



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño e implementación de una red de sensores inalámbrica para
el monitoreo de los ríos**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Sanmartín Díaz, Juan Andrés.

DIRECTOR: Quiñones Cuenca, Manuel Fernando, Ing.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Manuel Fernando Quiñones Cuenca.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de una red de sensores inalámbrica para el monitoreo de los ríos, realizado por Sanmartín Díaz Juan Andrés ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo de 2016

f).....

Ing. Manuel Fernando Quiñones Cuenca.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Sanmartín Díaz Juan Andrés, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de una red de sensores inalámbrica para el monitoreo de los ríos, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ing. Manuel Fernando Quiñones Cuenca director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

f.....

Autor: Sanmartín Díaz Juan Andrés

Cédula: 1105581324

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres que con sus consejos y enseñanzas siempre han guiado mi camino permitiéndome alcanzar una meta más en mi vida profesional. A mis abuelitos que se han convertido en un pilar fundamental en mi vida, a mi hermana y mi familia por siempre apoyarme en este proceso de formación.

Juan Andrés

AGRADECIMIENTO

A mis padres y mi hermana por su apoyo incondicional y confianza, por siempre ayudarme y motivarme a seguir adelante. A mi director de tesis Ing. Manuel Quiñonez por brindarme su confianza y tiempo para guiarme en la realización de éste trabajo. A mi familia, amigos y compañeros que han formado parte de mi formación tanto personal como profesional.

Juan Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO 1	5
ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1 Objetivos.....	6
1.1.1 Objetivo general.....	6
1.1.2 Objetivos específicos.....	6
1.2 Justificación.....	6
CAPITULO 2	9
ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Introducción.....	10
2.1.1 Área de estudio.....	10
2.2 Hidrología de la ciudad.....	10
2.3 Amenazas presentes en la ciudad de Loja.....	12
2.3.1 Amenaza de movimientos de masa.....	13
2.3.2 Amenaza sísmica.....	13
2.3.3 Amenaza de inundación.....	14
2.4 Red Inalámbrica de Sensores.....	14
2.5 Arquitectura hardware para RIS.....	15
2.6 Topología en RIS.....	16
2.6.1 Topología tipo estrella.....	16
2.6.2. Topología tipo árbol.....	17
2.6.3. Topología tipo malla.....	17

2.7	Aplicaciones de RIS.	18
2.8	Sensores de distancia.	19
2.8.1	Sensores con sistema óptico (Láser).	20
2.8.2	Sensores con sistema de radiofrecuencia.	21
2.8.3	Sensores con sistema acústico (Ultrasonido).	21
2.9	Plataformas Hardware Open Source.	22
2.9.1	Libelium.	22
2.9.2	Arduino.	23
2.9.3	Raspberry Pi.	23
2.9.4	Nanode.	24
2.9.5	BeagleBone.	24
2.10	Aplicaciones Android en RIS.	24
2.11	Proyectos similares.	25
CAPITULO 3		27
DESCRIPCION DE HARDWARE Y SOFTWARE		27
3.1	Introducción.	28
3.2	Hardware del prototipo.	28
3.3	Hardware Open Source.	28
3.3.1	Arduino Mega.	28
3.3.3	Sensor MB7364 HRXL.	30
3.3.4	Registrador de datos (Datalogger).	31
3.4	Plataforma middleware IoT (Internet of Things).	33
3.4.1	Ubidots.	34
3.5	Dispositivos de transmisión.	35
3.5.1	Módulo Bluetooth (HC-05).	35
3.5.2	Módulo Wifly (RN-XV).	36
CAPITULO 4		39
DESARROLLO DEL PROTOTIPO		39
4.1	Adquisición de datos.	40
4.2	Algoritmo de funcionamiento.	40
4.2.1	Procesamiento.	41
4.2.2	Comunicación entre Nodo - Smartphone.	42
4.2.3	Envío de la data al servidor Ubidots.	44
4.3	Desarrollo de la aplicación en Android.	44
4.3.1	Diagrama de flujo de la aplicación en Android.	46

4.5	Visualización de datos en servidor Ubidots.	56
4.6	Visualización de datos en smartphone.	58
4.7	Consumo energético del prototipo.	60
4.7.1	Dimensionamiento del panel solar.	63
4.8	Pruebas de funcionamiento.	67
4.8.1	Análisis del desempeño del prototipo en laboratorio.	67
4.8.2	Pruebas en entorno real río Zamora Huayco.	68
4.8.3	Pruebas en entorno real en depósito de agua en la UTPL.	72
4.9	Propuesta de ubicación de los nodos en la ciudad.	74
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA		82
ANEXOS		90
ANEXO A		¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Fases de desarrollo del proyecto	8
Figura 2. 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Loja.	10
Figura 2. 2. Hidrología de la ciudad de Loja	11
Figura 2. 3. Ríos en la zona urbana de la ciudad de Loja.	12
Figura 2. 4. Red Inalámbrica de Sensores RIS.....	15
Figura 2. 5. Arquitectura de un nodo.....	16
Figura 2. 6. Topología estrella.....	17
Figura 2. 7. Topología árbol	17
Figura 2. 8. Topología malla.....	18
Figura 2. 9. Variable a sensar.	20
Figura 2. 10. Lóbulos principales y secundarios del sensor.	22
Figura 3. 1. Módulos que conforman el prototipo.....	28
Figura 3. 2. Dispositivo Arduino Mega	29
Figura 3. 3. Sensor MB7364 HRXL-MaxSonar	31
Figura 3. 4. Shield SD Card	32
Figura 3. 5. Schematic Shield SD Card	32
Figura 3. 6. Tiny RTC I2C	33
Figura 3. 7. Plataforma Ubidots.....	35
Figura 3. 8. Módulo Bluetooth HC-05.....	35
Figura 3. 9. Configuración maestro-esclavo	36
Figura 3. 10. Módulo de wifly RN-XV	37
Figura 3. 11. Topología AP con conexión a internet.	37
Figura 4. 1. Funcionamiento del sistema.	40
Figura 4. 2. Flujograma del procesamiento.....	42
Figura 4. 3. Flujograma de la comunicación Bluetooth.	43
Figura 4. 4. Flujograma envió de data al servidor.....	44
Figura 4. 5. Comandos de la aplicación.....	45
Figura 4. 6. Flujograma de la actividad de la aplicación.	47
Figura 4. 7. Flujograma de App Smart Rivers.....	48
Figura 4. 8. Secuencia lógica para activación del Bluetooth.	49
Figura 4. 9. Acciones que el usuario puede realizar.....	49
Figura 4. 10. Secuencia lógica para conectarnos al nodo mediante Bluetooth.	50
Figura 4. 11. Secuencia lógica de la actividad "descargar".	50
Figura 4. 12. Secuencia lógica de la actividad "revisar"	51
Figura 4. 13. Secuencia lógica de la actividad "setear medida".	52
Figura 4. 14. Secuencia lógica de la actividad "eliminar".	53
Figura 4. 15. Secuencia lógica de la actividad "voz".....	53
Figura 4. 16. Shield para Bluetooth y RTC.	54
Figura 4. 17. Montaje prototipo de nodo.	55
Figura 4. 18. Caja de policarbonato IP65.....	56
Figura 4. 19. Recolección y publicación de datos.....	57
Figura 4. 20. Creación de la variable "Sonar".	57
Figura 4. 21. Publicación de los datos a Ubidots.....	58
Figura 4. 22. Transmisión de datos al smartphone.....	58

