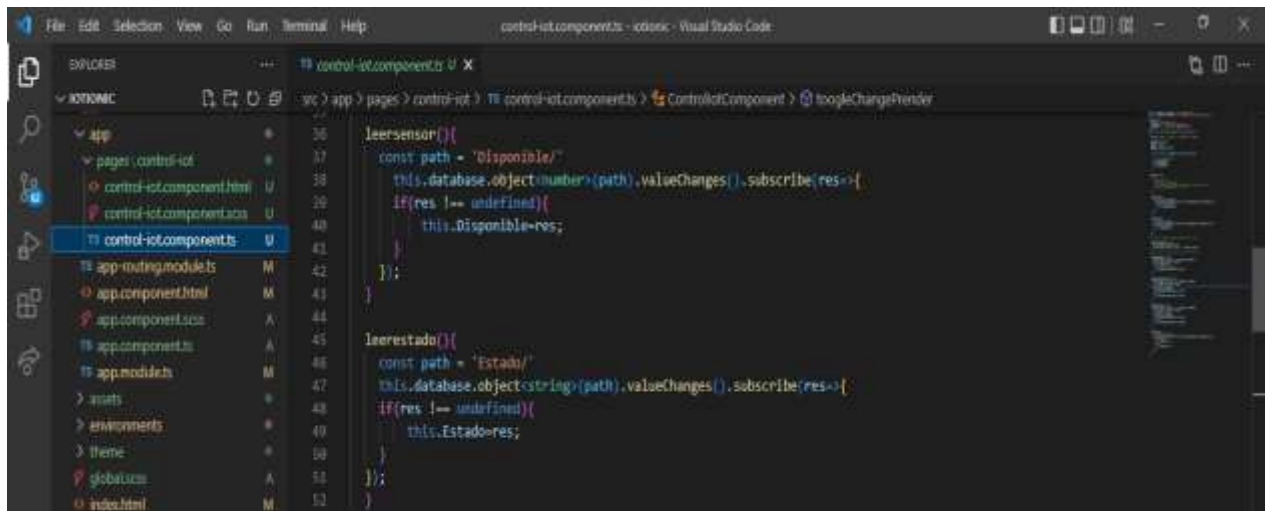
```

6
7 import { AppComponent } from './app.component';
8 import { AppRoutingModule } from './app-routing.module';
9 import { ControlLotComponent } from './pages/control-lot/control-lot.component';
10 import { AngularFireModule } from '@angular/fire/compat';
11 import { environment } from 'src/environments/environment';
12 import { AngularFireDatabaseModule } from '@angular/fire/compat/database';
13 import { FormsModule } from '@angular/forms';
14
15 @NgModule({
16   declarations: [AppComponent, ControlLotComponent],
17   imports: [
18     BrowserModule,
19     RouterModule.forRoot(),
20     AppRoutingModule,
21     AngularFireModule.initializeApp(environment.firebaseConfig),
22     AngularFireDatabaseModule,
23     FormsModule
24   ],
25   providers: [{ provide: RouterReuseStrategy, useClass: IonicRouteStrategy }],
26   bootstrap: [AppComponent],
27 })

```

Nota. Elaboración propia

Luego de las respectivas importaciones, se crean funciones con el fin de leer y cambiar el estado de variables creadas en la BBDD.

Figura 46.*Creación funciones de lectura*


The screenshot shows the Visual Studio Code editor with a file explorer on the left and a code editor on the right. The file explorer shows a project structure for 'control-iot.component.ts'. The code editor displays the following TypeScript code:

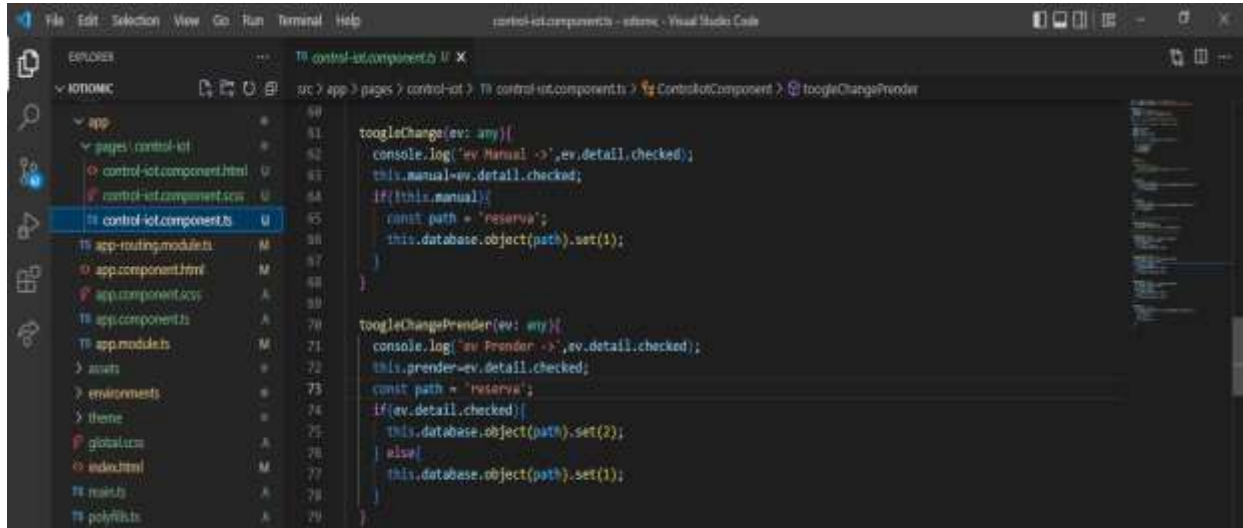
```

leersensor(){
  const path = 'disponible/'
  this.database.object<number>(path).valueChanges().subscribe(res=>{
    if(res !== undefined){
      this.Disponible=res;
    }
  });
}

leerestado(){
  const path = 'Estado/'
  this.database.object<string>(path).valueChanges().subscribe(res=>{
    if(res !== undefined){
      this.Estado=res;
    }
  });
}

```

Fuente. Elaboración propia

Figura 47.*Creación función cambio de estado*


The screenshot shows the Visual Studio Code editor with a file explorer on the left and a code editor on the right. The file explorer shows a project structure for 'control-iot.component.ts'. The code editor displays the following TypeScript code:

```

toggleChange(ev: any){
  console.log('ev Manual ->',ev.detail.checked);
  this.manual=ev.detail.checked;
  if(!this.manual){
    const path = 'reserva';
    this.database.object(path).set(1);
  }
}

toggleChangePrender(ev: any){
  console.log('ev Prender ->',ev.detail.checked);
  this.prender=ev.detail.checked;
  const path = 'reserva';
  if(ev.detail.checked){
    this.database.object(path).set(2);
  } else{
    this.database.object(path).set(1);
  }
}

```

Nota. Elaboración propia

Por último, se crea la interfaz para el administrador y se debe cumplir con requerimientos funcionales y no funcionales y son los siguientes:

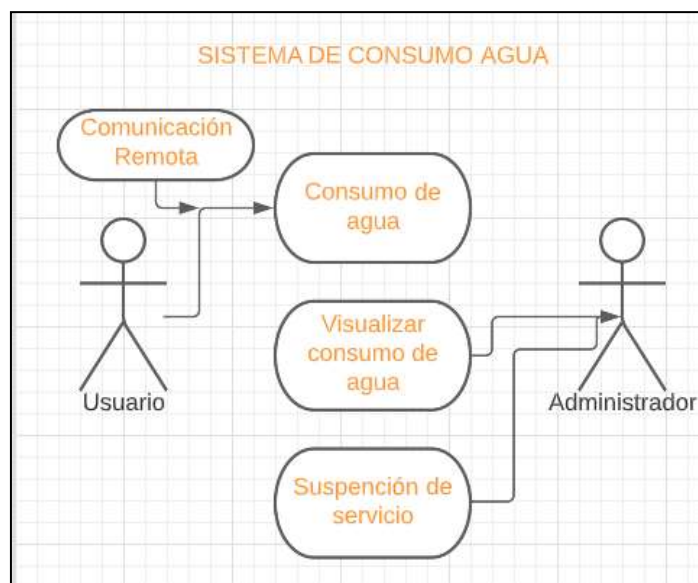
Requerimientos no Funcionales

Nombre	Descripción
Usabilidad	La aplicación debe tener un uso intuitivo
Disponibilidad	Debe ser de fácil acceso, cuando el administrador lo requiera

Requerimientos Funcionales

Nombre	Descripción
Visualizar consumo	El sistema proporciona información al administrador del consumo actual de dicho servicio.
Cambiar estado	El sistema actualiza el valor de las variables al momento de cambiar su estado.

Gracias a la recopilación de los requerimientos funcionales, se elabora el diagrama de casos de uso para la respectiva interacción usuario-interfaz-administrador.

