



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN
REDES Y SISTEMAS DISTRIBUIDOS**

MODALIDAD:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

TEMA:

**MONITORIZACIÓN DE ACUMULACIÓN DE BASURA EN LOS
SUMIDEROS DE AGUA LLUVIA BASADO EN REDES
INALÁMBRICAS DE SENSORES**

AUTOR:

JIMY JAVIER VERA ANZULES

TUTOR:

Mgtr. RAMÓN JOFFRE MOREIRA PICO

CALCETA, NOVIEMBRE 2021

DERECHOS DE AUTORÍA

Jimmy Javier Vera Anzules, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



Jimmy Javier Vera Anzules

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Mgtr. Ramón Joffre Moreira Pico, certifica haber tutelado el trabajo de titulación Monitorización de Acumulación de Basura en los Sumideros de Agua Lluvia Basado en Redes Inalámbricas de Sensores, que ha sido desarrollado por **Jimmy Javier Vera Anzules**, previo la obtención del título de Magister en Tecnología De La Información mención Redes Y Sistemas Distribuidos, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Mgtr. Ramón Joffre Moreira Pico

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación Monitorización de Acumulación de Basura en los Sumideros de Agua Lluvia Basado en Redes Inalámbricas de Sensores, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **Jimmy Javier Vera Anzules**, previa la obtención del título de Magister en Tecnología de la Información mención Redes y Sistemas Distribuidos, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Mtr. Ricardo A. Vélez Valarezo
MIEMBRO

Mtr. Luis C. Cedeño Valarezo
MIEMBRO

Mtr. Ángel A. Vélez Mero
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por permitirme conseguir un logro más, por estar presente en cada etapa de mi vida, y guiarme por el camino correcto en todo momento.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A los docentes que nos brindaron sus enseñanzas durante el transcurso de la maestría, gracias a ello, he adquirido conocimientos necesarios para estar preparados y adaptarme a los cambios tecnológicos que ocurren a pasos agigantados.

A mi Tutor Mgtr. Ramón Joffre Moreira Pico, por ayudarme con sus conocimientos en el desarrollo metodológico del trabajo de titulación.

Jimmy Javier Vera Anzules

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, y permitirme hacer realidad cada el sueño.

A mi madre, por brindarme siempre su apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado en mi vida, por estar siempre dispuesta a ayudarme y confiar en mí.

A mi padre que desde el cielo sigue mis pasos y fue ejemplo para convertirme en un ser humano de bien.

A mis hermanos, porque siempre me han brindado su cariño y apoyo moral en momentos que lo necesitaba, dándome fuerzas para seguir adelante y cumplir mis metas.

Jimmy Javier Vera Anzules.

CONTENIDO GENERAL

PORTADA	¡Error! Marcador no definido.
DERECHOS DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN DE TUTOR(A)	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO GENERAL	vii
CONTENIDO DE TABLAS	ix
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
CONTENIDO DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER	4
CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. GESTIÓN INTELIGENTE DE RESIDUOS	5
2.3. REDES INALAMBRICAS DE SENSORES (WSN)	6
2.4. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4	7
2.5. PROTOCOLO ZIGBEE	7
2.6. TOPOLOGÍAS DE RED	8
2.6.1. TOPOLOGÍA EN ESTRELLA	8
2.6.2. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO	9
2.6.3. TOPOLOGÍA TIPO ÁRBOL	9
2.7. XBEE	10
2.8. COORDINADOR	11
2.9. ROUTER	11
2.10. END DEVICE	11
2.11. VIDA DE BATERÍA EN XBEE	11
2.12. POTENCIA DE TRANSMISION DE XBEE	12

2.13.	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN XBEE.	12
2.14.	X-CTU.	13
2.15.	ARDUINO BOARD.	13
2.16.	ARDUINO IDE.....	14
2.17.	XBEE USB EXPLORER BOARD.	14
2.18.	MÓDULO ETHERNET.....	15
2.19.	SENSORES.....	15
2.20.	SENSORES ULTRASONICO.	15
2.21.	INTERRUPTORES DE FLOTADOR.....	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		18
3.1.	METODO.	18
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		21
4.1.	ESTUDIO.....	21
4.2.	DESARROLLO.....	23
4.2.1.	CONFIGURACIÓN XCTU.	23
4.2.2.	CONFIGURACIÓN IDE DE ARDUINO.....	23
4.2.3.	CONFIGURACIÓN XBEE SERIES X NODO (END-DEVICE).	23
4.2.4.	ARDUINOS - MODULO COORDINADOR.	24
4.2.5.	ENTORNO WEB.....	25
4.3.	EJECUCIÓN.....	26
4.3.1.	CONSTRUCCIÓN NODO FINALES (END-DEVICE).	26
4.3.2.	ARDUINOS - NODOS FINALES (END-DEVICE).....	26
4.3.3.	CONSTRUCCIÓN COORDINADOR.	28
4.3.4.	ARDUINOS - NODOS COORDINADOR.....	28
4.4.	REVISIÓN.....	29
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		31
5.1.	CONCLUSIONES.....	31
5.2.	RECOMENDACIONES.....	31
BIBLIOGRAFÍA		33
ANEXOS		37

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre XBee y XBee Pro	12
Tabla 2. Comparación XBee vs. Bluetooth y WiFi.....	12
Tabla 3. Comparación de protocolos de comunicación inalámbrica	22
Tabla 4. Resumen de características hardware.	22
Tabla 5. Configuración en XBee Nodo Final (End-Device).....	24
Tabla 6. Configuración en XBee Nodo Coordinador.	25

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema básico de una WSN.....	6
Figura 2. ZigBee Network.....	7
Figura 3. Topologías de la red basada en ZigBee	8
Figura 4. Topologías de la red estrella.	9
Figura 5. Topologías de la red árbol.	10
Figura 6. Coordinador PAN con múltiples nodos	10
Figura 7. Interfaz gráfica X-CTU.....	13
Figura 8. Placa Arduino UNO	14
Figura 9. IDE Arduino	14
Figura 10. Explorer Board con Xbee	15
Figura 11. Módulo ultrasónico impermeable AJ-SR04M.....	16
Figura 12. Sensor de nivel de líquidos tipo boya.	17
Figura 13. Esquema de la metodología EDER	18
Figura 14. Diagrama de red WSN en estrella (punto-multipunto).	21
Figura 15. Interfaz de configuración de módulos XBee en XCTU.	24
Figura 16. Pantalla de monitoreo de nodo finales.....	26
Figura 17. Construcción de nodo final (END-DEVICE).	26
Figura 18. Codificación en Arduino de Nodo Final (End-Device).	27
Figura 19. Nodo Final (END-DEVICE).....	27
Figura 20. Construcción de nodo Coordinador.	28
Figura 21. Codificación en Arduino de Módulo Coordinador.....	28
Figura 22. Nodo Coordinador Operativo.....	29

CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO 1. CONFIGURACIÓN DE NODO COORDINADOR - XCTU.....	38
ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DE NODO (END-DEVICE) - XCTU.....	38
ANEXO 3. CÓDIGO ARDUINO NODO CORDINADOR.....	39
ANEXO 4. CÓDIGO ARDUINO NODO FINAL (END-DEVICE).....	42
ANEXO 5. BASE DE DATOS DE LA APLICACIÓN.	44
ANEXO 6. APLICACIÓN WEB.....	44
ANEXO 7. PRUEBAS EN FRIO DE LA RED DE SENSORES.....	49
ANEXO 8. PRUEBAS EN CALIENTE DE LA RED DE SENSORES.	49

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en desarrollar un prototipo de sensor que permita la monitorización de acumulación de basura en los sumideros de agua lluvia en las calles céntricas del cantón Chone, utilizando una red inalámbrica de sensores basada en el estándar Zigbee y un servidor web que permita el envío de alertas de llenado. Para alcanzar los objetivos planteados se utilizó la metodología EDER siguiendo las fases de estudio, diseño, ejecución y revisión. El prototipo consta de un nodo sensor, que permita obtener información de la acumulación de basura en los sumideros de agua lluvia y determinar si necesita limpieza, esto mediante un análisis del sumidero con la ayuda de un módulo ultrasónico impermeable AJ-SR04M sensor de medición de distancia integrado a prueba de agua, un sensor de nivel de agua tipo boya, una tarjeta arduino UNO y un dispositivo XBee módulo (End Device). El análisis se lo realiza una vez al día y se envía la información obtenida hacia un dispositivo (Nodo Coordinador), implementado con un Módulo Ethernet Enc28j60, una tarjeta arduino UNO un dispositivo XBee. El nodo Coordinador tiene la tarea de recibir los datos de todos los módulos (End Device) y enviarlos a una base de datos MySQL, mediante el módulo Ethernet Enc28j60 que se encuentra conectado a la red y con un software desarrollado con el framework laravel mostrar las actualizaciones diarias de todos los nodos (End-Device).

PALABRAS CLAVE

Arduino, XBee, Acumulación de basura, WSN, Redes inalámbricas de Sensores, gestión inteligente de residuos

ABSTRACT

The present research work consisted of developing a sensor prototype that allows the monitoring of garbage accumulation in the rainwater sinks in the central streets of the Chone canton, using a wireless sensor network based on the Zigbee standard and a web server that allow the sending of filling alerts. To achieve the proposed objectives, the EDER methodology was used following the study, design, execution and review phases. The prototype consists of a sensor node, which allows obtaining information on the accumulation of garbage in the rainwater sinks and determine if it needs cleaning, this through an analysis of the sump with the help of a waterproof ultrasonic module AJ-SR04M measuring sensor of built-in waterproof distance, a buoy type water level sensor, an arduino UNO board and an XBee module (End Device). The analysis is carried out once a day and the information obtained is sent to a device (Coordinator Node), implemented with an Enc28j60 Ethernet Module, an arduino UNO card, or an XBee device. The Coordinator node has the task of receiving the data from all the modules (End Device) and sending them to a MySQL database, through the Enc28j60 Ethernet module that is connected to the network and with a software developed with the laravel framework showing the daily updates of all nodes (End-Device).

KEY WORDS

Arduino, XBee Garbage accumulation, WSN, Wireless Sensor Networks, smart waste management

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La basura es considerada uno de los principales problemas ambientales de nuestra sociedad. Con el aumento de la población, el consumo per cápita crece, y por ende la basura; estos niveles en las ciudades van en aumento. Mientras mayor desarrollo económico y expansión de la zona urbana, más cantidad de desechos se produce. En la actualidad se genera una cantidad considerable de residuos sólidos en la zona urbana al año y se espera que esta cifra se multiplique y si no se adoptan medidas urgentes; para el año 2050 los desechos a nivel mundial aumentarían un 70% con respecto a los niveles actuales, según informe del Banco Mundial (Banco Mundial, 2018).

El aumento de los niveles y la mala gestión de la basura perjudican la salud de las personas y más aún en entornos muy poblados, contribuyendo así los desafíos que plantea el cambio climático. Los recursos deben usarse y reutilizarse continuamente, de manera que no terminen en los sumideros del alcantarillado.

Según el informe del Banco Mundial titulado What a Waste 2.0 (Los desechos 2.0), la gestión de los residuos sólidos, debe ser prioridad a nivel mundial, pero esto suele pasarse por alto muchas veces, sobre todo en los países de ingresos bajos, mientras que en los países de ingresos mediano altos y de ingresos altos según la clasificación del banco mundial (Banco Mundial, 2018b), en su gran mayoría de los desechos son reciclados, en los países de bajos ingresos solo se recicla un 4% de los desechos.

Lamentablemente, el aumento en la generación de residuos sólidos, tiene una consecuencia evidente; el taponamiento de los sistemas de agua lluvia, que principalmente es provocado por la acumulación de estos residuos en los sumideros (Interagua, n.d.), esto es uno de los motivos por los que se generan las inundaciones en la zona urbana de la mayoría de los cantones, provocando pérdidas económicas a los comercios y generando enfermedades que afectan sobre todo a niños y adultos mayores.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Chone actualmente realiza trabajos de limpieza de los sumideros y pozos de aguas lluvias en diferentes sectores de la ciudad, esta actividad se la realiza durante todo el año con la finalidad de dar fluidez a las aguas lluvias (GAD Municipal Chone, n.d.). Estos trabajos se acentúan para evitar las inundaciones por aguas lluvias sobre todo en época invernal, ya que no existe actualmente una manera de saber el estado de los pozos y sumideros. Para mejorar el proceso de limpieza de los sumideros, es necesario utilizar la tecnología como ayuda de mejora continua.

Considerando lo expuesto previamente, el autor del presente proyecto se plantean la siguiente interrogante:

¿Cómo prevenir la acumulación de basura en los sumideros de agua lluvia de la zona urbana central del cantón Chone?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La gestión tradicional para la recolección de basura es efectiva mientras el volumen de habitantes no sea de gran magnitud, cuando las ciudades empiezan a crecer en número de habitantes conlleva a una relación directamente proporcional, es de decir que mientras más habitantes tengan las ciudades más basura generará. Por lo tanto, las gestiones deben adaptarse a las necesidades de cada ciudad.

El código orgánico del ambiente (Republica del Ecuador Asamblea Nacional, 2018) establece principios y normas que aseguren el efectivo ejercicio del derecho en un ambiente saludable, adecuado y equilibrado para el pleno desarrollo de la vida. Este mismo cuerpo legal en el Art. 25, CAPITULO II, establece las competencias de los gobiernos locales y gobiernos provinciales en cuanto a la gestión de los residuos sólidos de origen comercial, domiciliario, así como de todas aquellas actividades que generen residuos similares.