Figura 4. 23. Conexión al nodo.....	59
Figura 4. 24. Descargando datos del nodo.....	59
Figura 4. 25. Gráfica comparativa de los datos transmitidos.....	60
Figura 4. 26. Porcentaje del consumo total del nodo.....	62
Figura 4. 27. Batería polímero de litio 6000mAh de 3,7V.....	63
Figura 4. 28. Irradiación solar global en la ciudad de Loja.....	64
Figura 4. 29. Panel solar 5.2W.....	66
Figura 4. 30. Cargador solar MPPT.....	67
Figura 4. 31. Colocación del prototipo.....	67
Figura 4. 32. Datos obtenidos de la primera prueba con el prototipo.....	68
Figura 4. 33. Datos obtenidos de la segunda prueba con el prototipo.....	68
Figura 4. 34. Geolocalización del prototipo.....	69
Figura 4. 35. Caja protectora del nodo.....	70
Figura 4. 36. Puente peatonal escogido para la ubicación del nodo y recolección de datos.....	71
Figura 4. 37. Ubicación del prototipo en el puente del río Zamora Huayco.....	71
Figura 4. 38. Resultados obtenidos de las pruebas.....	72
Figura 4. 39. Nodo instalado en el depósito de agua en la UTPL.....	73
Figura 4. 40. Resultados obtenidos de las pruebas en el tanque.....	73
Figura 4. 41. Propuesta de colocación de los nodos.....	75
Figura 4. 42. Propuesta de ubicación del nodo 1.....	76
Figura 4. 43. Propuesta de ubicación del nodo 2.....	77
Figura 4. 44. Propuesta de ubicación del nodo 3.....	77
Figura 4. 45. Propuesta de ubicación del nodo 4.....	78
Figura 4. 46. Propuesta de ubicación del nodo 5.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Amenazas de movimiento de masa en la ciudad	13
Tabla 2. 2. Amenaza sísmica en la ciudad.	13
Tabla 2. 3. Amenazas de inundaciones en la ciudad.	14
Tabla 3. 1. Características Arduino Mega.....	29
Tabla 3. 2. Especificaciones del sensor MB7364	31
Tabla 4. 1. Descripción de las actividades del nodo.	43
Tabla 4. 2. Descripción de las actividades de la App.	45
Tabla 4. 3. Clases de protección IP.	55
Tabla 4. 4. Tasa de error de transmisión.	60
Tabla 4. 5. Consumo en mA de cada módulo.....	61
Tabla 4. 6. Requerimiento diario de potencia del nodo.	62
Tabla 4. 7. Características de la batería del nodo.	63
Tabla 4. 8. Parámetros para el cálculo del panel solar.	64
Tabla 4. 9. Resultados del cálculo de la irradiación en el plano inclinado β	65
Tabla 4. 10. Inclinación del panel solar.....	65
Tabla 4. 11. Resultados del dimensionamiento del panel solar.....	66
Tabla 4. 12. Ubicación de los nodos en la ciudad de Loja.....	76

RESUMEN

En el presente documento se describe el desarrollo de un prototipo para el monitoreo de nivel de agua en los ríos, orientado a prevención de desastres (inundaciones) en la ciudad de Loja. Se pretende proveer un dispositivo de bajo costo, eficiente y escalable con el uso de tecnología abierta (*Open Source*). El nodo desarrollado está equipado por módulos de sensores de bajo costo para adquirir la variable de interés, este nodo está formado por 2 módulos de comunicación (*Wi-Fi* y *Bluetooth*), el primero interactúa con los servidores IoT (*Internet of Things*) y el segundo con el usuario que desea descargar la información en un dispositivo móvil. Todos los datos obtenidos serán almacenados en un datalogger incorporado en el nodo y se podrá visualizar los datos en un servidor web. Asimismo, el prototipo integra una fuente de alimentación independiente para proveer una autonomía energética. Finalmente se propone los lugares para ubicar los nodos para ello se parte de un estudio previo de los posibles lugares vulnerables de la ciudad Loja-Ecuador ante este tipo de desastre.

PALABRAS CLAVES: Loja, prevención de desastres, meteorología, hardware abierto, software abierto, servidores IoT, dispositivos móviles, Smart river, RIS.

ABSTRACT

The present research pretends to develop a prototype for the monitoring river levels, oriented at preventing disasters (floods) in the city of Loja. It pretend provide a device at low cost, efficient and scalable using open technology (Open Source). The node developed is equipped by sensor modules inexpensive to acquire the variable of interest, this node consists of two communication modules (Wi-Fi and Bluetooth), the first interacts with IoT servers (Internet of Things) and the second with the user you want to download the information on a mobile device. All information will be stored in a datalogger incorporated in the node and jointly the data will be displayed by a Web server. In addition, the prototype integrates an independent power supply to provide energy independence. Finally, it is proposed the places to situate the nodes, for it we start of a preliminary study of potential vulnerable places of the city to this kind of disaster.

KEYWORDS: Loja, disaster prevention, meteorology, open hardware, open software, IoT servers, mobile devices, smart rivers, WSN.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe una mayor preocupación por parte de los organismos internacionales y gobiernos nacionales debido al incremento de las ocurrencias de desastres en las ciudades, no sólo de las grandes metrópolis sino también de los países en vías de desarrollo. Estos fenómenos ocurren por diferentes factores y en nuestro país está estrechamente relacionado con el tema de inundaciones y deslizamientos, procedente de las épocas invernales en las distintas regiones del país.

La ciudad de Loja no es la excepción cuando nos referimos a ciudades perjudicadas por algún tipo de desastre, ya que a lo largo de los años se ha visto afectada por múltiples inundaciones, este tipo de acontecimientos es más concurrente durante la época de invierno provocando desbordamiento de las causas originales de los ríos dentro la ciudad, produciendo graves daños en la zona urbana [1].

Actualmente se hace un esfuerzo por predecir y disminuir los daños ocasionados por estos desastres para ello es necesario información oportuna y precisa. Con el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) se ha logrado un avance significativo en este tema debido a que se presenta una alternativa viable que son los territorios inteligentes conocidos como *Smart Lands* o *Smart Cities* donde se emplea Red Inalámbrica de Sensores (RIS) para su funcionamiento.

En el presente trabajo de investigación se desarrolla un prototipo para el monitoreo del nivel de agua de los ríos de la ciudad, orientando su aplicabilidad a prevención de desastres. Este prototipo contará con un sensor ultrasónico, un sistema de comunicación, un sistema de medición y adquisición de datos. Con el fin de proveer un dispositivo eficiente, funcional, genérico y de bajo costo hacemos uso de plataformas de hardware y software OpenSource. En el primer capítulo se describe los alcances de la investigación detallando los objetivos a cumplir, la justificación y se describe la metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación.

En el segundo capítulo se habla sobre el estado actual de la ciudad, localización geográfica, hidrología y amenazas existentes. Se trata el tema de las RIS su topología y aplicaciones más importantes; se analiza la clasificación de los sensores de distancia existentes en el mercado además se describe aplicaciones Android en RIS y finalmente referenciamos proyectos similares ya desarrollados o en estudio.

En el tercer capítulo se detalla el hardware y software utilizado en el diseño y desarrollo del prototipo, con la plataforma middleware que se utiliza y las tecnologías inalámbricas empleadas.

En el cuarto capítulo se detallan los algoritmos de funcionamiento del nodo y de la aplicación en Android, se presenta el montaje de todos los módulos en el prototipo y se dan a conocer los resultados obtenidos tanto en precisión y de su consumo energético. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

CAPITULO 1

ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

Desarrollar e integrar un prototipo para el monitoreo de nivel de agua en los ríos de la ciudad de Loja, aplicando una red inalámbrica de sensores.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información, analizar tecnología de transmisión y dispositivos electrónicos adecuados para el diseño del prototipo de monitoreo de nivel de agua.
- Desarrollar un prototipo para el monitoreo de nivel de agua haciendo uso de hardware y software abierto.
- Almacenar, monitorear y visualizar los datos recolectados con el prototipo en un servidor web.
- Desarrollar una aplicación móvil en Android para monitorear y descargar la información almacenada en el nodo usando tecnología Bluetooth.
- Realizar pruebas del prototipo desarrollado para su validación e implementación.
- Proponer un estudio para una futura ubicación de los nodos en diferentes partes de la ciudad de Loja.