Figura 48.*Diagrama Casos de Uso*

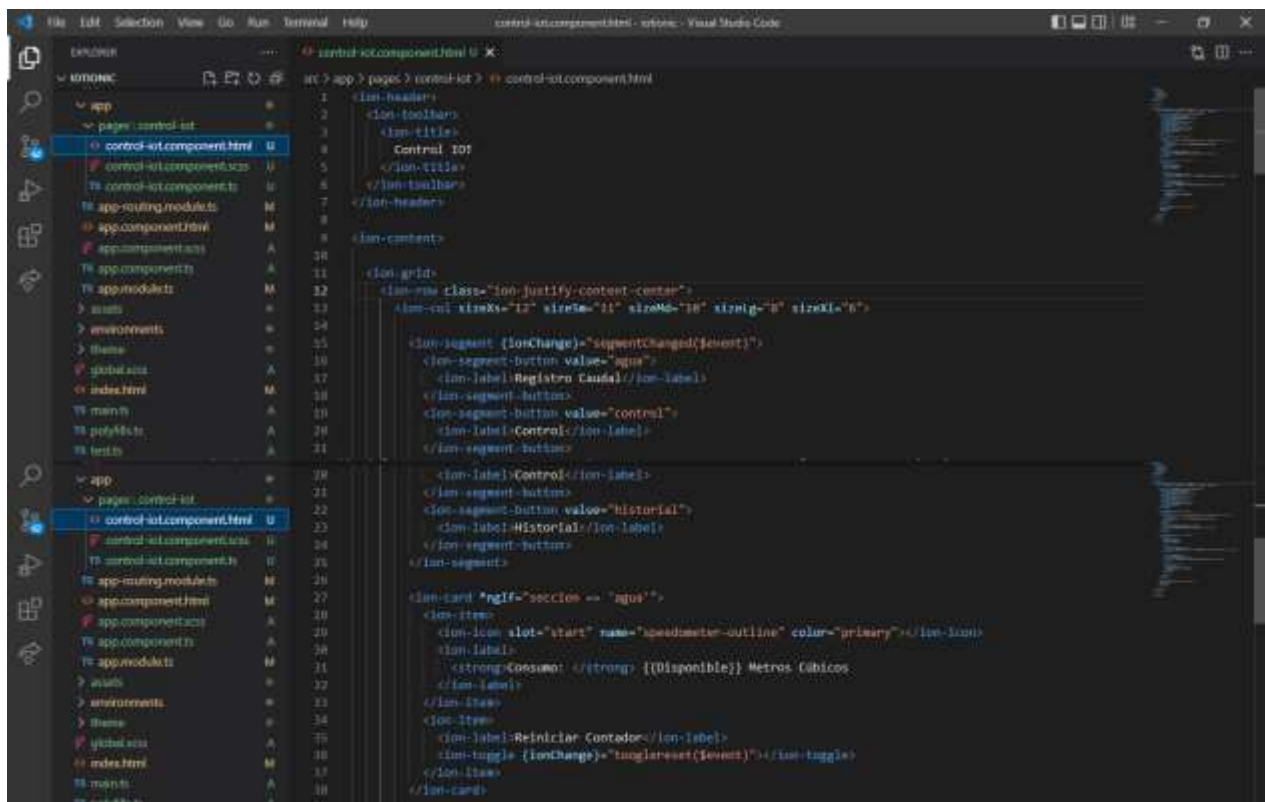
Nota. Elaboración propia

En la figura 51, se denota un diagrama de uso que muestra la interacción usuario-administrador. El usuario consume dicho servicio básico, el sistema con comunicación remota, envía el dato al sistema que supervisa el administrador. El administrador a su vez, mira el respectivo consumo del usuario final y toma las respectivas decisiones como facturar o la suspensión.

De acuerdo a lo anterior, se procede a la creación de la interfaz en el IDE Visual Studio Code y el framework Angular.

Figura 49.