En el Ecuador, los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen la responsabilidad de gestionar los residuos sólidos municipales. Con base en la información emitida por el Ministerio del Ambiente (MAE) y el PNGIDS (2019), la situación financiera de los municipios en el Ecuador, en cuanto a la Gestión de

Residuos Sólidos, es deficiente, esto debido a que la tarifa cobrada a la ciudadanía por el servicio de recolección de residuos no cubre los costos que la recolección, procesamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos requiere.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Chone no cuenta con una gestión adecuada de los residuos sólidos (Moreno et al., 2017). Una alternativa para mejorar la gestión de residuos son las redes inalámbricas de sensores que es una tecnología que genera la posibilidad de obtener más cantidad de datos de un fenómeno físico en tiempo real, (Jiménez-López, 2016). Aprovechando estos datos se podrá realizar el monitoreo en tiempo real y prevención la acumulación de basura y por ende el taponamiento en los sumideros de agua lluvia, con equipos amigables con el ambiente y de esta manera alcanzar los objetivos planteados en el Plan Nacional de Desarrollo.

La presente investigación aportó de manera significativa al cantón Chone, ya que con la implementar una red inalámbrica de sensores se logra obtener de manera eficiente y en tiempo real el estado de los sumideros para evitar la acumulación de basura en los sumideros de agua lluvia de la zona centro urbana del cantón Chone.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo de monitoreo y alerta temprana de los sumideros de agua lluvia de la zona urbana centro del cantón Chone mediante una red inalámbrica de sensores, para evitar la acumulación de basura.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los dispositivos más idóneos para la creación de la red inalámbrica de sensores.
- Definir la topología de red más adecuada que se ajuste las necesidades de proyecto.

- Diseñar la solución física y lógica de la red de sensores inalámbrica.
- Desarrollar sistema web y base de datos para monitoreo y almacenamiento de información del estado de los sumideros.
- Implementar el prototipo de la red de sensores inalámbrica en la calle Sucre de la zona urbana centro del cantón Chone.
- Evaluar el funcionamiento de la red de sensores inalámbrica y de la aplicación web.

1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER

La creación de una red inalámbrica de sensores permitirá disponer de un sistema que ayudará a optimizar el tiempo en la detección de posibles taponamientos en los sumideros de agua lluvia de la zona urbana centro del cantón Chone mediante la monitorización y envío de alertas tempranas.

CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUCCIÓN.

Los seres humanos desde el principio de los tiempos hemos utilizado recursos para la satisfacción de nuestras necesidades, conservando lo que le es útil y lo que no es desechado. En la historia de la humanidad, pueden señalarse algunos lineamientos globales, los cuales aún siguen influyendo en la forma de ser y comportarse de la gente, comparando las épocas antiguas con la actualidad, se han hecho grandes cambios y avances tecnológicos (Mejía-García y Acosta-Pérez, 2019). Sin embargo, se ha dado un incremento significativo en la generación de desechos o residuos, convirtiéndose en una de las principales causas de contaminación de suelos y ríos.

Aun cuando se realizan campañas para concientizar a la ciudadanía que depositen sus residuos en contenedores para basura (Diario el Universo, 2020), el problema persiste. Muchas personas siguen botando basuras en las calles, misma que termina en la mayoría de los casos en los sumideros de agua lluvia, provocando taponamientos.

Una solución para este problema son las redes inalámbricas de sensores, las cuales han ayudado en el desarrollo de diferentes soluciones tecnológicas, esto sin necesidad de utilizar algún tipo de cable, favoreciendo una tecnología ubicua y móvil. Estas implementaciones tienen como objetivo obtener cualquier tipo de información como la temperatura, humedad, luminosidad, etc., del medio que los rodea (Uscuchagua-Flores, 2020).

2.2. GESTIÓN INTELIGENTE DE RESIDUOS

Una Smart City es un desarrollo urbano para gestionar múltiples Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) con el fin de dar solución a cualquier problema de la ciudad (M. F. González, 2015). Ciudad inteligente incluye mucha información como, departamento sistema de información, escuelas, bibliotecas, sistema de transporte, hospital, centrales eléctricas, ley, sistema de tráfico, gestión de residuos, y otros servicios de la ciudad. El objetivo de una ciudad inteligente es mejorar la eficiencia de los servicios y conectar toda la

información en un sistema. Hoy en día, el desarrollo de las Tics especialmente de Internet de las cosas (IoT) permite que la ciudad se convierta en una ciudad inteligente (Wijaya et al., 2017).

El concepto antes mencionado se está realizando a través de la uso de sistemas y sensores en tiempo real, donde (a) los datos son recolectados de ciudadanos y objetos (cosas), luego (b) procesados en tiempo real y finalmente (c) la información recopilada y el conocimiento extraído relacionado se está convirtiendo en la clave para un abordaje con ineficiencia (Karadimas et al., 2016).

En toda ciudad, el sistema de gestión de residuos es un punto crucial del entorno de vida, y su calidad y esto se considera seriamente. El concepto principal de la gestión inteligente de residuos es manejar todos los residuos de la ciudad y dar seguimiento de todo el proceso.

2.3. REDES INALAMBRICAS DE SENSORES (WSN).

Las redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks, wsn) son dispositivos independientes que trabajan colaborativamente para recolectar información (Oberli, 2016). Este tipo de redes incorpora un Gateway, mismo que provee conectividad inalámbrica con los nodos, haciendo de interfaz con una estación base que recolecta datos, normalmente se encuentra conectada a una red tcp/ip. El protocolo inalámbrico que se seleccione va a depender de los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz (Hugo et al., 2018).

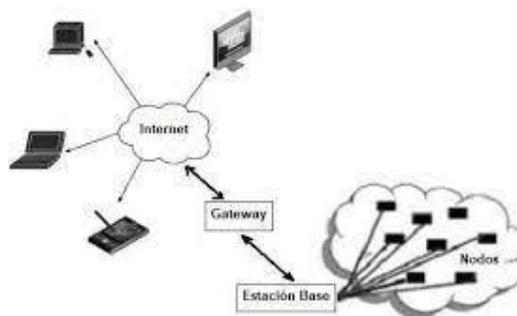


Figura 1. Esquema básico de una WSN

2.4. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4.

El protocolo 802.15.4., es un estándar que se encarga de definir niveles de comunicaciones inalámbricas para las Personal Area Network (pan). Este protocolo fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Badamasi, 2014) IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003). Es importante tener en cuenta que IEEE 802.15.4 en sí mismo no es una implementación o tecnología inalámbrica de IoT. Es un estándar al que se ajustan las tecnologías. Entre las tecnologías de IoT inalámbricas basadas en IEEE 802.15.4 se encuentran las especificaciones de ZigBee y Thread (Chew, 2018).

2.5. PROTOCOLO ZIGBEE.

Zigbee es una tecnología inalámbrica de baja tasa de transferencia, bajo consumo de energía. La principal función de ZigBee, es la de crear una topología de red jerárquica para que un número de dispositivos se comuniquen entre ellos, además de establecer características adicionales de comunicación tales como la autenticación, encriptación, de asociación y en los servicios de aplicación de la capa superior. (Vera Romero & Carolina, 2017). Las redes ZigBee pueden conectarse a través de diferentes diseños y topologías. Estas topologías nos indican como las radios conectan lógicamente unas con otras (Quezada et al., 2017).

Los dispositivos ZigBee son la combinación de aplicaciones (como sensor de luz, control de iluminación, etc.), ZigBee lógico (coordinador, enrutador, dispositivo final) y dispositivo físico ZigBee tipos (dispositivo de función completa y dispositivo de función reducida) (Ramya et al., 2011).

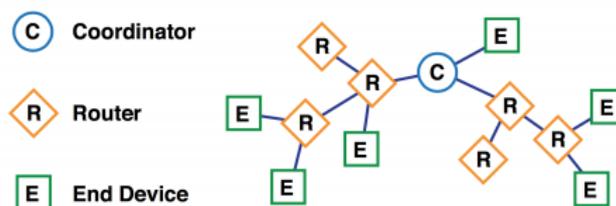


Figura 2. ZigBee Network

2.6. TOPOLOGÍAS DE RED.

Dentro del estándar IEEE 802.15.4, se definen dos tipos de topologías para las redes de sensores inalámbricas: topología en estrella y topología punto a punto (peer to peer). Además se puede mencionar dos topologías más árbol de grupos (cluster tree), topología malla (mesh) (Vera-Romero y Carolina, 2017).

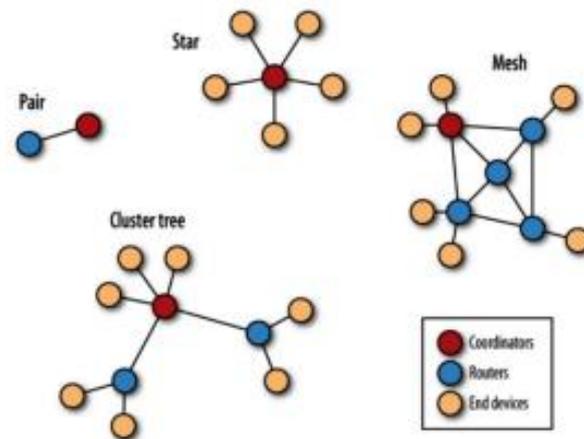


Figura 3. Topologías de la red basada en ZigBee

2.6.1. TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.

En esta topología, se establece una comunicación entre los dispositivos y un controlador central, llamado coordinador pan. Este coordinador puede estar alimentado por la red, mientras que los dispositivos lo más probable es que funcione con baterías. Las aplicaciones que se benefician de esta topología incluyen automatizaciones de casas, periféricos de computadora personal (pc), juguetes y juegos.

Después de que un FFD (Dispositivo totalmente funcional - nodo activo) se activa por primera vez, puede formar una red y convertirse en el coordinador, debe existir un solo coordinador PAN por red. Cada red elige un identificador PAN para establecer el canal de comunicación, mismo que no se encuentra utilizado por otra red dentro del rango de influencia radioeléctrica. Esto permite que cada red en estrella funcione independientemente (Ergen, 2004).

Como en este tipo de topología la comunicación es centralizada, cuando los dispositivos FFD (Dispositivo totalmente funcional - nodo activo) y RFD (Dispositivo de funcionalidad reducida), necesiten realizar alguna transmisión de

datos a los nodos dentro de la red, pasaran los datos al coordinador PAN y este a su vez se encargará de gestionar los destinos a los cuales debe llegar la información.

Esto provoca un mayor consumo de energía del coordinador PAN, por lo cual, el estándar IEEE 802.15.4 indica que el coordinador PAN puede ser alimentado de energía por la red y los demás dispositivos pueden ser alimentados por baterías (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003).

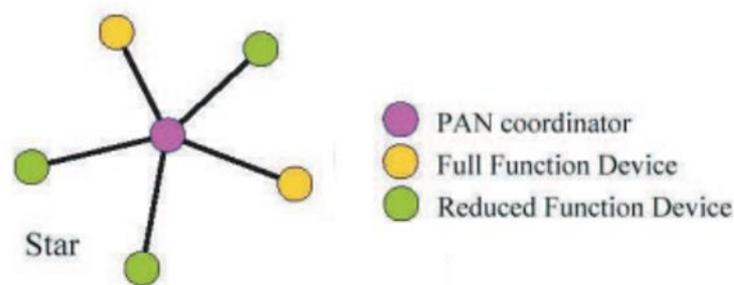


Figura 4. Topologías de la red estrella.

2.6.2. TOPOLOGÍA DE RED PUNTO A PUNTO.

En la topología de red punto a punto (peer to peer), también hay un coordinador PAN. A diferencia de la topología de red en estrella, todos los dispositivos pueden comunicarse entre sí cualquier siempre que estén dentro del alcance del otro. Una red punto a punto puede ser ad hoc, autoorganizada y autocurativa. Aplicaciones como monitoreo y control industrial, redes de sensores inalámbricos, entre muchos otros se beneficiarían de tal topología. También permite múltiples saltos para enrutar mensajes desde cualquier dispositivo a cualquier otro dispositivo en la red. Puede proporcionar confiabilidad mediante enrutamiento de múltiples rutas.

2.6.3. TOPOLOGÍA DE RED TIPO ÁRBOL.

La topología de red tipo árbol es una modificación de una red peer to peer (punto a punto) en la que mayormente son dispositivos FFD. Un RFD puede conectarse a una red tipo árbol como un dispositivo de salida. Cualquiera de los dispositivos FFD puede hacer las veces de coordinador y proporcionar servicios de sincronización con otros dispositivos y coordinadores. No obstante, solo uno de estos dispositivos es el coordinador del PAN.

El coordinador PAN forma el primer clúster al establecerse como el líder del clúster (CLH) con un identificador de clúster (CID) de cero, eligiendo un identificador PAN no utilizado y envía una señal broadcast a los dispositivos vecinos dentro de la red. Un dispositivo que recibe una trama de broadcast puede solicitar al coordinador PAN unirse a la red. Si el coordinador permite que el dispositivo se una a la red, agregará este dispositivo como un dispositivo secundario. El nuevo dispositivo unido agregará el CLH como su padre en su lista de nodos vecinos y comenzará a realizar transmisión de tipo broadcast de forma periódica para que otros dispositivos puedan unirse a la red de ese dispositivo. Si cumple los requisitos de la aplicación o de la red, El coordinador PAN puede solicitarle a cualquier dispositivo que se convierta en CLH de un nuevo clúster contiguo al primero.