1.2 Justificación.

En los años recientes existe una mayor preocupación por parte de los organismos internacionales y gobiernos nacionales debido al incremento de las ocurrencias de desastres en las ciudades [2]. Estos fenómenos ocurren por diferentes factores, y en nuestro país está estrechamente relacionado con el tema de inundaciones y deslizamientos procedente de las épocas invernales en las distintas regiones del país.

La ciudad de Loja situada al sur del Ecuador no es la excepción cuando nos referimos a ciudades perjudicadas por algún tipo de desastre, ya que a lo largo de los años se ha visto afectada por múltiples deslizamientos causando pérdidas económicas, esto se debe a su fisonomía ya que aun dentro de la localización urbana encontramos zonas con altas pendientes [1]. Otro factor importante al hablar sobre desastres en la ciudad son las inundaciones, aportando a esto la gran presencia de cauces intermitentes durante la época de invierno, causando así el desbordamiento de su cauce original lo que produce graves daños dentro de las áreas consolidadas. Por ello el tener un conjunto de dispositivos que formen una red donde puedan comunicarse entre ellos, posean la capacidad de adquirir

información del entorno y transmitir éstos cambios antes de que ocurra un desastre es de vital importancia en nuestra ciudad.

Las Redes Inalámbricas de Sensores (RIS), son redes conformadas por un grupo de nodos autónomos también conocidos como motas. Estos nodos son pequeños dispositivos embebidos integrados con una serie de sensores que tienen la capacidad de obtener datos de su entorno en tiempo real y comunicarse de forma inalámbrica, puede ser vía Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, etc. [3].

En la actualidad las RIS son una de las tecnologías más investigadas debido a la importancia de la información que ofrecen de un entorno, dando lugar a sistemas complejos como: prevención de desastres naturales, control de tareas domésticas, sistemas de control vehicular, meteorología, sistemas de seguridad, aplicaciones militares entre otras [4].

Aunque las RIS ofrecen diversa funcionalidad y una gama de plataformas, protocolos y optimizaciones para el consumo de energía, aún existen cuestiones y lecciones por aprender cuando se trata de la implementación de una RIS en un entorno real [5], ya que en cada entorno nos encontramos con diferentes variables y condiciones, aumentando así la probabilidad del fallo parcial o total de la RIS y este riesgo crece aún más cuando nos encontramos con entornos dinámicos. No obstante las características que presenta un nodo, como su bajo coste en hardware, software flexible, reducido consumo de potencia y su pequeño tamaño hacen del mismo el dispositivo idóneo para un rápido despliegue, pues da la facilidad de ser instalado presurosamente, permitiendo el monitoreo de ambientes no tradicionales donde puede ser muy complicado la instalación y mantenimiento de una red convencional mediante cableado.

Para solucionar estos problemas que presenta la ciudad frente a las inundaciones y conociendo las ventajas que ofrece una RIS se desarrolla éste trabajo de titulación demostrando el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo (nodo) con la capacidad de adquirir información en tiempo real del nivel de agua de los ríos de Loja, que a su vez centralizará toda ésta información en un servidor Internet of Things (IoT) para su posterior análisis y alertas de prevención.

1.3 Metodología

Para la realización del presente proyecto se siguió una metodología para que los avances sean por fases y se puedan ver resultados más ordenados.

La primera fase percibe una recolección de información sobre las amenazas existentes en la ciudad, se describe lo que es una RIS su arquitectura y aplicaciones, se analiza el hardware existentes en el mercado que están orientados a RIS detallando las plataformas hardware más opcionales para el escenario planteado. Además se hace un análisis de estudios previos que servirá para ratificar el desarrollo de este proyecto.

La segunda fase detalla cada componente hardware utilizado en el ensamblado del nodo, así mismo se habla sobre la plataforma middleware IoT utilizada y finalmente se describe las tecnologías inalámbricas utilizadas en el prototipo.

En la tercera fase se habla del desarrollo del prototipo, donde consta los algoritmos de funcionamiento, los diagramas de flujo tanto del nodo y de la aplicación Android desarrollada, además se visualiza los datos recopilados en el servidor y los datos almacenados en la micro-SD del nodo.

La cuarta fase tiene por objetivo evaluar el funcionamiento del nodo teniendo un medio controlado es decir pruebas en laboratorio, con la finalidad de hacer correcciones anticipadas a problemas que se pueden presentar en un entorno real. Posteriormente se realizan pruebas en un entorno real en la ciudad. Para finalizar se presenta los resultados obtenidos en ambos entornos mencionados y se propone una ubicación para los nodos en diferentes sitios de la ciudad. En la figura 1.1 se muestra un resumen de la metodología a seguir.

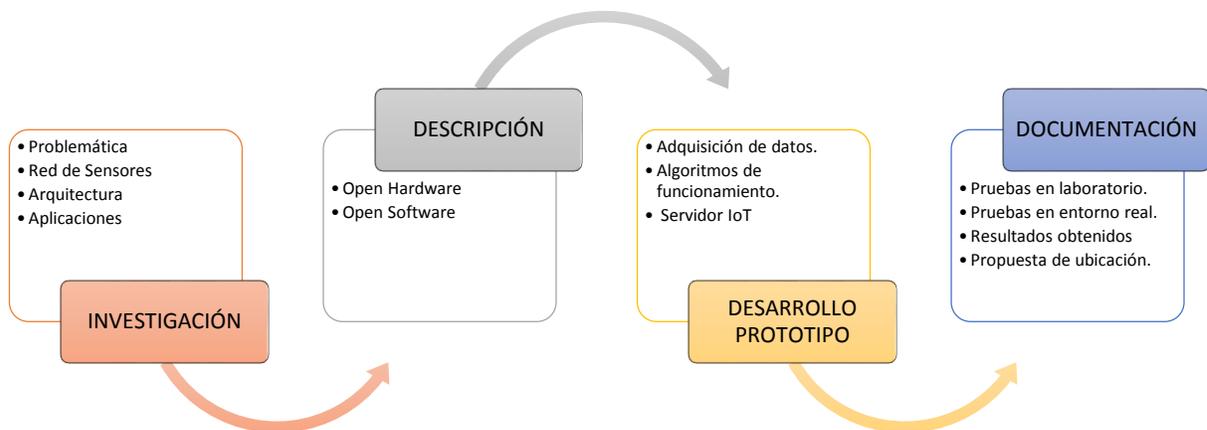


Figura. 1. 1: Fases de desarrollo del proyecto
Fuente: Imagen propia del autor.

CAPITULO 2
ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción.

2.1.1 Área de estudio.

La provincia de Loja se encuentra en la región sur del Ecuador, cuenta con una extensión de 1.895,53 Km², distribuida en 13 parroquias rurales y 6 urbanas, se encuentra geográficamente ubicado en 03° 39' 55" y 04° 30' 38" de latitud Sur (9501249 N - 9594638 N); y, 79° 05' 58" y 79° 05' 58" de longitud Oeste (661421 E -711075 E). La altitud del cantón oscila entre 2100 y 2135 m.s.n.m de altitud en la provincia, lo cual combinado con otras características geográficas le brindan un clima templado con una temperatura que promedia entre 16° C y 21° C [6], [7]. En la figura 2.1 se observa el área de estudio de éste trabajo.