Programación Interfaz

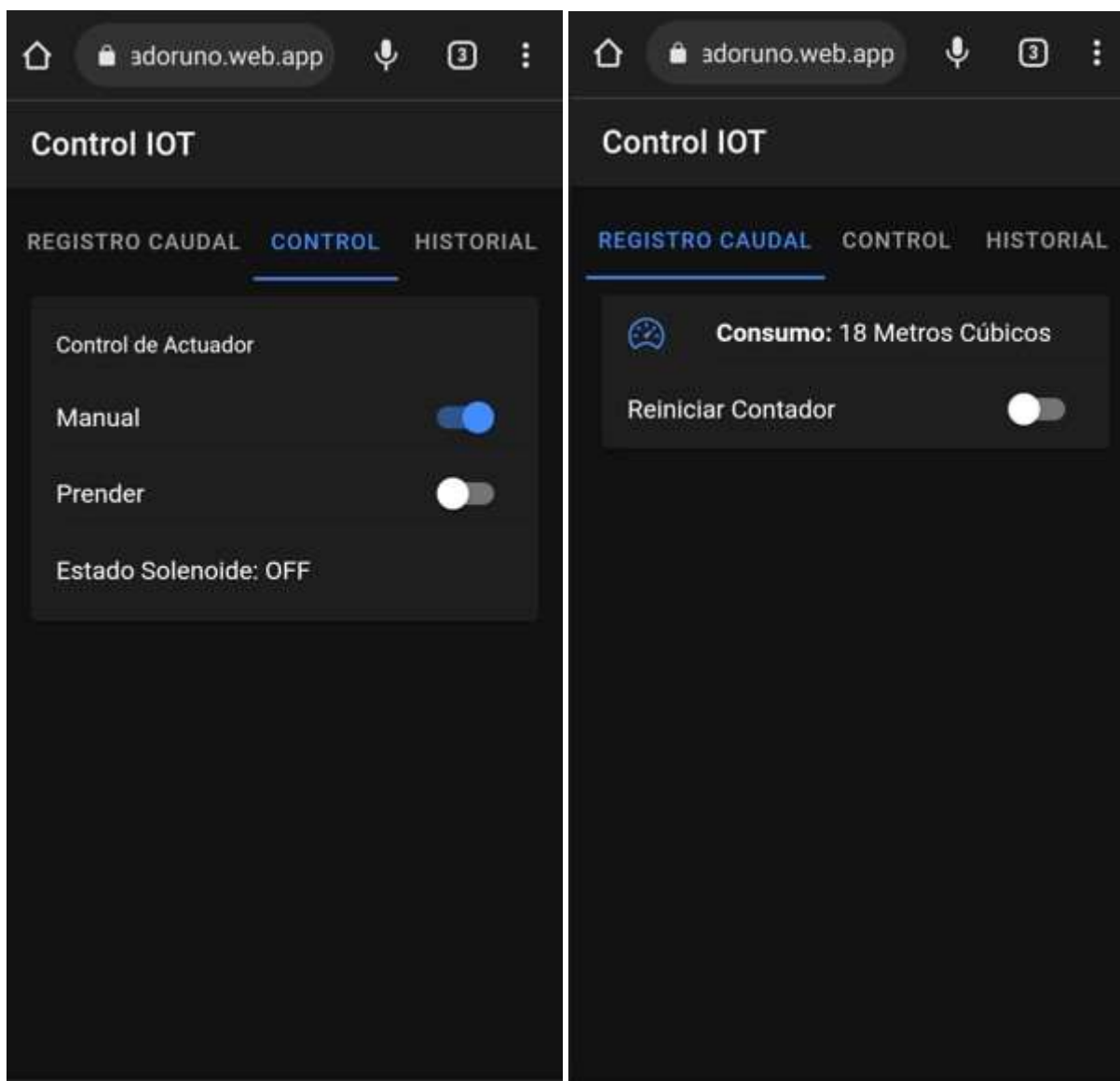


```

1 <ion-header>
2 <ion-toolbar>
3 <ion-title>
4   Control IOT
5 </ion-title>
6 </ion-toolbar>
7 </ion-header>
8
9 <ion-content>
10
11 <ion-grid>
12 <ion-row class="ion-justify-content-center">
13   <ion-col sizeXs="12" sizeSm="11" sizeMd="10" sizeLg="8" sizeXl="6">
14
15     <ion-segment (ionChange)="segmentChanged($event)">
16       <ion-segment-button value="agua">
17         <ion-label>Registro Caudal</ion-label>
18       </ion-segment-button>
19       <ion-segment-button value="control">
20         <ion-label>Control</ion-label>
21       </ion-segment-button>
22
23       <ion-label>Control</ion-label>
24     </ion-segment>
25
26     <ion-segment-button value="historial">
27       <ion-label>Historial</ion-label>
28     </ion-segment-button>
29
30     </ion-segment>
31
32 </ion-row>
33 </ion-grid>
34
35 <ion-card *ngIf="seccion == 'agua'">
36 <ion-item>
37   <ion-icon slot="start" name="speedometer-outline" color="primary"></ion-icon>
38   <ion-label>
39     <strong>Consumo: </strong> {{Disponible}} Metros Cúbicos.
40   </ion-label>
41 </ion-item>
42 <ion-item>
43   <ion-label>Reiniciar Contador</ion-label>
44   <ion-toggle (ionChange)="toggleReset($event)"></ion-toggle>
45 </ion-item>
46 </ion-card>