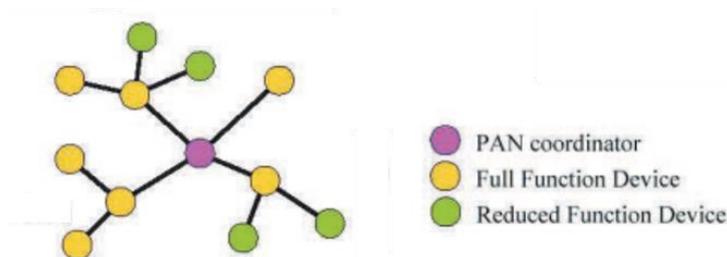


Figura 5. Topologías de la red árbol.

2.7. XBEE.

Los XBee son pequeñas radios que pueden comunicarse de forma inalámbrica unas con otras. Son capaces de recibir comandos e instrucciones, gracias a sus entradas/salidas analógicas y digitales, todo esto sin la intervención de un microcontrolador externo. Estos módulos Xbee, pueden ser configurados para usarse en redes punto a punto (peer-to-peer), o punto a multipunto. la Figura 6, muestra un ejemplo de conexión multipunto, con varios nodos conectados a un coordinador.

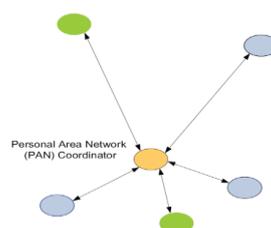


Figura 6. Coordinador PAN con múltiples nodos

2.8. COORDINADOR.

El coordinador es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red y podría tender un puente a otras redes. Hay exactamente uno coordinador en cada red. Es responsable de iniciar la red y seleccionando los parámetros de la red como canal de radiofrecuencia, identificador de red único y configuración de otros parámetros operativos. También puede almacenar él información sobre la red, claves de seguridad, etc. (Masica & Livermore, 2007).

2.9. ROUTER.

El router es un dispositivo que forma una red y mantiene información sobre esta de tal manera que pueda determinar la mejor ruta para transmitir información. Sin embargo, un router debe primero unirse a una red Zigbee antes poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o dispositivos finales.

2.10. DISPOSITIVOS END DEVICE.

El dispositivo final puede ser de bajo consumo / dispositivos alimentados por batería. Pueden recolectar varias informaciones de sensores e interruptores. Tienen suficiente funcionalidad para hablar con sus padres (ya sea el coordinador o un enrutador) y no puede transmitir datos de otros dispositivos. Esta la funcionalidad reducida permite reducir su costo. Estos dispositivos no tienen que permanecer despierto todo el tiempo, mientras los dispositivos pertenecientes a las otras dos categorías tienen que hacerlo (Aguayo, 2012).

2.11. VIDA DE BATERÍA EN XBEE.

Una de las ventajas y característica principal de los módulos XBee es el bajo consumo que poseen. Dentro de la configuración de los dispositivos Xbee podemos encontrar Sleep-mode, Esta característica permitirá ahorrar incluso mucha más energía; esto se da especialmente en los nodos finales (End Device). El fabricante de XBee especifica que este dispositivo, puede funcionar hasta 60 días con un par de baterías convencionales, configurando su uso en ciclos de un segundo de uso y 59 segundos de descanso o modo Sleep. El consumo de corrientes instantáneo en un dispositivo XBee va entre 1uA y 20mA (DIGI, 2015).

2.12. POTENCIA DE TRANSMISION DE DISPOSITIVOS XBEE.

La potencia de los dispositivos Xbee en la transmisión, varía según el modelo y el tipo de antena utilizado (smd, wired, chip). En la página del fabricante se detallan dos modelos de XBee, XBee Series X y XBee Series X PRO. En la tabla 1 se muestra una comparación entre ambos modelos atendiendo al alcance y la potencia de transmisión. En cada caso la antena es un monopolo elemental. (Castellanos et al., 2015) La serie PRO de Xbee son los más robustos en cuanto a alcance y potencia de trasmisión.

Prestaciones	Dispositivo XBee	Dispositivo XBee PRO
Alcance en interiores (m)	30	100
Alcance en exteriores (m)	100	1500
Potencia de transmisión.	0 dbm	20 dbm
Sensibilidad de recepción.	-90 dbm	-100 dbm

Tabla 1. Comparación entre dispositivos XBee y XBee Pro

2.13. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN XBEE.

Los dispositivos XBee tienen una velocidad de transmisión promedio reducida comparándolas con otras tecnologías similares, como son Bluetooth y Wifi, con una tasa de transmisión de máximo de 250Kbps, siendo esta suficiente para realizar tareas de comunicación en condiciones normales para un dispositivo WSN (Ling et al., 2015).

Modelo	Tasa de bits	Rango	Uso
Tecnología ZigBee	20 a 250Kbps	10-100m	WSN
Tecnología Bluetooth	1 a 3 Mbps	2-10m	Wireless Headset
Tecnología IEEE 802.11b 1	1 a 11 Mbps	30-100m	Wireless Internet

Tabla 2. Comparación XBee vs. Bluetooth y WiFi

2.14. X-CTU.

X-CTU es un software multiplataforma de licencia libre que permite interactuar con Digi RF (radiofrecuencia) módulos a través de una interfaz gráfica de fácil configuración y uso. Eso incluye nuevas herramientas que facilitan la instalación, configuración y prueba de los módulos de RF XBee. La interfaz simple, permite configurar los dispositivos XBee y realizar pruebas mediante comandos AT integrado en el software, e incluso graficar una red detallada de una malla ZigBee configurada en modo API (Digi International, 2017)

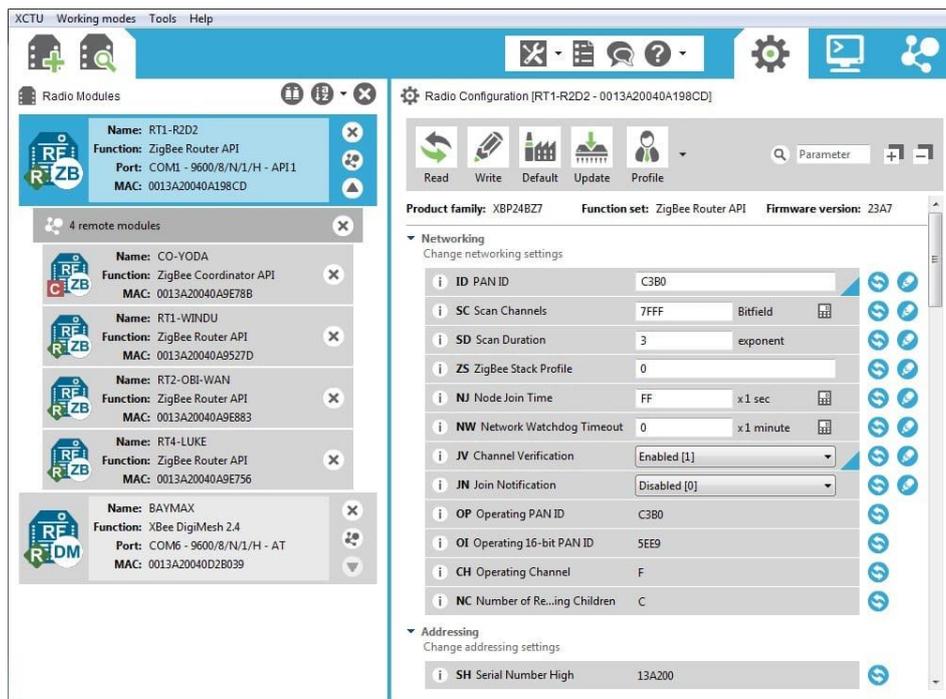


Figura 7. Interfaz gráfica X-CTU

2.15. ARDUINO BOARD.

Arduino es un sistema de microcontrolador de código abierto basado en una placa de entrada-salida simple. Se usa típicamente para crear prototipos, así como desarrollar proyectos interactivos. Arduino fue desarrollado con requisitos fáciles para aprender y usar, flexible y confiable. Son ampliamente utilizados en una red de sensores inalámbricos (WSN) como dispositivo portátil (Badamasi, 2014). Arduino viene en diferentes tipos como Arduino Uno, Arduino R1, Arduino R2, Arduino Duemilanove, etc.



Figura 8. Placa Arduino UNO

2.16. ARDUINO IDE.

IDE son las siglas de "Integrated Development Environment": es un software oficial presentado por Arduino.cc, que se utiliza principalmente para editar, compilar y cargar el código en el dispositivo Arduino. Casi todos los módulos Arduino son compatibles con este software que es de código abierto y se puede disponible para instalar y comenzar a compilar el código sobre la marcha. (Fezari & Al Dahoud, 2018). Posee integración de librerías que permite utilizar para casi cualquier dispositivo electrónico, esto incluye todas aquellas librerías que se requieren para el correcto funcionamiento de XBee Shield V03+Xbee Series X.

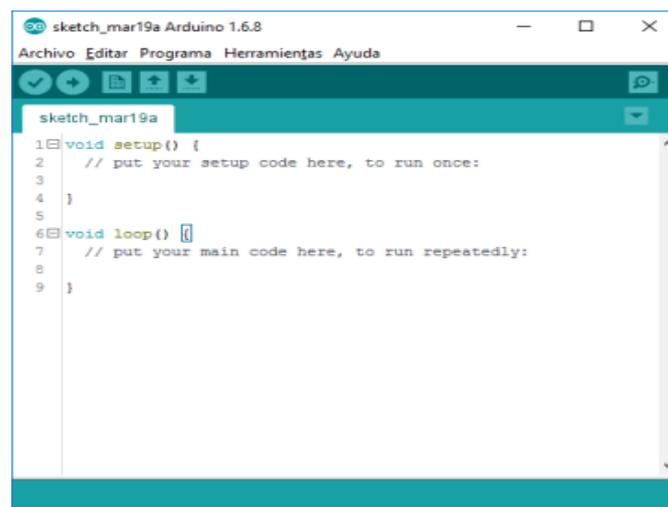


Figura 9. IDE Arduino

2.17. XBEE USB EXPLORER BOARD.

Todos los dispositivos XBee tienen 20 pines de conexión, cada uno espaciado 2 mm de distancia. Como los pines del XBee están separados de manera diferente que los agujeros en la placa de pruebas. Este espaciado estrecho de los pines ayuda a mantener las radios muy pequeñas, pero no les permite encajar en una

placa de pruebas (Kumbhar, 2017). Se utiliza una placa Explorer para conectar Xbees a la placa de pruebas y luego al puerto USB de la computadora



Figura 10. Explorer Board con Xbee

2.18. MÓDULO ETHERNET.

Permite la conexión a la red mediante protocolo TCP/IP. Este protocolo funciona a través del estándar Ethernet. Permite conectar cualquier microcontrolador como Arduino o PIC a la red Ethernet y de esa forma poder enviar y recibir datos desde una red local o internet (O. González et al., 2018).

2.19. SENSORES.

Los sensores emiten un haz de luz (visible o infrarrojo) desde su componente emisor de luz. Un sensor de tipo reflectivo es utilizado para detectar el haz de luz que es reflejado desde el objeto. Los sensores de tipo de haz de barrera son utilizados en cambio para medir la variación en la cantidad de luz causada por el cruce del objeto por el eje óptico.

2.20. SENSORES ULTRASONICO.

El sensor ultrasónico permite miden la distancia con otro objeto haciendo uso de ondas ultrasónicas. El sensor emite una onda ultrasónica que es reflejada desde el objeto, obteniendo así la distancia entre el sensor y el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al Objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción (Keyence, 2010)

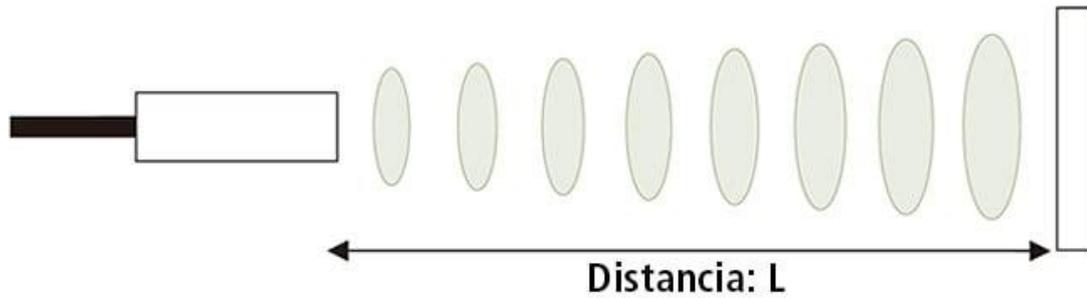


Figura 11. Medida de Distancia a objeto.

La fórmula para calcular la distancia es la siguiente:

$$\text{Distancia } L = 1/2 \times T \times C.$$

Donde L representa la distancia, T representa el tiempo entre la emisión y la recepción y C representa la velocidad del sonido. (El resultado se multiplica por $\frac{1}{2}$ (medio) ya que T representa el tiempo de recorrido en ida y vuelta).