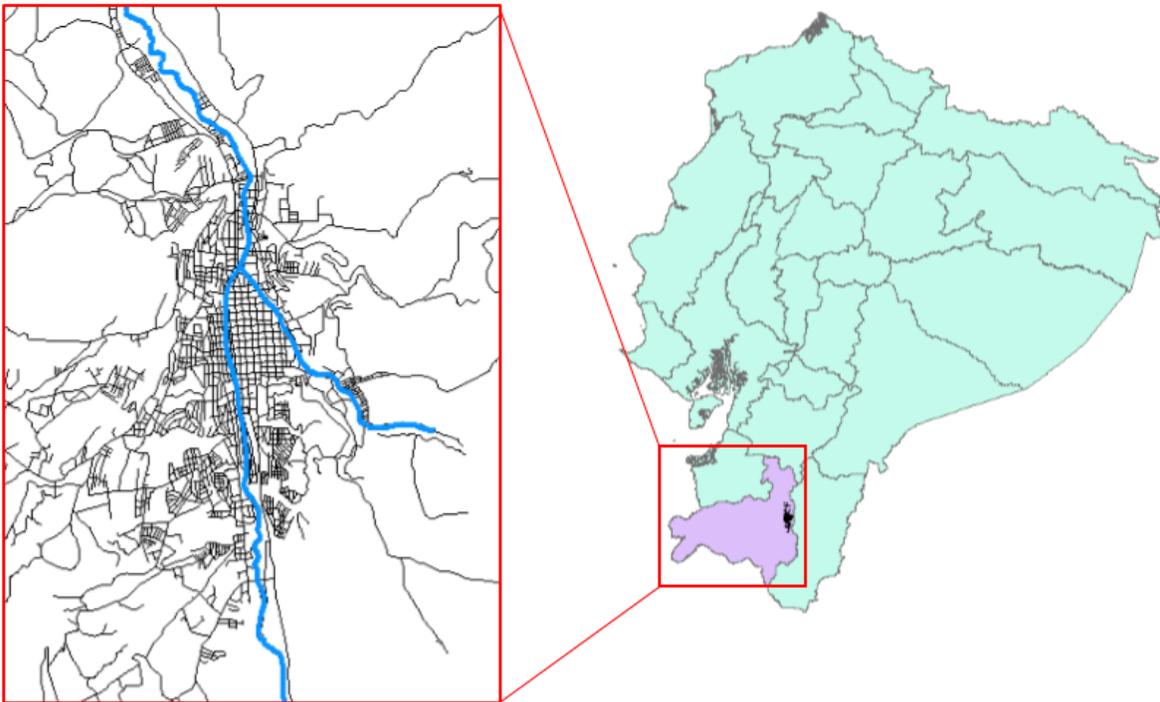


Figura 2. 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Loja.

Fuente: El autor.

El territorio del cantón Loja está formado por dos secciones de cuencas hidrográficas: la del río Zamora, que fluye hacia el Amazonas y la cuenca de Catamayo, que desemboca en el Océano Pacífico. Actualmente la ciudad de Loja cuenta con una extensión dentro del área urbana de 51,865 Km² [7]. Cuenta con una población urbana total de 214.855 habitantes según el último censo de población y vivienda del año 2010 [8].

2.2 Hidrología de la ciudad.

La ciudad de Loja se encuentra atravesada por dos ríos, el Malacatos y el Zamora Huayco, éstos atraviesan la parte sur de la ciudad de Loja uniéndose hacia el Norte formando el Río Zamora, este río engrosa su caudal recibiendo varios afluentes o quebradas pero el afluente

más importante que recibe después de la unión es el río Jipiro, aportando así estos ríos a la imagen urbana y ambiental de la ciudad [9].

El río Malacatos constituye el eje principal de la hoya, nace en el nudo de Cajanuma a 3400 m.s.n.m. Su curso en la parte baja del valle tiene una pendiente de $0,687^\circ$ y una longitud de 14 Km hasta la unión con el Zamora Huayco. En su recorrido recibe varios afluentes que nacen de la misma cordillera Central de los Andes [9], [10]. En la figura 2.2 se observa la hidrología existente en la ciudad de Loja.

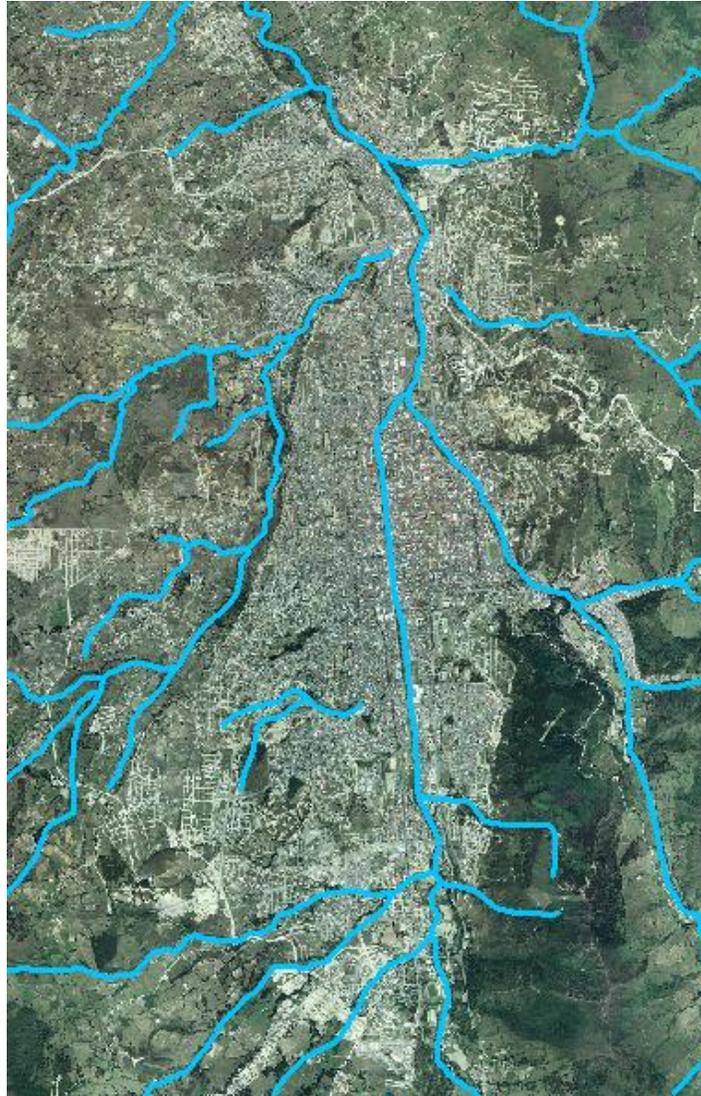


Figura 2. 2. Hidrología de la ciudad de Loja
Fuente: Departamento de Ingeniería Civil de la UTPL.

El río Zamora Huayco nace al igual que el río Malacatos en las estribaciones de la cordillera central de los Andes. Recorre aproximadamente 10 Km hasta la unión con el Malacatos, con una pendiente media de $0,77^\circ$ en la parte baja. El río Jipiro nace también en la cordillera central de los Andes, tiene así mismo un curso de montaña y pendiente media en la parte

baja de $0,85^\circ$, hasta la unión con el Zamora [9]. El río Zamora se forma gracias a la unión de los ríos Malacatos y Zamora Huayco al norte de la ciudad, donde actualmente se encuentra “La puerta de entrada a la ciudad”, más al norte donde está ubicado “El parque recreacional Jipiro” encontramos la unión del río Zamora con el río Jipiro [10]. En la figura 2.3 observaremos los ríos dentro de la zona urbana de la ciudad de Loja.