```

Nota. Elaboración propia

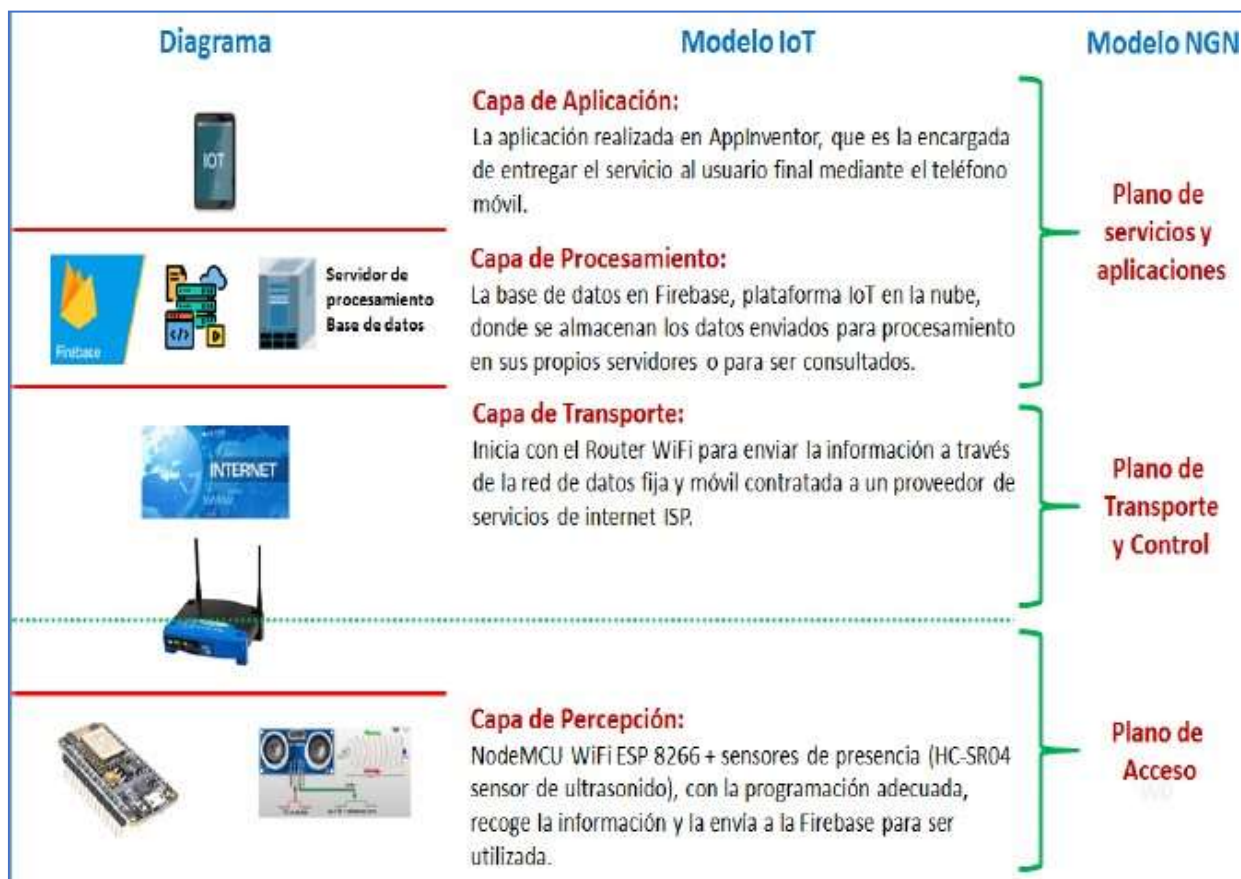
Figura 50.*Vista de Interfaz*

Nota. Elaboración propia

Con todo el procedimiento anterior, se está cumpliendo a cabalidad las distintas etapas de la arquitectura NGN IoT para el consumo de dicho servicio, como se muestra en la Figura 54.

Figura 51.

Arquitectura NGN IoT



Nota. Elaboración propia

Despliegue de IoT en redes 5G

Es importante mencionar que más allá de las mejoras en la velocidad, se espera que la tecnología 5G desate todo un ecosistema de IoT masivo en el que las redes pueden satisfacer las necesidades de comunicación de miles de millones de dispositivos conectados, con un equilibrio justo entre velocidad, latencia, costo y uso eficiente del espectro. Algunas de las características son:

- Escalabilidad masiva con capacidad de 1 millón de usuarios o dispositivos IoT conectados por kilómetro cuadrado, como mínimo.
- Movilidad o capacidad de conexión con usuarios que se mueven de 0 hasta 500 Km/h. Esta característica es especialmente útil para las personas que utilizan transportes de alta velocidad.
- 20 Gbps (Gigabits por segundo) de transferencia de datos (downlink) desde la estación base al usuario. Esta transferencia máxima se especifica para un usuario conectado a la estación base o celda móvil con un enlace dedicado.
- Hasta 10 Gbps en sentido contrario (uplink), es decir, en la transmisión de datos desde el usuario hacia la red.
- Uso inteligente del espectro empleando técnicas de acceso dinámico.