Figura 11. Módulo ultrasónico impermeable AJ-SR04M

2.21. INTERRUPTOR DE FLOTADOR.

El interruptor de flotador en su forma más simple, consiste en un cuerpo flotante hueco con un imán incorporado, un conducto para guiar el flotador, unos toques o collares que permiten limitar el recorrido del flotador en el tubo y un contacto de Reed ubicado en su interior.

En una forma simple, los interruptores de flotador han sido utilizados mayormente para el control de flujos de agua en campos y molinos, esta práctica se ha llevado durante décadas y hoy todavía representan una de las tecnologías más utilizada. Este interruptor, debido a su baja densidad y flotabilidad, cae o se eleva con respecto a los niveles de líquido. Si se aprovecha este movimiento a través de una palanca mecánica, por ejemplo, como un simple control de boya para un canal de riego, se ha implementado un interruptor de flotador mecánico. (Alonso Pinzón & Lugo Benítez, 2019)



Figura 12. Sensor de nivel de líquidos tipo boya.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

El presente trabajo de titulación trata de una investigación no experimental, el cual propone un prototipo para el monitoreo los sumideros de agua lluvia de la zona urbana centro del cantón Chone mediante una red inalámbrica de sensores y envío de alerta de acumulación de basura.

3.1. METODO.

Para alcanzar los objetivos específicos planteados, se utilizó la metodología EDER, en donde se detallan procesos aplicados en proyectos de infraestructura tecnológica. Las fases de la metodología son las siguientes: Estudio, Diseño, Ejecución y Revisión (Morales et al., 2018). La descripción de las etapas se detalla a continuación: (Figura 14).



Figura 13. Esquema de la metodología EDER

Fuente: (Morales et al. 2018).

Fase 1: Estudio. - En esta primera fase de la Metodología EDER que es Diseño. Según (Morales et al., 2018), se buscó realizar un reconocimiento del área donde se implementaría el prototipo de la red inalámbrica de sensores. Aquí, se escogió

el área en donde se trabajaría, y se verificó si existían obstáculos o espacios abiertos con línea de vista entre los distintos nodos; de esta manera se pudo definir la topología de red más adecuada que permita una conexión confiable entre los nodos. Esto hace referencia a como se conectarán los distintos nodos, es decir todos los componentes (hardware) de la red inalámbrica de sensores WSN, y como se transmitirán los datos a través de la configuración que se realice, es decir, el protocolo de transmisión utilizado. Así mismo se buscó tener un amplio conocimiento técnico de los diferentes dispositivos que intervienen en una red de sensores inalámbricos WSN; cual es el que más se adapta a la propuesta. Para realizar el prototipo funcional que permita el monitoreo de los sumideros de agua lluvia, fue necesario conocer y comprender las ventajas, desventajas y desafíos de cada una de las tecnologías utilizadas en esta área.

Fase 2: Desarrollo. - En esta etapa, según (Morales et al., 2018), se interpretaron y se tradujeron los requisitos para la realización la representación lógica y física de la red inalámbrica de sensores. Existen varias arquitecturas que permiten realizar este tipo de redes. Cada topología presenta ventajas y desventajas, así como también desafíos al momento de utilizarlas. La topología hace referencia a la configuración de los componentes, y como serán transmitidos los datos a través de dicha configuración, es decir el protocolo de transmisión que se utilizará. Para entender las topologías es necesario conocer los cada uno de los elementos que la componen. Además, en esta etapa se realizó un análisis de la información obtenida de los nodos, para posteriormente definir un modelo conceptual y lógico que permite el almacenamiento de los datos, el diseño de la estructura general de la base de datos y la creación de la misma. La información obtenida por los nodos es alojada en un servidor web que se gestiona con el gestor de base de datos MySQL para ser presentada en un entorno web desarrollado en PHP y el framework Laravel, disponible mediante una conectividad a internet en pantallas de monitoreo, laptops, tabletas o smartphones.

Fase 3: Ejecución. - En esta fase y siguiendo la Metodología EDER (Morales et al., 2018), se integraron cada uno de los componentes (hardware y software) e implementaron con base a la arquitectura seleccionada. Aquí se realizó la construcción de los nodos sensores (prototipo). Una arquitectura típica de una

red de sensores inalámbricos WSN está conformada por nodos sensores y un nodo coordinador (Cluster Head Node), este último encargado de recoger la información de los sensores; en este tipo de redes cualquiera de los nodos podría funcionar como nodo Gateway. (Mahdi et al., 2016). Además, se programaron los nodos con base en el diseño preliminar realizado en la fase anterior.

Fase 4: Revisión. - El objetivo de esta última fase es verificar el correcto funcionamiento del prototipo, tanto en ambiente no productivo, como en producción, según (Morales et al., 2018); para ello se realizó pruebas en frío y pruebas en caliente. Se comprobó la integración de cada componente que integran el prototipo; se ejecutaron pruebas, en un ambiente local para detectar errores y realizar las correcciones a las inconsistencias encontradas. Una vez que se realizaron las pruebas y su debida verificación en cuanto a la integración de todos los componentes del prototipo, se evaluó en el sitio (campo) donde se instalarán los nodos que componen la red inalámbrica de sensores, esto permitió evaluar las condiciones en las que va a trabajar el nodo y así verificar el correcto funcionamiento del prototipo en el campo. Luego se realizó a la activación del servicio de la plataforma que administrará los datos obtenidos, y posteriormente la puesta en marcha de todos del prototipo de la red.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en el trabajo de titulación, Monitorización de Acumulación de basura en los sumideros de agua lluvia basado en redes inalámbricas de sensores, se presentan en concordancia con la metodología propuesta y con los objetivos planteados.

4.1. ESTUDIO.

Se realizó un reconocimiento del área donde se implementó el prototipo de la red inalámbrica de sensores. Se escogió la calle Sucre entre Malecón 5 de junio y Washington por la cercanía y por lo poco transitada, esto permitió un trabajo sin interrupciones (Anexo 8). En base al reconocimiento del área se escogió la topología de red Punto-multipunto (estrella) que se generaría a partir de la configuración del hardware en modo de transmisión broadcast.

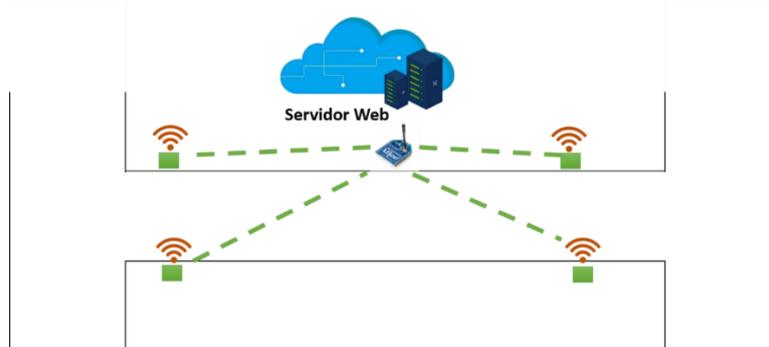


Figura 14. Diagrama de red tipo estrella (punto-multipunto).

Descripción del diagrama:

- Nodo coordinador.
- Modo de transmisión ZigBee en topología de red punto-multipunto tipo (estrella).
- Nodos Finales en los sumideros.

Este tipo de red está pensada para que la conexión ZigBee trabaje en broadcast. Este modo broadcast permitirá que, cualquier modulo final (End-Device) pueda transmitir y que dicha transmisión, sea replicada hacia los demás nodos de la misma red, pero solo coordinador será capaz de interpretar todas las transmisiones que realicen los dispositivos dentro de la red. Los demás nodos no realizarán ninguna acción.

Existen muchas tecnologías que permiten la comunicación inalámbrica en WSN.

A continuación, se detalla estas tecnologías:

Tecnología	Norma	Bandas de Frecuencia	Velocidad máxima de transmisión	Alcance (Línea de vista)
Wi-Fi	IEEE802.11 a/b/g/n	2.4-2.4835 GHz 5.15-5.35 GHz (Europa, América) 5.47-5.725 GHz (Europa) 5.725-5.850 GHz.	1.3 Gbps	70 [m]
Bluetooth	IEEE802.15.1.	2.4 - 2.4835 GHz	4 Mbps.	50 [m]
LTE		2100 MHz CNT 1900 MHz Movistar 1700 MHz Claro	100 Mbps Downlink 50 Mbps Uplink	5 [Km]
Z - Wave	IEEE802.15.4.	868.42 MHz Europa Banda ISM de 900 MHz: 908.42 MHz (USA)	20 kbps	100 [m]
ZigBee	IEEE802.15.4	868 MHz (Europa) 915 MHz (USA) 2.4 GHz (Resto del mundo)	20 kbps a 868 MHz 40 kbps a 915 MHz 250 kbps a 2.4 GHz	100 [m]
LORA		433 MHz 868 MHz 780 MHz	100 Kbps	15 [Km]

Tabla 3. Comparación de protocolos de comunicación inalámbrica

Tabla 4. Resumen de características hardware.

Características principales	Plataforma Arduino		Plataforma Freedom		Plataforma Launchpad	
	Arduino UNO	Arduino MEGA	Freedom KL25Z	Freedom K64F	Launchpad EXP430G2	Launchpad EXP432P401R
Precio	\$ 9,99	\$ 15,00	\$15,00	\$ 35,00	\$ 9,99	\$ 12,99
Microcontrolador or Núcleo Resolución-Vel. Flash/ram	ATMEGA328P AVR 8bit-16MHz 32k/2k	ATMEGA2560 AVR 8bit-16MHz 256k/8k	KL25Z ARM Cortex-M0+ 32bit-48MHz 128k/16K	K63F ARM Cortex-M4F 32bit-120MHz 1M/256K	MSP430G2553 MSP430 16bit - 16MHz 16k/0.5k	MSP432P401R Cortex-M4F 32 bit - 48MHz 256k / 64k
Pines totales	32	86	64	64	20	78
ADC	6	16	6	6S.E. + 4 Diff.	8	24
E/S digital	14	54	48	40	16	69
PWM	6		24	12	7	24
Formato	DIP.	SMD.	SMD.	SMD.	DIP.	SMD.
Ampliaciones	Shields	Shields	Shields	Shields	Boosterpacks	Boosterpacks
Extras	1 led	1 led	Acelerómetro. Led tricolor. Slider. capacitivo USB	Acelerómetro/magnetómetro Led multicolor Ethernet USB	2 leds. 1 botón.	Led tricolor. 2 botones.

Así mismo se buscó tener un amplio conocimiento técnico de los diferentes dispositivos que intervienen en una red de sensores inalámbricos WSN. A continuación, se presenta una tabla comparativa:

De todas ellas, sólo la placa Arduino UNO y la placa Launchpad EXP430G2 presentan microcontroladores en formato DIP, siendo por tanto las únicas opciones si deseamos realizar después prototipos hardware que usen estos microcontroladores.(Perales et al., 2016).

Dada la facilidad de configuración y trabajo y además del bajo costo de estos microcontroladores se optó por trabajar con Arduino uno ya que cumple con las características necesarias para esta propuesta.

4.2. DESARROLLO.

El prototipo está enfocado en la monitorización de los sumideros de agua lluvia para detectar presencia de desechos sólidos y enviar alertas de posibles taponamientos, para esto se implantaron nodos con la placa Arduino y cuya comunicación entre nodos es mediante conexión ZigBee por medio del módulo XBee.

4.2.1. CONFIGURACIÓN XCTU.

XCTU requiere la instalación de todos los drivers relacionados con XBee, así mismo con los del dispositivo XBee Explorer.

Una vez iniciado el software este se actualizará automáticamente, con el fin de tener a disposición las últimas versiones de todas herramientas y características disponibles.

4.2.2. CONFIGURACIÓN IDE DE ARDUINO.

Arduino IDE desde su instalación posee los drivers de todo módulo Arduino, así mismo requiere la instalación de las librerías “XBee Arduino library” correspondientes a los módulos XBee, adicionalmente las librerías: Low-Power-master, ya que se configurará el nodo final (End-Device) para que entre en modo reposo 23 horas con 59 minutos, EtherCard-master que permite conectar el nodo controlador a la red. Para incluir librerías nuevas en el IDE de Arduino, nos dirigimos a: Programa->Incluir Librería->Añadir biblioteca .zip, para buscar librerías desde el IDE; y si queremos añadir una librería desde un archivo .zip.

4.2.3. CONFIGURACIÓN XBEE SERIES X NODO (END-DEVICE).

Los Módulos XBee utilizados en los nodos finales (End-Device), tendrán la misma configuración, cambiando únicamente el “NI Node Identifier” que es el

nombre que se le asigna a cada. La configuración se la realiza a través del software XCTU.