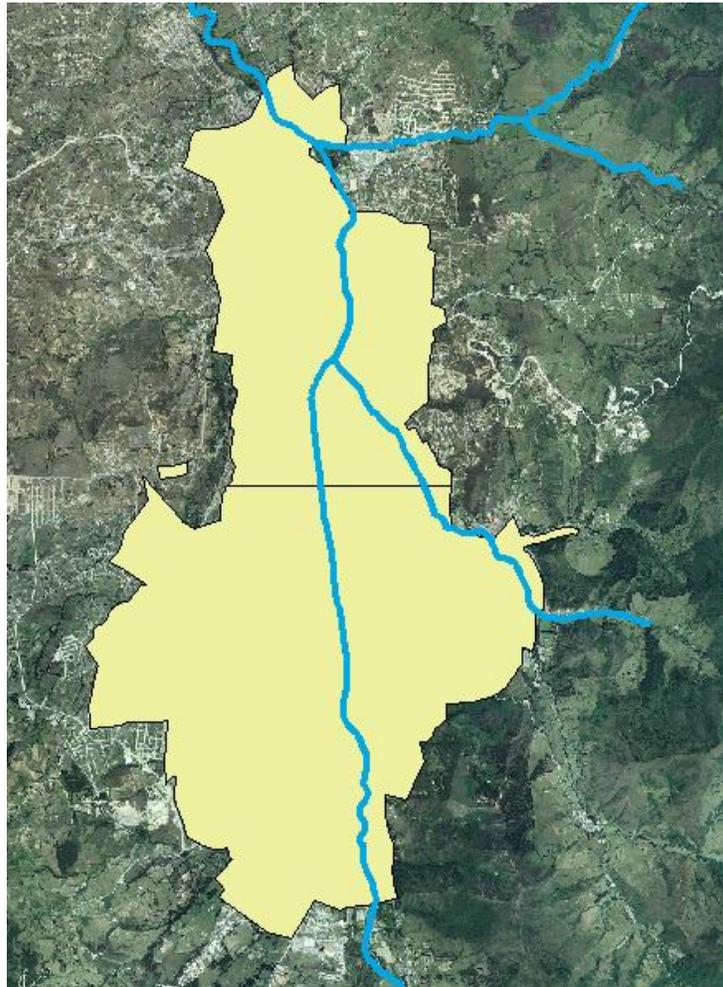


Figura 2. 3. Ríos en la zona urbana de la ciudad de Loja.
Fuente: Departamento de Ingeniería Civil de la UTPL

2.3 Amenazas presentes en la ciudad de Loja.

Considerando estudios previos realizados en la ciudad de Loja para la obtención de información sobre las vulnerabilidades que presenta la ciudad, podemos destacar tres tipos de amenazas: movimiento de masa, sísmica e inundación, cada una de estas amenazas presenta un nivel de exposición a los espacios geográficos de la ciudad. A partir de los estudios “Vulnerabilidad biofísica y riesgo ante inundaciones” y “Sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento frente a desastres naturales” se definen los niveles de vulnerabilidad [11], [12].

Tomando como referencia el estudio “Vulnerabilidad a nivel municipal del cantón Loja”, se considera 3 niveles de exposición [7]: Alta, media y baja. Este tipo de categoría servirá para clasificar que sitios o lugares dentro de la ciudad presentan una mayor vulnerabilidad ante la amenaza de inundación.

2.3.1 Amenaza de movimientos de masa.

En la tabla 2.1 observamos resultados que demuestran que la existencia de este tipo de amenaza es muy alta, donde el 3.31% del área de estudio que corresponde a un tipo de riesgo muy alto se encuentra en la parte este de la zona urbana, seguido por el tipo de riesgo alto que está presente en dos sectores tanto en la parte este y en pequeñas proporciones en la parte occidental de la ciudad de Loja. Además existe un 37.56% de riesgo medio presente en la parte central de norte-sur con tendencia hacia la parte occidental de la ciudad y finalmente tenemos áreas de bajo riesgo con el 23.10% y muy bajo riesgo con el 1.18% que se encuentran distribuidas en menor proporción en la parte norte [7].

Tabla 2. 1. Amenazas de movimiento de masa en la ciudad

Amenaza por movimiento de masa en la ciudad de Loja		
Tipo Riesgo	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Muy Alto	1.7613	3.31
Alto	18.543	34.84
Media	19.993	37.56
Bajo	12.296	23.10
Muy Bajo	0.62991	1.18
Total	53.225	100.00

Fuente: tomado de [7].

2.3.2 Amenaza sísmica.

El estudio de la amenaza sísmica a escala regional realizado por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) y por el respectivo corte realizado en base al área urbana de la ciudad de Loja, da como resultado que toda el área pertenece a una amenaza alta, cuyos resultados podemos observar en la tabla 2.2 [7].

Tabla 2. 2. Amenaza sísmica en la ciudad.

Amenaza sísmica en la ciudad de Loja		
Tipo de Riesgo	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Alta	53,225	100,00

Fuente: tomado de [7].

2.3.3 Amenaza de inundación.

La amenaza por inundación se ve presente con mayor frecuencia en la estación de invierno, es decir en los meses de febrero, marzo y abril, entre algunos factores significativos que contribuyen a la ocurrencia de este tipo de amenaza está la inexistencia de un monitoreo permanente de los caudales de los ríos, las constantes lluvias torrenciales y el colapso del alcantarillado pluvial en diferentes zonas de la ciudad, poniendo en riesgo la integridad física y material de los habitantes de la urbe [7], [9].

Frente a este tipo de amenaza existe un riesgo muy alto a lo largo de los principales ríos con un 20.05%, seguidamente tenemos un riesgo alto presente en la parte norte de la urbe con un 15.28%; un riesgo medio está distribuido en mayor proporción en la parte central hacia el norte y representa el 45.35%; finalmente encontramos un riesgo bajo y muy bajo distribuida en su mayor proporción en la parte sur y centro de la ciudad que representan el 19.21 % y 0.11 % respectivamente (ver tabla 2.3) [7].

Tabla 2. 3. Amenazas de inundaciones en la ciudad.

Amenaza de inundación en la ciudad de Loja		
Tipo Riesgo	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Muy Alta	10,672	20,05
Alta	8,132	15,28
Media	24,133	45,35
Baja	10,223	19,21
Muy Baja	0.056	0,11
Total	53.216	100,00

Fuente: tomado de [7].

Estando conscientes que una inundación es una de las principales amenaza en la ciudad, en el anexo A [13] se presenta una lista de posibles lugares denominados “elementos esenciales de la ciudad” que se encontraran afectados al acontecer esta calamidad. Cada elemento esencial en la lista cuenta con una calificación (alta, media, baja) según el nivel de exposición ante una inundación, un criterio de exposición y finalmente un nivel de exposición.

2.4 Red Inalámbrica de Sensores.

El concepto de una RIS o traducción inglesa Wireless Sensor Networks (WSN) se basa en una serie de pequeños dispositivos electrónicos que tienen acceso al mundo exterior por medio de sensores. El nombre que se le da a este tipo de dispositivos es el de “mote”, que

proviene de la traducción inglesa de la palabra “mota de polvo” con la finalidad de indicar en una sola palabra dos de los conceptos principales: su pequeño tamaño y la idea de que pueden estar situados en cualquier lugar [14], [15].

Una RIS está formado por pequeños dispositivos (nodos o motas) capaces de monitorizar alguna variable física de un entorno mediante sensores; que permite registrar, almacenar, procesar localmente y transmitir inalámbricamente una determinada información hasta un nodo central de coordinación, con la característica de que toda la información recogida se centraliza [15], [16].