Conclusiones

En la actualidad, el sistema de medición de caudal se efectúa de manera rudimentaria y está focalizado en el uso de medidores residenciales, la facturación en una residencia se ajusta al cálculo básico en la diferencia de volúmenes en m³, de un valor antiguo y un valor reciente con un periodo de 30 días, ocasionando que el usuario final no conozca su consumo actual. Por ello el diseño del prototipo reemplaza la necesidad de llevar a cabo un registro de dicho servicio.

Para el desarrollo de plataformas IoT focalizadas a la medición de flujo y el uso de la tecnología inalámbrica representa una alternativa, en especial la tecnología Xbee, debido a su alcance, su frecuencia de operación, relación beneficio/costo, permite implementar una red escalable, eficiente entre dispositivos de una misma red.

Las plataformas de hardware libre permiten desarrollar casi cualquier idea que se tenga como objetivo en un proyecto, en este caso el sistema de sensado autónomo logra desarrollarse gracias a que toda la tecnología propuesta para el mismo contiene este atributo “libre” en el cual todas sus especificaciones y diagramas son de acceso público, acceder a las mismas tecnologías en el mercado colombiano no presenta dificultad alguna, debido a que constantemente las empresas trabajan con elementos de tipo “electrónica libre” que buscan expandir su nicho de mercado insertando sus productos en nuevas zonas de comercio, en este caso empresas como Digi, SparkFun y Arduino han logrado estar inmersos en el mercado latinoamericano muchos de sus productos.

El desarrollo del sistema de sensado se visualiza como una entidad que puede crecer relativamente, uno de los objetivos del proyecto era plantear una arquitectura tanto a nivel de hardware como a nivel de software que brindara atributos “escalables” al mismo sistema, como se mencionaba anteriormente las tecnologías de tipo hardware libre son totalmente compatibles

entre ellas, esto permite que el proyecto pueda expandirse en cuestión de nodos de sensado y variables de sensado.

Como trabajos futuros, se propone una comunicación Sigfox que tiene como ventaja, cobertura amplia para transmisión de datos e integración de otros servicios como lo son: gas domiciliario y energía, así como también para diferentes sectores como el agropecuario. Que van a estar soportado, bajo distintas alternativas de comunicación, en donde se puede obtener registro de datos, seguimiento de variables y control de las mismas.

La misma arquitectura empleada en este proyecto, se va a llevar a cabo las redes 5G debido que la información se obtendrá de distintos dispositivos y transportada a la nube para la respectiva visualización por el usuario final.

Referencias

- Campoverde, C., & Gualoto, J. (2018). *Desarrollo de un sistema de medición de caudal energéticamente independiente con transmisión de datos en la comunidad de paquiestancia*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16463/1/UPS-ST003828.pdf>
- Corredor, Y., Oriz, D., Zabala, D., & Diaz, M. (2020). *Diseño de Prototipo IoT para el ahorro de energía eléctrica y agua a partir de la medición de consumos en el hogar*. Obtenido de https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/bitstream/handle/compensar/97/Dise%C3%B1o%20de%20Prototipo%20IoT%20para%20el%20ahorro%20de%20en_Grup%C3%B3%20de%20Inversi%C3%B3n%20I.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cunalata, D. (2020). *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua potable mediante arquitectura IoT Y comunicación MTTQ en una vivienda del sector San Vicente de Pícaihua Cantón Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31643/1/t1736ec.pdf>
- Durán, C., & Iturriago, A. (2012). *Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de tecnología ZigBee*. Obtenido de <file:///D:/ESPECIALIZACION%20REDES%20NGN/SEMESTRE%201/Proyecto%20de%20grado%20NGN/Unidad%201/Informaci%C3%B3n%20ZigBee.pdf>
- Granados, G., & Pérez, J. (2017). *Diseño de un prototipo para la medición del consumo de agua en un grifo de una unidad habitacional a través de la tecnología ZigBee*. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4146/1/2017_diseno_prototipo_medicion.pdf