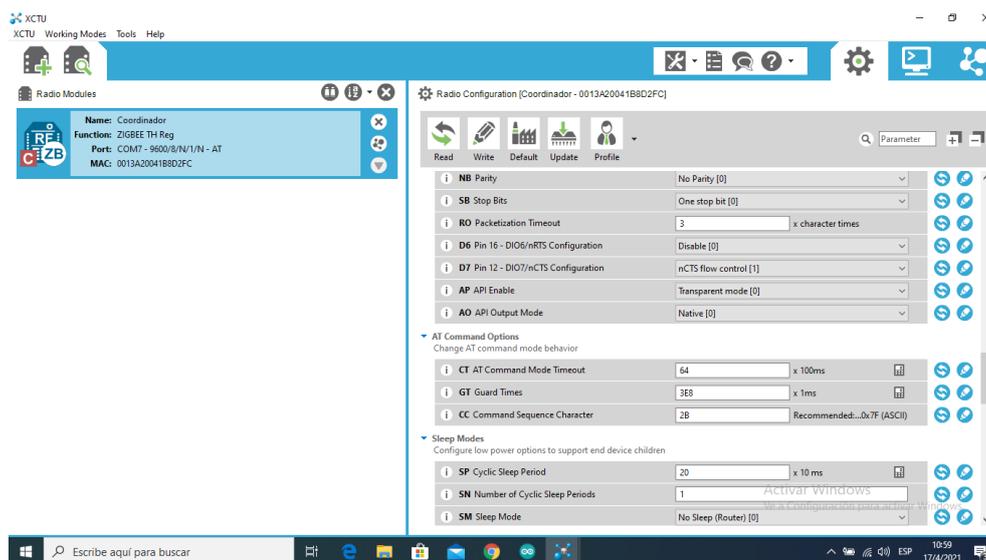


Figura 15. Interfaz de configuración de módulos XBee en XCTU.

Los nodos finales (End-Device), se configuran como se muestra la tabla 5. Los demás parámetros los dejamos como viene por defecto de fábrica.

PARÁMETROS	CONFIGURACIÓN
ID (PAN ID)	1123
CE (Coordinator Enable)	Disable [0]
DH (Destination Address High)	0
DL (Destination Address Low)	0
NI (Node Identifier)	NODO SENSOR # (Identificador)
BD (Baud Rate)	9600 [3]
AP (API Mode Enable)	Transparent mode [0]
SM (Sleep Mode)	Async. Pin Sleep[1]

Tabla 5. Configuración en XBee Nodo Final (End-Device).

4.2.4. ARDUINOS - MODULO COORDINADOR.

El módulo XBee utilizado para el coordinador, se configurará de tal manera que permita generar el nodo principal de la red.

El nodo coordinador, se configuran como se muestra la tabla 6. Los demás parámetros los dejamos como viene por defecto de fábrica.

PARÁMETROS	CONFIGURACIÓN
ID (PAN ID)	1123
CE (Coordinator Enable)	Enabled [1]
DH (Destination Address High)	0
DL (Destination Address Low)	FFFF
NI (Node Identifier)	NODO COORDINADOR
BD (Baud Rate)	9600 [3]
AP (API Mode Enable)	Transparent mode [0]
SM (Sleep Mode)	No Sleep (Router) [0]

Tabla 6. Configuración en XBee Nodo Coordinador.

4.2.5. ENTORNO WEB.

El entorno web mediante el cual se presentará la información y se dará seguimiento a los nodos finales (END- DEVICE) se desarrolló en Laravel 7. Este entorno tiene una interfaz donde se incluyó una API de google map, para integrar el mapa de la ciudad de Chone y marcar los puntos donde están los nodos finales. Mediante esta interfaz se podrá monitorizar cualquier tipo de alerta generada por uno o varios de los nodos finales (End-Device) de la red, mostrando mensajes en la pantalla de alerta de llenado y marcando el nodo de color rojo. Este mensaje se repetirá cada 5 minutos hasta que le nodo sea atendido (limpiar el sumidero).

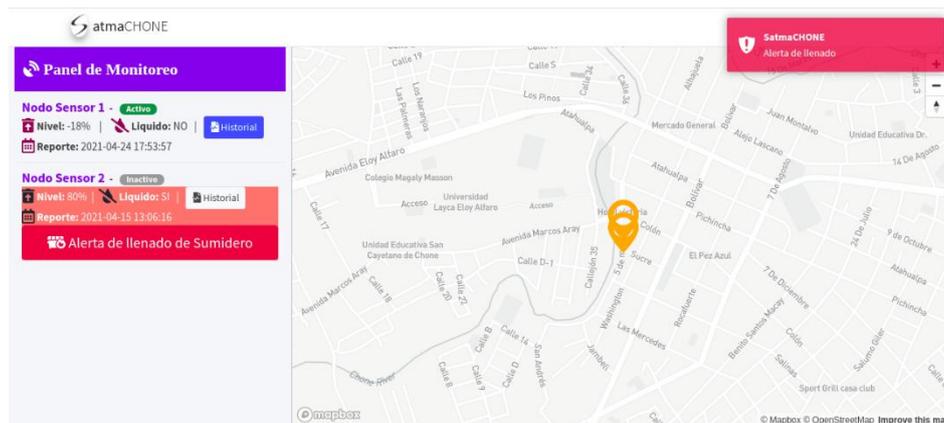


Figura 16. Pantalla de monitoreo de nodo finales.

4.3. EJECUCIÓN.

En el proceso de ejecución se realizó la construcción de los nodos sensores (prototipo).

4.3.1. CONSTRUCCIÓN NODO FINALES (END-DEVICE).

Se integraron los componentes hardware para la construcción del nodo final (END-DEVICE) con la finalidad de comunicar el módulo ultrasónico impermeable AJ-SR04M sensor de medición de distancia y el Arduino UNO, así mismos la comunicación del sensor de nivel de líquidos tipo boya con la placa Arduino UNO, este último permite detectar un “falsos positivos”, ya que el nodo puede estar lleno de agua y no de desechos sólidos. Se agregó a este un módulo de XBee para integrar el nodo a la red de sensores.

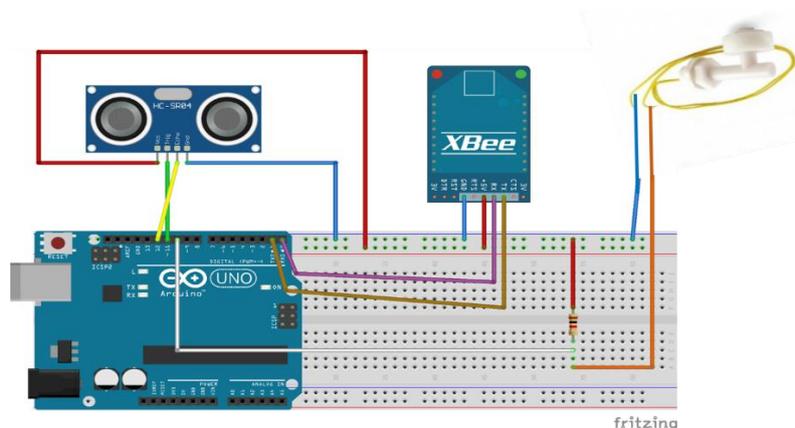


Figura 17. Construcción de nodo final (END-DEVICE).

4.3.2. ARDUINOS - NODOS FINALES (END-DEVICE)

La codificación está desarrollada para diseñado para detectar las lecturas provenientes del módulo ultrasónico impermeable AJ-SR04M sensor de medición de distancia a través de los pines 11 (TRIG) y 12 (ECHO). De igual manera para

detectar la variación de voltaje del sensor de nivel de líquidos tipo boya a través del pin 9.

Una vez obtenidas las lecturas son convertidas a una cadena de caracteres que incluye el identificador del nodo, la lectura obtenida del sensor ultrasónico y la lectura obtenida del sensor de nivel de líquidos, añadiendo a estos un separador que para el caso será la coma (,) lo que permitirá decodificar y separar el dato enviado hacia el nodo coordinador.

```
void loop() {
  SensorNivel = digitalRead(nivel); //leemos lo que marca el nivel

  digitalWrite(TRIG, LOW); // Set the trigger pin to low for 2uS
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG, HIGH); // Send a 10uS high to trigger ranging
  delayMicroseconds(20);
  digitalWrite(TRIG, LOW); // Send pin low again
  int distance = pulseIn(ECHO, HIGH,26000); // Read in times pulse
  distance= distance/58; //Convert the pulse duration to distance

  datoenviado = String(identificador)+separador+String(distance)+separador+String(SensorNi
```

Figura 18. Codificación en Arduino de Nodo Final (End-Device).

Los nodos finales (End-Device), solo realizarán la lectura del sumidero una vez al día, esto quiere decir que estarán en modo suspensión (SLEEP) 23 horas y 59 minutos aproximadamente, reduciendo al mínimo su consumo de energía. Para esto hacemos uso de la librería Low power.

El nodo final (END_DEVICE) armado y operativo con alimentación por una batería de 5000mAh, como se muestra en la Imagen 19



Figura 19. Nodo Final (END-DEVICE)

4.3.3. CONSTRUCCIÓN COORDINADOR.

Para la construcción del nodo coordinador, al igual que en el módulo final (END_DEVICE), se integraron los componentes hardware con la finalidad de detectar y leer el puerto serial por donde llegaran los estados provenientes de los nodos finales (END_DEVICE). Para ello se agregó un XBee configurado previamente como Coordinador. Así mismo se integró un módulo Ethernet Enc28j60 que permite la conexión de este nodo al internet. Además, se agregaron 2 diodos led como indicadores de conexión del módulo a la internet y de envío de información a la base de datos.

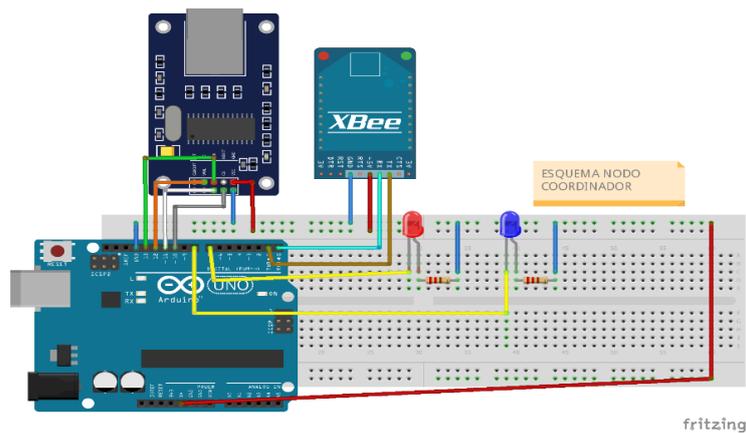


Figura 20. Construcción de nodo Coordinador.

4.3.4. ARDUINOS - NODOS COORDINADOR.

La codificación en el nodo coordinador tiene dos tareas, la primera tarea es detectar y leer el puerto serie de donde vendrán los datos provenientes de los nodos finales, y la segunda tarea es decodificar y separar los datos provenientes de los nodos, ya que esta viaja como una cadena de carácter y luego enviar esta información que llega a una base de datos MySQL por medio del módulo Ethernet Enc28j60.

```

if (!ether.dnsLookup(website)) //IP do servidor por DNS
  Serial.println("Fallo de DNS");
ether.parseIp(ether.hisip, "192.168.1.142"); //IP do servidor manual
ether.printIp("Servidor: ", ether.hisip);
Serial.println(" ");
}

void loop() {
  digitalWrite(LEDNOCONECTADO, LOW);
  if(cuenta == 0){
    digitalWrite(LEDCONECTADO, HIGH);
  }

  if(Serial.available()){

    datosrecibidos = Serial.readString();
    ident = s.separa(datosrecibidos, ',', 0);
    temp2 = String(ident).toInt();
    nivel = s.separa(datosrecibidos, ',', 1);
    temp = String(nivel).toInt();
  }
}

```

Figura 21. Codificación en Arduino de Módulo Coordinador.

El nodo Coordinador armado y operativo con alimentación eléctrica de 9V, se muestra en la Imagen 22.



Figura 22. *Nodo Coordinador Operativo*

4.4. REVISIÓN.

Para la realización de las pruebas en frío (Anexo 6) se configuró los tiempos del nodo final (END-DEVICE) en 2 minutos, ya que su tiempo real es una vez al día, esto para evaluar el comportamiento del nodo en periodos cortos. Se simuló el sumidero con una caneca de pintura y se configuraron los parámetros del sumidero (profundidad) a las dimensiones de la caneca de pintura.

Para sustentar el nodo final (END-DEVICE), se contemplaron baterías de LI-PO de 5000mAh con una tensión de 3,7V a 4,2V. El nodo activo consume en promedio 85.4mA, lo que significa que el tiempo de duración de la batería sin recargar es de 58.4 horas de trabajo.

La fórmula para el cálculo de la duración de la batería es:

$$t = \frac{Cap_B}{I_{nodo}}$$

Esto se traduce a t tiempo de duración de la carga de la batería, Cap_B la capacidad en mAh de la batería, e I_{nodo} consumo del nodo sensor en estado activo.

Mientras que cuando está en modo sleep, consume 46mAh lo que significa que se obtiene 108.70 horas de trabajo sin recargar la batería. El Mayor consumo

proviene del módulo XBee que es de 50mA cuando están en funcionamiento (Aguilar Darwin Ing Álvarez Jorge, 2017).

Los módulos XBee pueden conectarse hasta 1200m (Cruz Núñez Pérez et al., 2017) de distancia con otros módulos (nodo coordinador).

Las pruebas en sitio (Pruebas en caliente) se realizaron a una distancia de 100 metros como máximo.

El nodo coordinador encargado de recibir la información enviada por los nodos finales se conecta directamente a la corriente con un cargador de 9V, ya que por su función estará constantemente monitoreando la red (Anexo 7) esto garantizará que este escuchando la red en todo momento.

Como se mencionó en el capítulo 4.1, el envío de los datos desde los módulos Finales (End-Device) hacia el módulo Coordinador está configurada en modo Broadcast, Esto permite que la transmisión que proviene de cualquier nodo final (End-Device) en teoría en cada uno de los otros nodos de la misma red incluyendo los nodos finales (End-Device), pero el único que puede interpretar los datos recibidos es el nodo Coordinador (Maidhili & Karthik, 2018).