Una RIS permite monitorizar cualquier entorno que se desee por inaccesible y apartado que parezca dicho entorno, pues los nodos se distribuyen en toda área o terreno y trabajan de forma coordinada para lograr monitorizar los parámetros deseados. Ésta particularidad lo consigue gracias a dos factores importantes: el primero es que las motas son dispositivos autónomos que funcionan con baterías las cuales pueden ser recargadas mediante paneles solares y el segundo factor es que todas las comunicaciones que realizan se basan en protocolos inalámbricos de bajo consumo [16]. En la figura 2.4 observamos una RIS y los elementos que la componen.

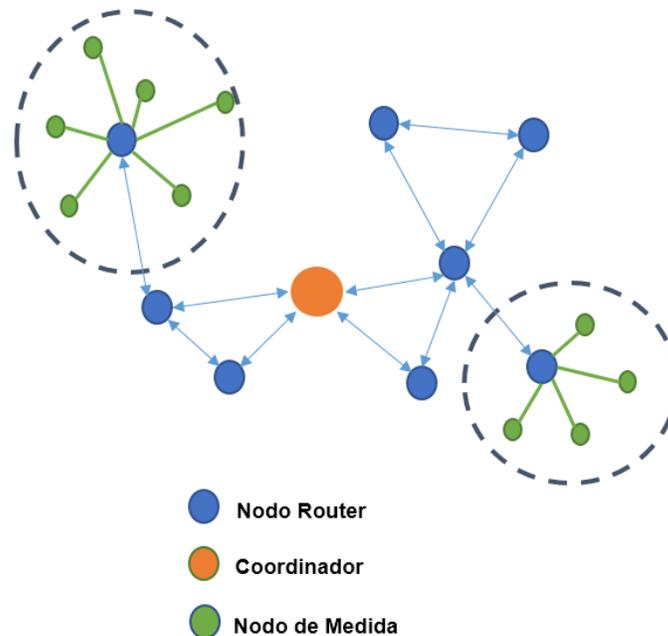


Figura 2. 4. Red Inalámbrica de Sensores RIS.
Fuente: El autor basado en [17]

2.5 Arquitectura hardware para RIS.

Los elementos que conforman una RIS son: sensor, nodo, puerta de enlace y estación base. La integración de estos elementos permite capturar una serie de mediciones de un entorno para posteriormente transformar esa información a un formato digital en el propio nodo y

lograr transmitir fuera de la red de sensores a través de un gateway hacia una estación base. Cuando llega la información a la estación ésta puede ser almacenada y tratada temporalmente en un servidor, dando la posibilidad de hacer un historial o realizar análisis de dichos datos [15], [18].

Los nodos o motas son la parte primordial de una RIS ya que capturan la información de los sensores, procesan y transmiten esa información. Debido a que el lugar y factores climáticos donde se ubican los nodos no son iguales se ven en la necesidad de utilizar su propia fuente de alimentación. Por ello los componentes en la arquitectura de un nodo quedan definidos como se muestra en la figura 2.5 [19].

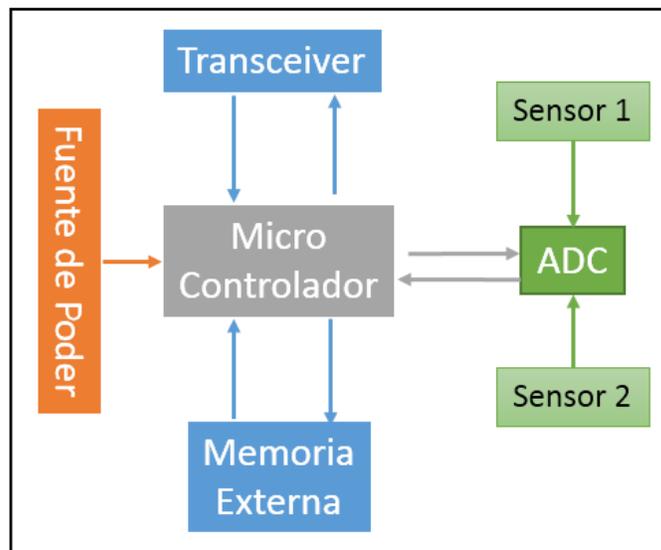


Figura 2. 5. Arquitectura de un nodo
Fuente: El autor basada en [19].

2.6 Topología en RIS.

La topología de una red hace referencia a la configuración de los componentes hardware y como los datos logran ser transmitidos a través de dicha configuración. Dependiendo del entorno donde se pretende desplegar la RIS y de la aplicación o función a realizar, se debe elegir una adecuada topología que puede ser de tipo estrella, árbol o malla [18].

2.6.1 Topología tipo estrella.

Es un sistema donde todos los nodos están en comunicación directa con la puerta de enlace provocando que la información que se pretende enviar de un solo salto, por tal razón a esta topología también se la conoce como sistema mono-salto (ver figura 2.6). La puerta de enlace es usada para transmitir los datos al exterior de la red y permitir la monitorización de la misma; algunas características importantes en esta topología son que los nodos no

intercambian información entre ellos y no tienen un camino de comunicación alternativo en el caso de que uno de los nodos tenga obstruido el camino de comunicación [15], [18].

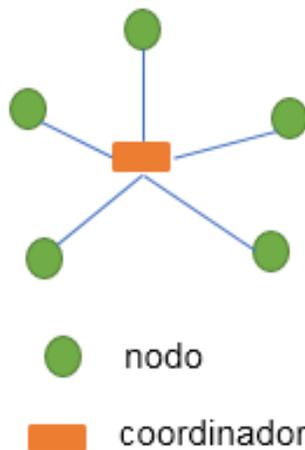


Figura 2. 6. Topología estrella
Fuente: Elaborada por el autor.

2.6.2. Topología tipo árbol.

En esta topología los nodos se conectan a los enrutadores, que se encargan de hacer el intercambio de datos con el coordinador (ver figura 2.7). Cuando los router asumen la función de coordinador la topología es considerada como estrella extendida [15].

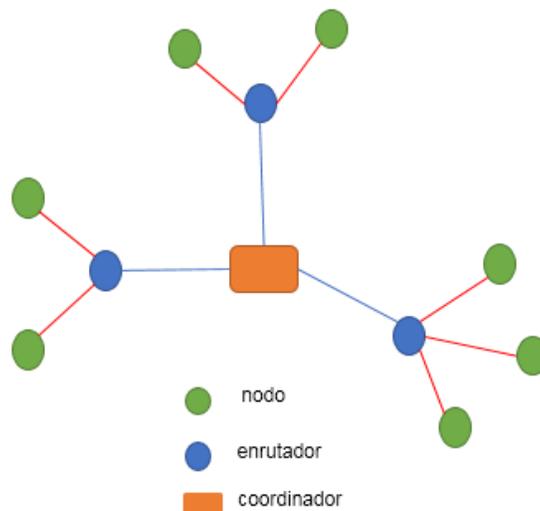


Figura 2. 7. Topología árbol
Fuente: Elaborada por el autor.

2.6.3. Topología tipo malla.

Es un sistema multi-salto ya que todos los nodos llegan a ser *routers* y son idénticos, dando la capacidad a cada nodo el poder de enviar y recibir información ya sea desde otro nodo o desde la puerta de enlace (ver figura 2.8). La capacidad de transmitir la información a

través de los nodos hacia la puerta de enlace hace que ésta topología sea altamente tolerante a fallos, debido a que cada nodo posee diferentes caminos para comunicarse con el *gateway*, es decir si un nodo falla, la red se reconfigura alrededor del nodo fallido automáticamente [15], [18].