- Lozano, C., Toro, C., & Castaño, D. (2009). *Lectura Automática de medidores de agua con tecnología bluetooth*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=133112608022&idp=1&cid=545572>
- Rodriguez, E., & López, V. (2017). *Diseño e implementación de un sistema inteligente para un edificio mediante IoT utilizando el protocolo de comunicación loraWAN*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7394/RodriguezMorenoEdwardStiven2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, J. (2018). *Lecturas de medición de agua por telemetría y su transmisión inalámbrica en Zipaquirá*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20935/SanchezAlonsojaimehumberto2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valbuena, G., & Pardo, D. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto Internet de las cosas*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4315/GuacanemeValbuenaGerardo2016.pdf?sequence=1>
- Mora, J. (2021). *Análisis del estado del arte de las técnicas de acceso dinámico al espectro aplicadas en redes inalámbricas de nueva generación*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42434/jemoraar.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- GUTIERREZ, R. B., Núñez, W. N., Urrea, S. C., Osorio, H. S., & Acosta, N. D. (2016). Revisión de la seguridad en la implementación de servicios sobre IPv6. *Inge Cuc*, 12(1), 86-93.

Raúl, B. G., & Sevillano, A. M. L. (2017, October). Services cloud under HSTS, Strengths and weakness before an attack of man in the middle MITM. In *2017 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONITI)* (pp. 1-5). IEEE.

Perea, W. (2022). *Diseño de una red de telecomunicaciones para la zona rural del corregimiento Cauca, del municipio de Cartago (Valle del Cauca), utilizando soluciones de última milla disponibles en la región*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/51581/wapereamu.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

MOJICA S. Felipe, Andrés, L. V. S., & Raúl, B. G. (2019, October). Risks Found in Electronic Payment Cards on Integrated Public Transport System Applying the ISO 27005 Standard. Case Study Sitp DC Colombia. In *2019 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingenieria (CONITI)* (pp. 1-6). IEEE.

GUTIERREZ, R. B., Urrea, S. C., Núñez, W. N., Sarmiento, H., Acosta, N. D., & Sánchez, G. G. V. (2015). Análisis de la seguridad en la implementación de servicios corporativos sobre el protocolo IPV. *Revista de Tecnología, 14*(1), 127-138.

Duarte-Acosta, N., Bareño-Gutiérrez, R., & Forero-Páez, N. (2016). Análisis comparativo de metodologías en arquitectura de la información aplicadas a contextos empresariales. *Ingenio Magno, 7*(1), 32-44.

López, A., Jiménez, Y., Bareño, R., Balamba, B., & Sacristán, J. (2019, October). E-Health System for the Monitoring, Transmission and Storage of the Arterial Pressure of Chronic-Hypertensive Patients. In *2019 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingenieria (CONITI)* (pp. 1-6). IEEE.

Urrea, S. E. C., Núñez, W. N., Osorio, H. E. S., Paez, N. A. F., & Gutierrez, R. B. (2017). Sistema de votación electrónico con características de seguridad SSL/TLS e IPsec en Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 16(1), 75-84.

Raúl, B. G., & Sevillano, A. M. L. (2017, October). Services cloud under HSTS, Strengths and weakness before an attack of man in the middle MITM. In *2017 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONITI)* (pp. 1-5). IEEE

Bareño Gutiérrez, R. (2013). Elaboración de un estado de arte sobre el protocolo IPV6; y su implementación sobre protocolos de enrutamiento dinámico como RIPNG, EIGRP y OSPF basado sobre la plataforma de equipos cisco.