Así mismo se realizaron las pruebas del envío a la base de datos de los valores proveniente de los módulos finales, los mismo que son identificados por un ID incluido en la trama que al momento del envío al nodo coordinador, y su posterior visualización en el sistema web incluidas las respectivas alertas en caso que el nodo se encuentre lleno de desperdicio sólido.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones a las que se llegaron en este trabajo:

- Se realizó un análisis exhaustivo de los dispositivos y equipos disponibles en el mercado y se determinó que los más idóneos por su economía y las características que presenta son el microcontrolador Arduino UNO, los módulos Xbee, el sensor ultrasónico impermeable AJ-SR04M, esto debido al lugar donde estará el nodo (end_device).
- Se analizó de manera detallada los requerimientos de diseño y de funcionamiento para que estos sean incluidos en las funcionalidades de la red.
- Se diseñó la topología de la red de sensores en función de las necesidades analizadas (ubicación de los nodos), dando como resultado una topología adaptada a lo esperado.
- El sistema web ayuda al monitoreo de los sumideros en tiempo real, mostrando la ubicación GPS y el nivel de llenado; así como también el historial de cada sumidero.
- La implementación del prototipo permite dar seguimiento a los niveles de desechos sólidos y líquidos en los sumideros alertando de un posible llenado.
- El Nodo final (end_device) permiten obtener información del sumidero de forma continua, enviando los parámetros a su nodo coordinador y por intermedio de este una la base de datos, la cual permitirá mostrar información en tiempo real de sumidero a través de una aplicación web.

5.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden hacer en base al desarrollado en este trabajo:

- Revisar el estado de las baterías cada seis meses, esto permitirá mantener un nivel óptimo de las baterías y un correcto funcionamiento de la red.

- El nodo coordinador y en caso de una expansión el nodo enrutador deben estar ubicados en una parte central del lugar donde se van a instalar los nodos finales.
- Se puede añadir a los nodos finales (END-DEVICE) una tecnología Wi-Fi o GSM, con el fin de enviar la información directamente al servidor, sin la necesidad de pasar por un coordinador.
- Se adicione una API de pronóstico de tiempo a la aplicación, y en base a la información recabada por los nodos finales (END-DEVICE) hacer una predicción de posibles taponamientos.
- Verificar el comportamiento de los nodos incluyendo más nodos finales y nodos repetidores (Router) con la finalidad de observar el comportamiento de la red.
- Por las condiciones en las que trabajara el nodo final (ENE-DEVICE) es recomendable que este esté en una caja impermeable ya que el dispositivo posiblemente estará expuesto al agua prácticamente de manera indefinida.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, P. (2012). *Guía del Usuario XBee Series 1 DOCUMENTO PRELIMINAR Revisión Agosto 2008 Desarrollada por: Andrés Oyarce Revisada por.*
- Aguilar Darwin Ing Álvarez Jorge, I. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISUALIZACIÓN Y MONITOREO MÓVIL DEL CONSUMO ELÉCTRICO A TRAVÉS DE UNA RED ZIGBEE CON MÓDULO XBEE.*
- Alonso Pinzón, E. F., & Lugo Benítez, J. F. (2019). *Instrumentación y Control de Nivel para un Sistema de Tanques de Hipoclorito de Sodio para Brinsa S.A.* <https://repositorio.itc.edu.co/bitstream/001/386/1/completo-convertido.pdf>
- Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- Banco Mundial. (2018). *Informe del Banco Mundial.* <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Castellanos, A., Franklin, R., Quindemil, P., Martínez, F., Ángel, S., Bárzaga, D., Luis, V., & Milanés, A. M. (2015). Diseño de un sistema electrónico utilizando módulos XBee para transmitir voz. *RIELAC*, 2, 40–52.
- Chew, D. (2018). Protocols of the Wireless Internet of Things. In *The Wireless Internet of Things* (pp. 21–45). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119260608.ch2>
- Cruz Núñez Pérez, J., Bonilla Rodríguez, A., & Calvillo Téllez, A. (2017). *Estimación del alcance de radiotransmisores Xbee Estimation of Range of Xbee Radio Transmitters.*
- Diario el Universo. (2020). *En el sur de Guayaquil se inició campaña para evitar botar basura en las calles | Comunidad | Guayaquil | El Universo.* <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/02/08/nota/7729212/campana-evitar-botar-basura/>
- Digi InternationalL. (2017). *XCTU - Download and Install the Configuration Platform for XBee/RF Solutions | Digi International.* <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>
- Ergen, S. C. (2004). *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary.*
- Fezari, M., & Al Dahoud, A. (2018). *Integrated Development Environment “IDE” For Arduino A comparative Analysis of Data Fragmentation in Distributed Database View project Lung Sounds analysis View project Integrated Development Environment “IDE” For Arduino Introduction to Arduino IDE.*

<https://www.researchgate.net/publication/328615543>

- González, M. F. (2015). *La Smart City como Imaginario Socio-Tecnológico la Construcción de la Utopía Urbana Digital*.
[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/19301/Tesis La smart city como imaginario Manu Fernandez.pdf?sequence=1](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/19301/Tesis%20La%20smart%20city%20como%20imaginario%20Manu%20Fernandez.pdf?sequence=1)
- González, O., Velásquez, S., & Márquez, A. (2018). *Vista de SISTEMA DE COMUNICACIÓN REMOTA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN BASADO EN EL ESTÁNDAR ETHERNET INTEGRADO EN EL MODULO ENC28J60, ACOPLADO AL MICROCONTROLADOR PIC16F877 PARA PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A | Universidad Ciencia y Tecnología*.
<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/188/250>
- Hugo, H., Com, M. H., & Rapallini, J. A. (2018). *SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES*.
- Karadimas, D., Papalambrou, A., Gialelis, J., & Koubias, S. (2016). An integrated node for Smart-City applications based on active RFID tags; Use case on waste-bins. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2016-November*, 1–7.
<https://doi.org/10.1109/ETFA.2016.7733532>
- Keyence. (2010). *Fundamentos del sensor: Guía de sensores para fábricas clasificados por principios | Keyence*.
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>
- Kumbhar, H. (2017). Wireless sensor network using xbee on arduino platform an experimental study. *Proceedings - 2nd International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2016*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860081>
- Ling, T. H. Y., Wong, L. J., Tan, J. E. H., & Lee, C. K. (2015). XBee Wireless Blood Pressure Monitoring System with Microsoft Visual Studio Computer Interfacing. *Proceedings - International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, ISMS, 2015-October*, 5–9.
<https://doi.org/10.1109/ISMS.2015.16>
- Mahdi, O. A., Abdul Wahab, A. W., Idna Idris, M. Y., Abu znaid, A. M. A., Khan, S., Al-Mayouf, Y. R. B., & Guizani, N. (2016). A comparison study on node clustering techniques used in target tracking WSNs for efficient data aggregation. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 16(16), 2663–2676. <https://doi.org/10.1002/wcm.2715>
- Maidhili, R., & Karthik, G. (2018). Energy Efficient and Secure Multi-User Broadcast Authentication Scheme in Wireless Sensor Networks. *2018 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2018*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2018.8441228>
- Masica, K., & Livermore, L. (2007). *Recommended Practices Guide For Securing ZigBee Wireless Networks in Process Control System Environments Draft*.

- Mejía García, D., & Acosta Pérez, B. (2019). *Avances tecnológicos modernos y sus implicaciones en el pensamiento social*. moz-extension://378328bd-e8a9-49c6-9106-c5ee39b41d36/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Frepositorio.unphu.edu.do%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F2625%2FAvances%2520tecnol%25c3%25b3gicos%2520modernos%2520y%2520sus%2520implicaciones.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy
- Morales, J. J., Cedeño, L. C., Parraga-Alava, J. A., & Molina, B. A. (2018). Propuesta Metodológica para Proyectos de Infraestructura Tecnológica en Trabajos de Titulación. *Información Tecnológica*, 29(4), 249–258. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400249>
- Oberli, C. (2016). *Redes Inalambricas de Sensores: Desarrollo de Soluciones Precompetitivas*.
- Perales, M. A., Barrero, F. J., & Toral, S. L. (2016). *Análisis comparativo de distintas plataformas para la enseñanza de Sistemas Electrónicos Digitales*.
- Quezada, P. A., Chango, P. M., López, J., Pacheco, F. A., & Enciso, L. (2017). Design of a Wireless Network of temperature and lighting sensor for gastronomic laboratories under the principles of agile Scrum methodology. *ESPACIOS*, 38, 14. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n46/17384614.html>
- Ramya, C. M., Shanmugaraj, M., & Prabakaran, R. (2011). Study on ZigBee technology. *ICECT 2011 - 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, 6, 297–301. <https://doi.org/10.1109/ICECTECH.2011.5942102>
- Republica del Ecuador Asamblea Nacional. (2018). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. www.lexis.com.ec
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers, I. (2003). *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) IEEE Computer Society IEEE Standards*.
- USCUCHAGUA FLORES, G. (2020). *Implementación de una plataforma hardware/software de una red de sensores inalámbrica para un entorno inteligente*. moz-extension://378328bd-e8a9-49c6-9106-c5ee39b41d36/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fcybertesis.unmsm.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12672%2F15205%2FUscuchagua_fg.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy
- Vera Romero, C. A. B. J., & Carolina. (2017). *La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física*. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84954626002.pdf>
- Wijaya, A. S., Zainuddin, Z., & Niswar, M. (2017). Design a smart waste bin for

smart waste management. *Proceedings of the 2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2017*, 62–66. <https://doi.org/10.1109/ICA.2017.8068414>

PNGIDS. (2019). 26. Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) – INABIO. Retrieved October 25, 2019, from <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/2019/01/30/26-gestion-integral-de-desechos-solidos-pngids/>

Moreno, B., directora, E. A., Achupallas, V., & Alexandra, M. (2017). Propuesta de plan de gestión integral para residuos sólidos generados en la cabecera cantonal de Chone.

Interagua. (n.d.). informe sobre estragos y anegamientos ocasionados por las lluvias. Retrieved June 8, 2019, from <https://www.interagua.com.ec/boletin/2016/01/interagua-informa-sobre-estragos-y-anegamientos-ocasionados-por-las-lluvias>

Jimenez-lopez, F. R. (2016). Prototipo de sistema de vigilancia de ganado usando red de supervisión inalámbrica para prevención de abigeato Prototype for a livestock surveillance system using wireless supervision network to prevent cattle theft Protótipo de sistema de vigilância de g. (December).

GAD Municipal Chone. (n.d.). Limpieza de sumideros y pozos de aguas lluvias. Retrieved June 8, 2019, from <https://www.chone.gob.ec/index.php?gc=3&ntc=3476>

ANEXOS

ANEXO 1. CONFIGURACIÓN DE NODO COORDINADOR - XCTU.

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, the 'Radio Modules' list contains two entries:

- COORDINADOR**: Function: XBEE PRO 802.15.4, Port: COM6 - 960...N/1/N - AT, MAC: 0013A200416A5BA8
- DISPOSITIVO FINAL 2**: Function: XBEE PRO 802.15.4, Port: COM10 - 11...N/1/N - AT, MAC: 0013A200416A5BAB

The main window displays the 'Radio Configuration' for 'DISPOSITIVO FINAL 2 - 0013A200416A5BAB'. The configuration parameters are as follows:

Parameter	Value
CH Channel	C
ID PAN ID	ABC
DH Destinat...dress High	13A200
DL Destinat...dress Low	416A5BA8
MY 16-bit Source Address	5B0C
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	416A5BAB
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream head
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms

At the bottom of the window, a status bar indicates 'Checking for Radio Firmw... updates: (11%)' with a progress indicator.

ANEXO 2. CONFIGURACIÓN DE NODO (END-DEVICE) - XCTU.

The screenshot shows the XCTU software interface. On the left, the 'Radio Modules' list contains two entries:

- COORDINADOR**: Function: XBEE PRO 802.15.4, Port: COM6 - 960...N/1/N - AT, MAC: 0013A200416A5BA8
- DISPOSITIVO FINAL 2**: Function: XBEE PRO 802.15.4, Port: COM10 - 11...N/1/N - AT, MAC: 0013A200416A5BAB

The main window displays the 'Radio Configuration' for 'DISPOSITIVO FINAL 2 - 0013A200416A5BAB'. The configuration parameters are as follows:

Parameter	Value
CH Channel	C
ID PAN ID	ABC
DH Destinat...dress High	13A200
DL Destinat...dress Low	416A5BA8
MY 16-bit Source Address	5B0C
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	416A5BAB
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream head
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms

At the bottom of the window, a status bar indicates 'Checking for Radio Firmw... updates: (11%)' with a progress indicator.