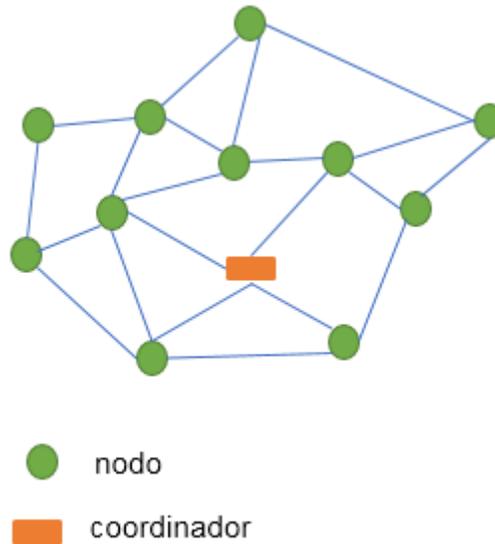


Figura 2. 8. Topología malla.
Fuente: Elaborada por el autor.

2.7 Aplicaciones de RIS.

Las RIS es una tecnología que proyecta cambiar la forma de obtener información a nivel global, facilitando la creación de un sin número de aplicaciones orientadas a diferentes ámbitos. Ya que una de sus ventajas es el rápido despliegue de la red en lugares donde el tendido de cable es complicado ya sea por costos o dificultades técnicas, permite no solo la creación de nuevas aplicaciones sino también el mejoramiento de algunas ya existentes. Como ejemplo de estas aplicaciones a nivel general se tiene [4], [20]:

- Monitoreo de uva [21]: Este proyecto está relacionado con el uso de sensores en la agricultura; los autores estudiaron la estructura de las actividades de trabajo, las necesidades y prioridades de las personas que trabajan en un viñedo con el fin de comprender el potencial de las redes de sensores en la agricultura.
- Detección de deslizamientos [22]: Proyecto en el cual se hace uso de sensores para la detección y predicción de posibles deslizamientos de tierra, sobre todo en situaciones climáticas de intensas lluvias y nieve derretida.

- Monitoreo Estructural Pasiva [23]: Este tipo de proyecto se enfoca más en aplicaciones para lugares inteligentes (*Smart Cities*), pues utiliza sensores para el monitoreo de estructuras físicas como puentes y edificios.
- Detección de incendios forestales [24]: En este trabajo, se proponen dos algoritmos para la detección de incendios forestales. El primer algoritmo usa un método de umbral y los nodos están equipados con sensores de temperatura, humedad y luz. El segundo algoritmo usa la teoría Dempster Shafer y asume que los nodos utilizan sensores de temperatura y humedad
- Sistema de cuidado y vigilancia del corazón [25]: Este trabajo presenta el diseño e implementación de CardioSentinal, un sistema de asistencia y vigilancia cardiaca 24 horas. CardioSentinal está diseñado para la instalación en el hogar y los servicios médicos diarios y está dirigido principalmente a pacientes ambulatorios y ancianos.

2.8 Sensores de distancia.

Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida, es decir tiene la capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas, conocidas como variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas [26], [27]. Existe una gran cantidad de sensores en el mercado pero nuestro enfoque está en los sensores que tiene como variable de instrumentación la distancia o desplazamiento debido a que nuestro interés es la distancia que existe entre la superficie del río y el nodo (ver figura 2.9). Los sensores que miden distancia sin contacto alguno emplean el aire como medio de transmisión, dado lugar a tres tipos de sensores: sensores con sistema óptico, sensores con sistema acústico y sensores con sistema de radiofrecuencia [28].

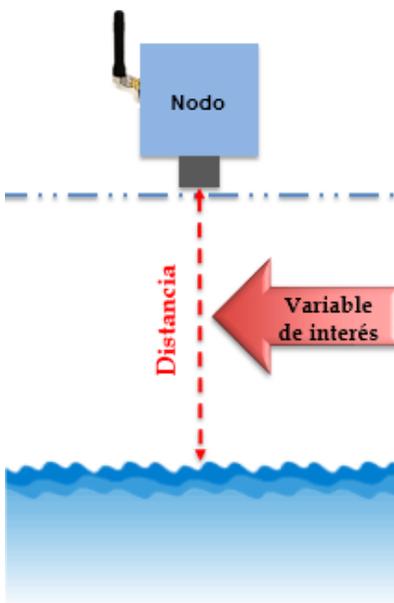


Figura 2. 9. Variable a sensar.
Fuente: El autor.

2.8.1 Sensores con sistema óptico (Láser).

También conocidos como medidores de distancia láser funcionan utilizando la medición del tiempo que tarda un pulso de luz láser en reflejarse en un objeto y volver al remitente. Esto se conoce como principio de "tiempo de vuelo" y el método se conoce como medición de "tiempo de vuelo" o "pulso" [29].

Los láseres son rayos enfocados e intensos de luz, generalmente de una sola frecuencia por lo cual son útiles para medir distancias ya que viajan en forma constantes a través de la atmósfera. Así los medidores de distancia laser emite un pulso hacia un objeto, éste pulso se refleja en el cuerpo del objeto y vuelve al dispositivo. El cálculo de la distancia se efectúa con el tiempo que se tardó en llegar el pulso enviado aplicando la ecuación 1 [29], [30].

$$D = \frac{C \times T}{2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

D = distancia.

C = velocidad de la luz.

T = cantidad de tiempo para el viaje de ida y vuelta entre el medidor y el destino.

Dada la alta velocidad a la que el pulso se desplaza y su enfoque, este cálculo aproximado es muy exacto a distancias de metros o kilómetros. Éste tipo de sensores son utilizados comercialmente para medir distancia (cuerpos sólidos), determinación de contornos de piezas, medición de espesores [28], [30].

2.8.2 Sensores con sistema de radiofrecuencia.

Los sensores que utilizan un sistema de radiofrecuencia son dispositivos de detección y medición de distancia que operan mediante la transmisión de ondas electromagnéticas con antenas directivas para buscar objetivos. Su principio de funcionamiento depende básicamente de las ondas transmitidas y reflejadas [31].

El mejor ejemplo de dispositivo que utiliza un sistema de radiofrecuencia es el radar ya que puede detectar la distancia y la velocidad un objeto mediante el “eco” y el “efecto Doppler”. El radar envía ondas de radio de alta intensidad y frecuencia con un transmisor, cuando las ondas fueron enviadas se apaga el transmisor y se enciende el receptor que espera el eco. De esta manera mide el tiempo en que tarda el eco en llegar permitiendo conocer la distancia a la que se encuentra el objeto y su velocidad [31], [32]. Actualmente esta tecnología también es usada para la medición de nivel de líquidos [33].

2.8.3 Sensores con sistema acústico (Ultrasonido).

Los sensores que utilizan un sistema acústico o también conocido como sensores ultrasonido, son dispositivos de medición de distancia que se basan en las propiedades magnetostrictivos de terminados materiales. Una lámina de material magnetostrictivo o membrana tiene la propiedad de deformarse mecánicamente y generar ultrasonidos al ser excitada por una corriente eléctrica. El efecto contrario también se produce es decir una vibración mecánica produce una corriente eléctrica [34].

Para que un sensor obtenga la distancia deben ocurrir dos procesos: primero se debe generar un tren de ondas ultrasónicas lo cual se logra con la excitación de la membrana magnetostrictiva y luego esta membrana debe recibir los ecos de las emisiones recibidas y transformarlas en pulsos eléctricos. Cabe mencionar que existen dos tipos de configuración en el hardware del sensor que realizan este proceso [34], [35]:

- Con sistema de emisor/receptor en el mismo transductor: Las ondas ultrasónicas se generan con una sola membrana que debe inmediatamente ser "bloqueada" tras emitir el tren de pulsos para poder "escuchar" el rebote de las ondas. Dado que requiere un tiempo de bloqueo de la membrana esta configuración es por lo general no sensible a distancias muy cortas (típicamente pocos centímetros) [34].
- Con sistema de emisor/receptor separados: Las ondas ultrasónicas se generan con una de las membranas mientras que la otra membrana se utiliza para "escuchar" las ondas emitidas. En esta configuración, la membrana receptora está preparada para

escuchar desde el mismo instante en el que se generaron las ondas y por tanto suele ser apropiada para medir distancias muy cortas [34].