ANEXO 3. CÓDIGO ARDUINO NODO CORDINADOR

```

#include <EtherCard.h>
#include <Separador.h>
static byte mymac[] = { 0x74,0x69,0x69,0x2D,0x30,0x31 };
byte Ethernet::buffer[700];
static uint32_t timer;
char mensagem[50];
const char website[] PROGMEM = "192.168.1.142";
static byte myip[] = { 192,168,1,115 };
static byte gwip[] = { 192,168,1,1 };
Separador s;
int temp,temp1,temp2;
String datosrecibidos, nivel, liquido, ident;
int conecta = 0;
int conectared = 0;
int cuenta = 0;
const int LEDCONECTADO=7;
const int LEDNOCONECTADO=8;
static void my_callback (byte status, word off, word len) {
    Ethernet::buffer[off+len] = 0;
    Serial.print((const char*) Ethernet::buffer + off + 157);
}

void setup() {
    delay(1000);
    pinMode(LEDCONECTADO,OUTPUT);
    pinMode(LEDNOCONECTADO,OUTPUT);

```

```

Serial.begin(9600);
digitalWrite(LEDNOCONECTADO,HIGH);
Serial.println("Obtendo IP:");
if (ether.begin(sizeof Ethernet::buffer, mymac,10) == 0){
    Serial.println( "No se pudo acceder al controlador Ethernet");
    conected = 1;
}
ether.staticSetup(myip, gwip);
ether.printIp("IP: ", ether.myip);
ether.printIp("Gateway: ", ether.gwip);
ether.printIp("Sevidor DNS: ", ether.dnsip);
if (!ether.dnsLookup(website))
    Serial.println("Fallo de DNS");
    ether.parseIp(ether.hisip, "192.168.1.142"); //IP de servidor
    ether.printIp("Servidor: ", ether.hisip);
    Serial.println(" ");
}
void loop() {
    if(conected == 0){
        digitalWrite(LEDNOCONECTADO,LOW);
        digitalWrite(LEDCONECTADO,HIGH);
        Serial.println( "Conectado a la Red");
    }else if(cuenta == 1000){
        digitalWrite(LEDNOCONECTADO,HIGH);
        digitalWrite(LEDCONECTADO,LOW);
        Serial.println( "No conecta a la Red");
    }
    if(Serial.available()){
        datosrecibidos = Serial.readString();
    }
}

```

```

    ident = s.separa(datosrecibidos, ',', 0);
    temp2 = String(ident).toInt();
    nivel = s.separa(datosrecibidos, ',', 1);
    temp = String(nivel).toInt();
    liquido = s.separa(datosrecibidos, ',', 2);
    temp1 = String(liquido).toInt();
    Serial.println("identificador : " + ident);
    Serial.println("Nivel : " + nivel);
    Serial.println("Liquido : " + liquido);
    conecta = 1;
    cuenta = 0;
}

if(conecta == 1 && cuenta <= 150 ){
    ether.packetLoop(ether.packetReceive());
    if (millis() > timer){
        timer = millis() + 4000;
        ether.persistTcpConnection(true);
        sprintf(mensagem,
            "?indent=%d&nivel=%d&liq=%d",temp2,temp,temp1);
        ether.browseUrl(PSTR("/sensor/arduino.php"),      mensagem,
            website, my_callback);
    }
    digitalWrite(LEDCONNECTADO,HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(LEDCONNECTADO,LOW);
    delay(100);
    cuenta = cuenta + 1;
    Serial.println(cuenta);
    if(cuenta >= 150){
        conecta = 0;
    }
}

```

```

        digitalWrite(LEDCONNECTADO,HIGH);
    }
}
}

```

ANEXO 4. CÓDIGO ARDUINO NODO FINAL (END-DEVICE).

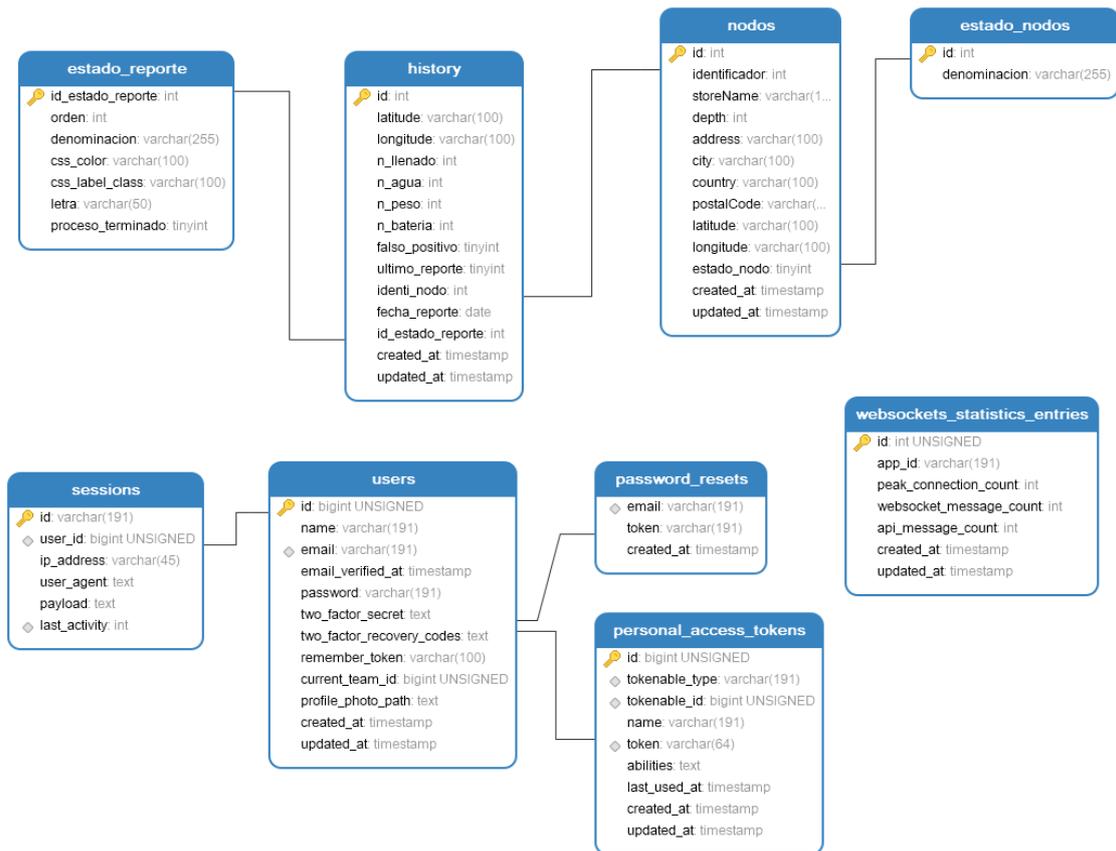
```

#include <LowPower.h>
#define TRIG 11 //Module pins
#define ECHO 12
const int nivel = 9; //mido el nivel de agua a la DI9
int SensorNivel;
int identificador=101;
String separador=",";
String datoenviado;
void sleep(int sec) {
    while (sec >= 8) {
        LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
        sec -= 8;
    }
    if (sec >= 4) {
        LowPower.powerDown(SLEEP_4S, ADC_OFF, BOD_OFF);
        sec -= 4;
    }
    while (sec > 0) {
        LowPower.powerDown(SLEEP_2S, ADC_OFF, BOD_OFF);
        sec -= 2;
    }
    delay(10);
}

```

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(TRIG, OUTPUT); // Initializing Trigger Output and Echo Input  
    pinMode(ECHO, INPUT_PULLUP);  
    pinMode(nivel, INPUT);  
}  
void loop() {  
    SensorNivel = digitalRead(nivel);  
    digitalWrite(TRIG, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(TRIG, HIGH);  
    delayMicroseconds(20);  
    digitalWrite(TRIG, LOW);  
    int distance = pulseIn(ECHO, HIGH,26000);  
    distance= distance/58;  
    datoenviado=  
    String(identificador)+separador+String(distance)+separador+String(Sens  
orNivel);  
    Serial.println(datoenviado);  
    delay(3000);  
    sleep(21600);  
    sleep(21600);  
    sleep(21600);  
    sleep(21590);  
}
```

ANEXO 5. BASE DE DATOS DE LA APLICACIÓN.



ANEXO 6. APLICACIÓN WEB

•

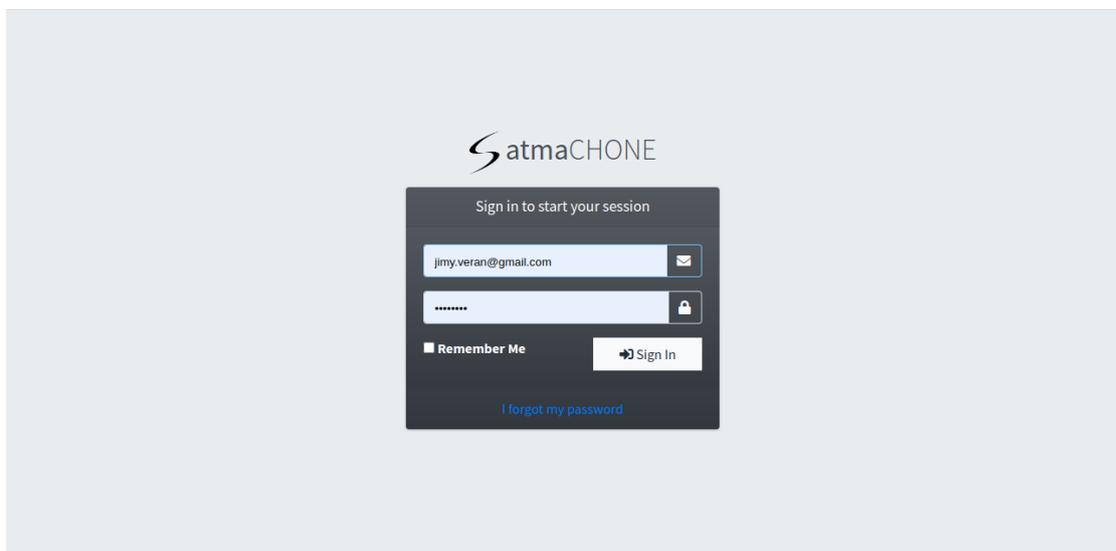


Imagen 1. Acceso a la Aplicación Web.

atmaCHONE

Jimy Javier Vera Anzules

Pantalla de Monitoreo

PANEL DE CONFIGURACIONES

Nodos

Crear Usuarios

Reportes

Name

Email

Password

Confirm Password

REGISTER

Imagen 2. Registro de Usuarios del Sistema.

atmaCHONE

Jimy Javier Vera Anzules

Pantalla de Monitoreo

PANEL DE CONFIGURACIONES

Nodos

Crear Usuarios

Reportes

CREAR SENSOR

VISTA MATRIZ

Nodo Sensor 1 **Activo**

101

-0.698411, -80.096274

Calle sucre

160 cm

Nodo Sensor 2 **Inactivo**

102

-0.698786, -80.096274

Calle sucre

160 cm

Imagen 3. Vista Individual de Característica de Nodos Finales (END-DEVICE).

atmaCHONE

Jimy Javier Vera Anzules

Pantalla de Monitoreo

PANEL DE CONFIGURACIONES

Nodos

Crear Usuarios

Reportes

CREAR SENSOR

VISTA INDIVIDUAL

Show 5 entries

Search:

Identificador	Denominación	Ubicación GPS	Dirección	Dimensión	Estado	
101	Nodo Sensor 1	-0.698411, -80.096274	Calle sucre	160 cm	Activo	
102	Nodo Sensor 2	-0.698786, -80.096274	Calle sucre	160 cm	Inactivo	

Showing 1 to 2 of 2 entries

Previous 1 Next

Imagen 4. Vista modo tabla de Característica de Nodos Finales (END-DEVICE).

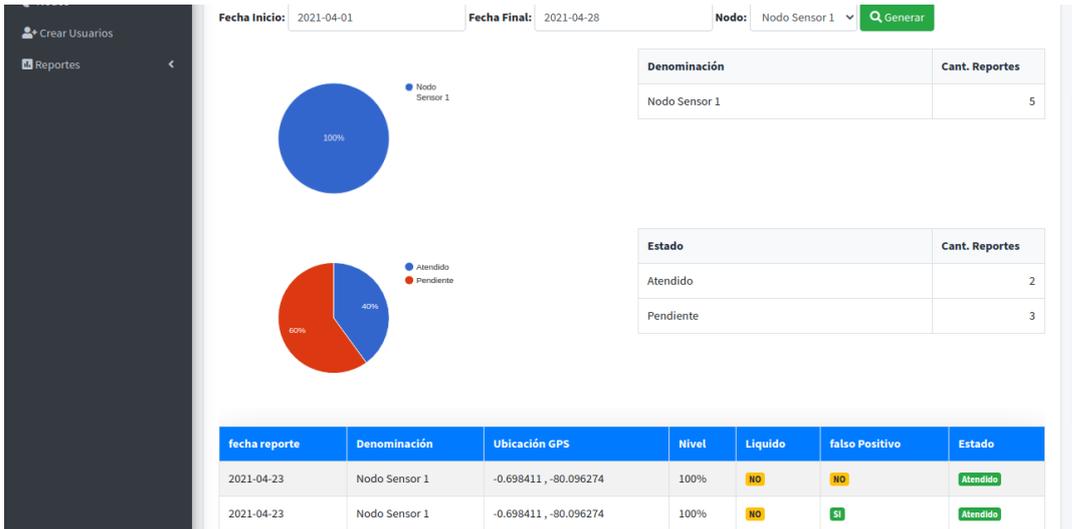


Imagen 5. Reporte de atención de alertas.

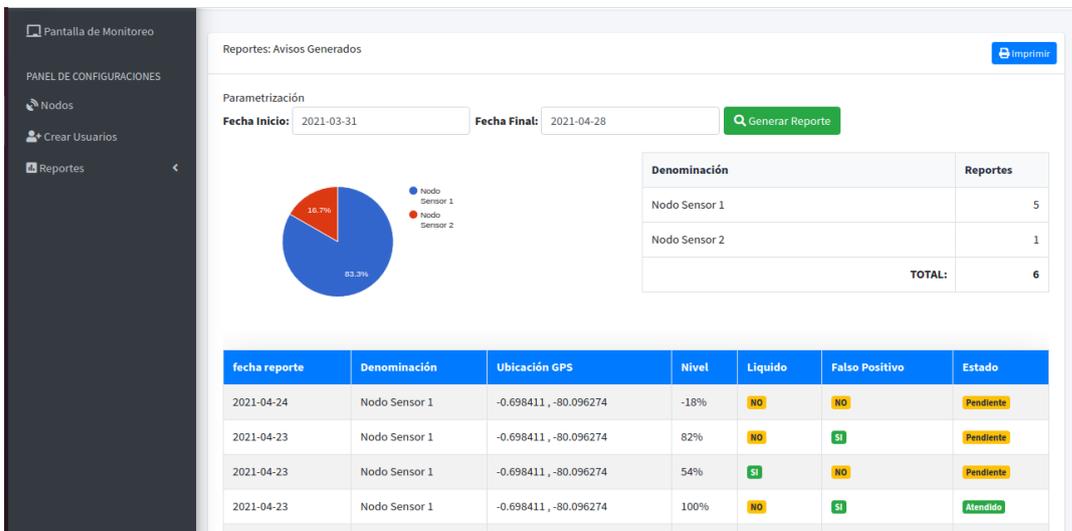


Imagen 6. Reporte de avisos generados.

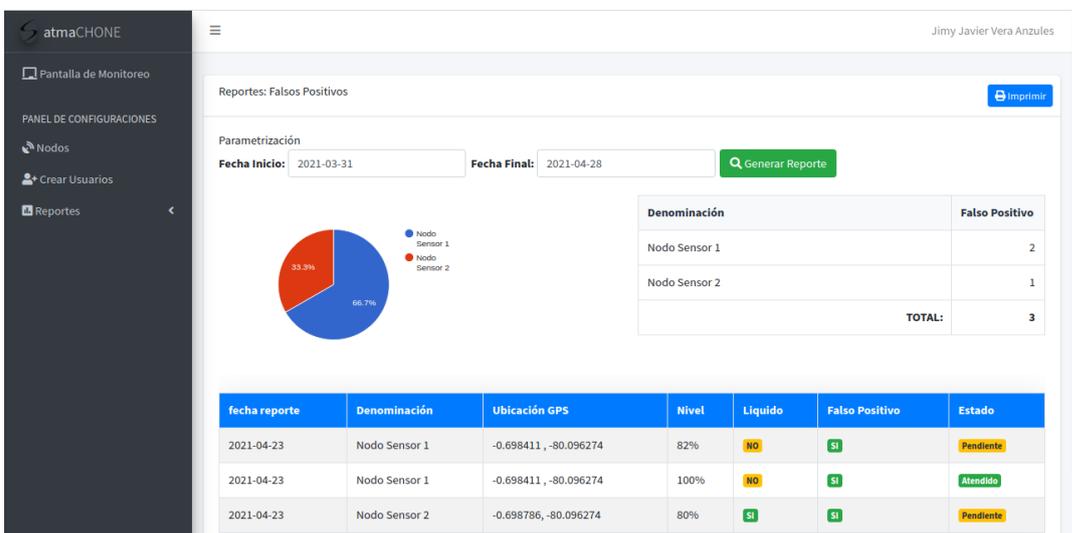


Imagen 7. Reporte de Falso Positivos.

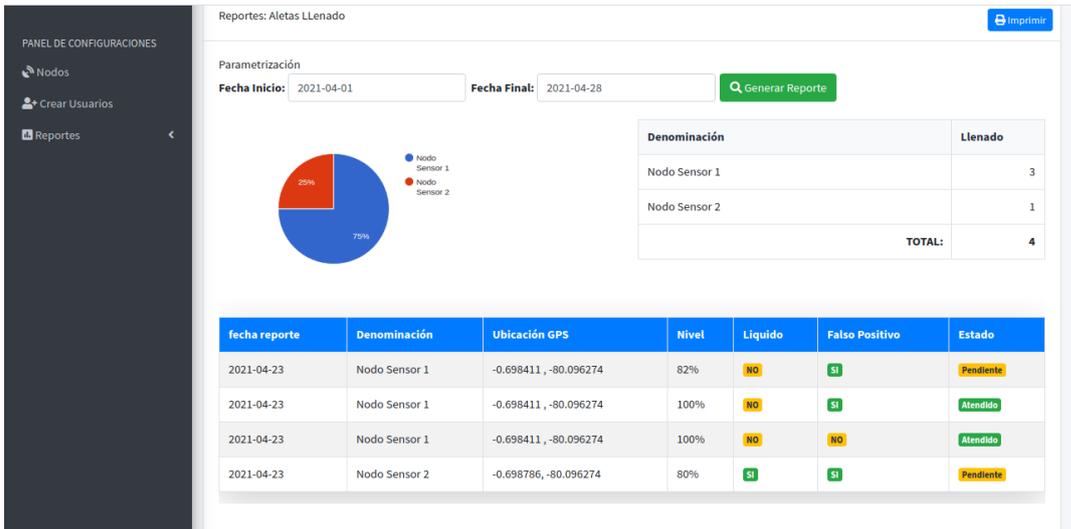


Imagen 8. Reporte de alertas de llenado.

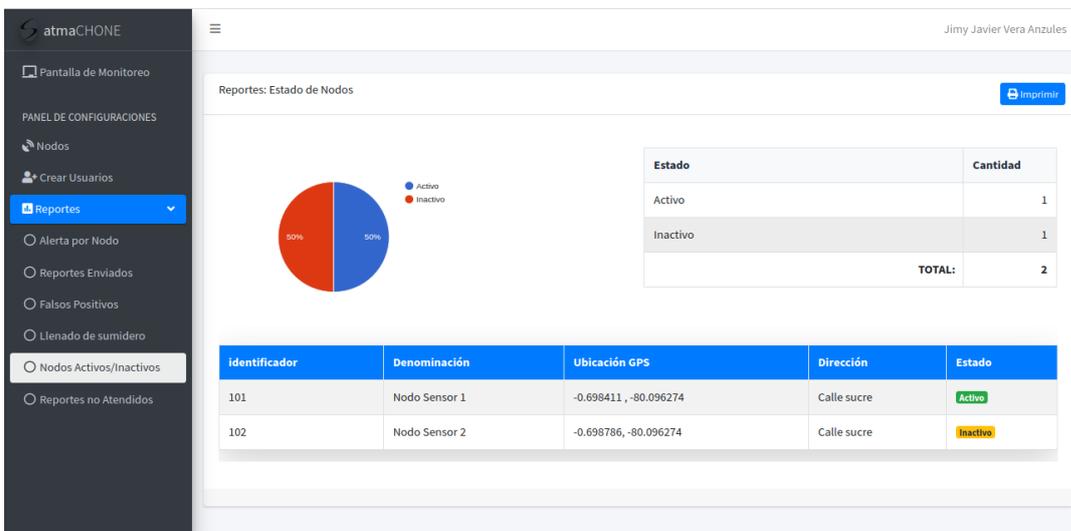


Imagen 9. Reporte de estado por nodo.

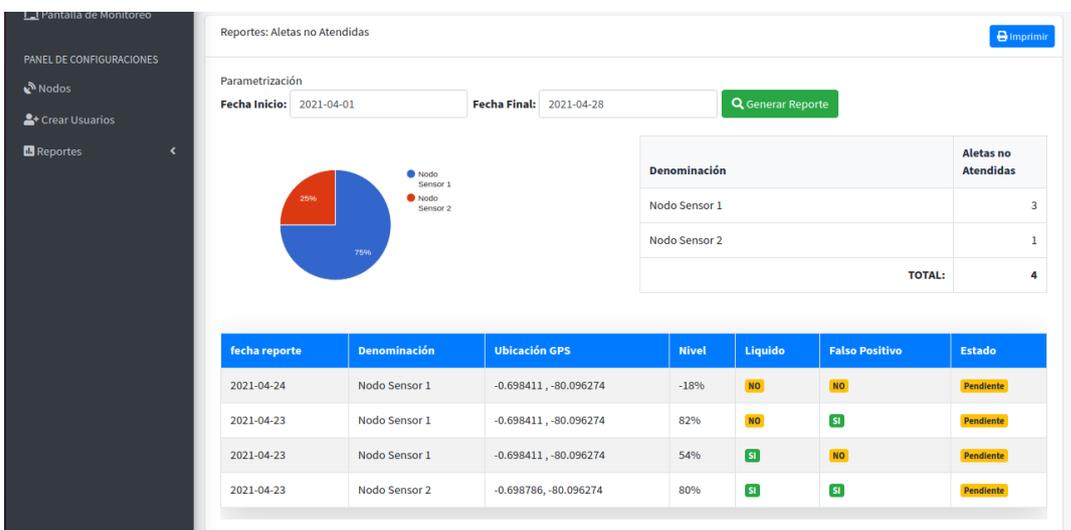


Imagen 10. Reporte de alertas no atendidas.

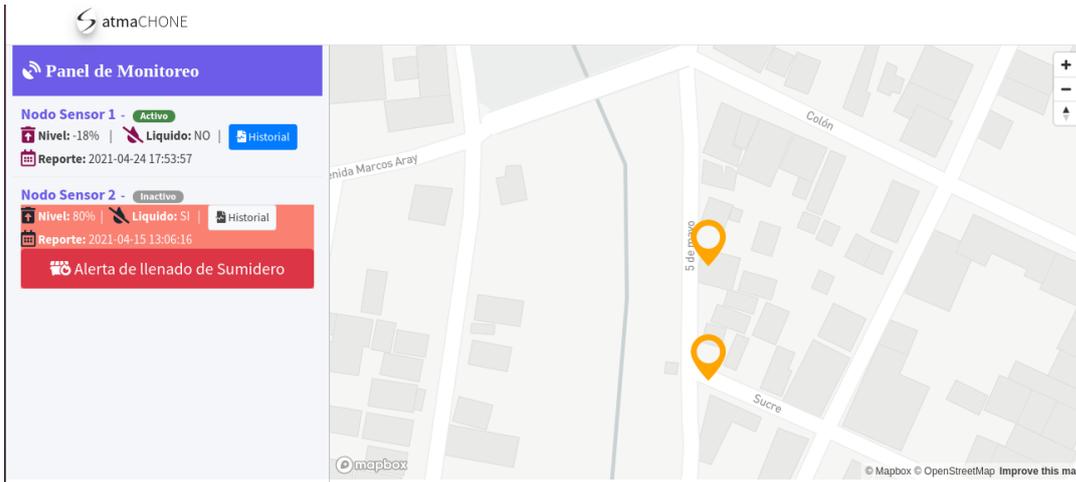


Imagen 11. Pantalla de seguimiento de los nodos finales (END-DEVICE).

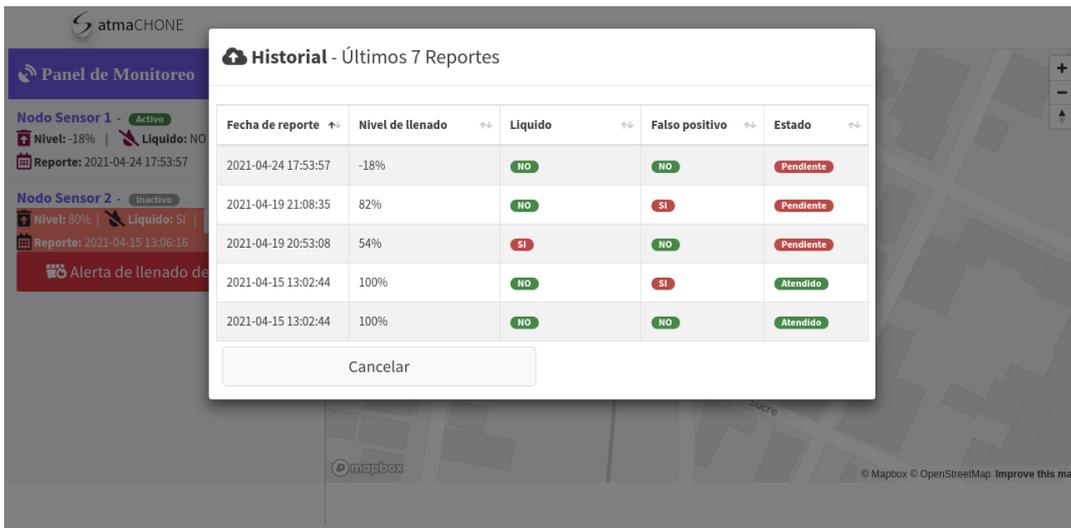


Imagen 5. Historial de reporte de nodos.



Imagen 12. Pantalla de atención de alertas generadas.

ANEXO 7. PRUEBAS EN FRIO DE LA RED DE SENSORES.



Foto 1. Calibración nodo sensor



Foto 1. Nodo sensor en operación



Foto 1. Nodo Coordinador en operación.

ANEXO 8. PRUEBAS EN CALIENTE DE LA RED DE SENSORES.



Foto 2. Instalación de Prototipo.