Para poder percibir los ecos la onda ultrasónica tiene un ángulo de detección en el cual es sensible llamado lóbulo principal, aunque también existen otros lóbulos secundarios en los cuales el sensor también es sensible pero a una menor escala (ver figura 2.10).

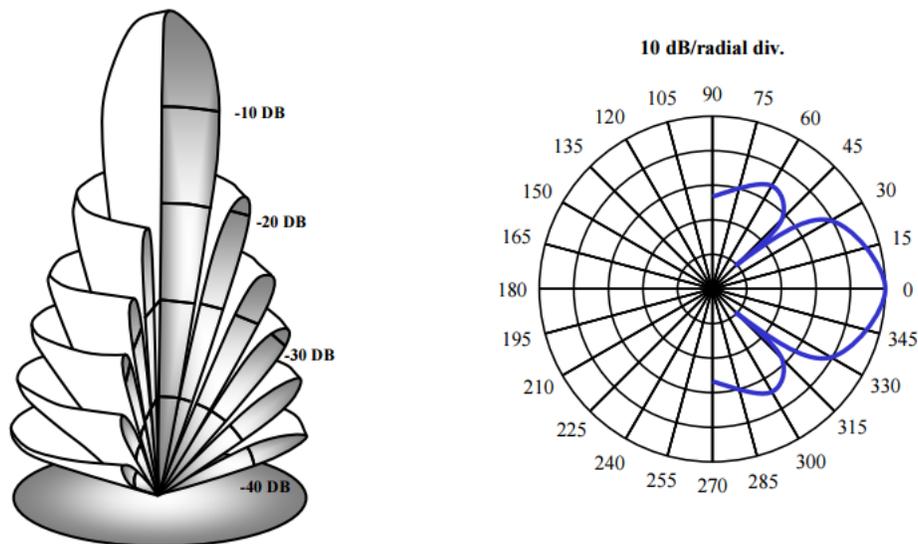


Figura 2. 10. Lóbulos principales y secundarios del sensor.
Fuente: tomada de [36]

2.9 Plataformas Hardware Open Source.

Existe una variedad de plataformas Hardware Open Source disponibles en el mercado, que los programadores han utilizado en diferentes proyectos para RIS, entre estas tenemos: Libelium, Arduino, Raspberry Pi, Nanode y BeagleBone.

2.9.1 Libelium.

La empresa Libelium dispone de dos tecnologías para poner en marcha su propuesta de RIS: waspmote y meshlium. Los waspmote están basados en una arquitectura modular, es decir vamos integrando únicamente los módulos que necesitamos en cada dispositivo dando la posibilidad de cambiarlos según la aplicación y necesidades que se requiera en la RIS [37].

Libelium puso en marcha una plataforma de sensores inalámbricos inteligentes para simplificar el monitoreo de calidad de agua a largas distancias (Wasmote Smart Water). Dicha plataforma está equipada con múltiples sensores que miden parámetros de

calidad del agua. El uso de esta plataforma está orientado a: monitoreo de agua potable, la detección de fugas de productos químicos en los ríos, medición remota de piscinas y monitoreo de los niveles de contaminación de agua de mar, entre otras [38], [39].

2.9.2 Arduino.

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar [40]. En la mayoría de los modelos de arduino notamos que está constituido por un micro controlador principal Atmel AVR de 8 bits, encargado de realizar los procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa asimismo controla y gestiona los recursos de cada uno de los componentes externos conectados [41]. Hoy en día existe una variedad de productos arduino, entre los más destacados tenemos.

- Arduino UNO
- Arduino Leonardo
- Arduino Yún
- Arduino Due
- Arduino Mega
- Arduino Mega 2560
- Arduino Mega ADK
- Arduino Nano
- Arduino Pro
- Arduino Pro Mini

2.9.3 Raspberry Pi.

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo coste, desarrollada por la fundación británica Raspberry Pi. La placa dispone de un sistema de un solo chip Broadcom BCM2835, con un procesador central de 700 MHz, un procesador gráfico (GPU) y una memoria RAM de 512 MB [42].

Este miniordenador no posee fuente de alimentación ni disco duro (usa una tarjeta SD), cuenta con varios puertos de entrada y salida: dos USB, uno de Ethernet y una salida HDMI. Raspberry Pi tiene la capacidad de interactuar con el mundo exterior y se ha utilizado en una amplia variedad de proyectos como máquinas de música, sistema de alarma, estaciones meteorológicas entre otras. Existen una variedad de modelos como [42], [43]:

- Raspberry Pi A
- Raspberry Pi B

- Raspberry Pi A+
- Raspberry Pi B+
- Raspberry Pi 2 B
- Raspberry Pi Zero

2.9.4 Nanode.

Nanode es un proyecto de hardware de código abierto, entre algunas de sus aplicaciones se encuentran soluciones para el Internet de las Cosas. Su desarrollo es obra de Ken Boak, y se podría decir que es una evolución de Arduino pero que es capaz de conectarse a internet a través de un navegador o una API abierta de datos como Cosm [43].

Además Nanode permite a los desarrolladores utilizarlo como su servidor privado de proyectos web o como captador de datos ambientales, como temperatura, clima o la calidad del aire, etc. a través de la colocación de sensores. Estos datos son transportados hasta un servicio de datos abierta basada en la nube (Cosm) y luego usando las herramientas proporcionadas, los datos pueden ser visualizados y graficados [44].

2.9.5 BeagleBone.

BeagleBone es un ordenador Linux que se conecta a internet y tiene la posibilidad de ejecutar un Sistema Operativo (S.O) como Android 4.0 y Ubuntu. Tiene un procesador ARM Cortex-A8 a 700 MHz y una memoria RAM de 256 MB. Mide 9 cm de largo y 5.5 cm de ancho, lee tarjetas micro SD, posee un puerto USB para conectar un periférico o utilizarlo como fuente de energía, un micro USB para conectarlo a otro ordenador, un conector Ethernet y un conector RJ-45 [45].

Como BeagleBone funciona con Linux, un desarrollador puede hacer su propio software en una gran variedad de lenguajes: C, C++, Java, Python, Ruby, PHP, Javascript, Node.js. Actualmente existen dos modelos de placa [45]:

- BeagleBone clásica.
- BeagleBone negra.

2.10 Aplicaciones Android en RIS.

En los últimos años se aprecia un incremento en el uso de teléfonos inteligentes (*smartphone*), solo en Ecuador en el año 2011 el porcentaje de personas que poseen un *smartphone* era del 46.6% comparado con el año 2013 este porcentaje fue superado llegando a 51.3% [46] y si pensamos a nivel mundial este incremento será mucho mayor,

lo cual involucra el incremento del S.O. Android, estas razones impulsó a utilizar los *smartphone* en diversas aplicaciones en la comunicación inalámbrica. Las principales ventajas al usar este sistema son la movilidad del dispositivo de monitorización y la portabilidad de las aplicaciones, características clave para los dispositivos basados en Android orientados a RIS [47].

En la actualidad se está trabajando en la integración de los *smartphone* en las RIS, un avance en este tema se ver reflejado en el desarrollo de una nueva plataforma que propone el autor en [48], que puede ser fácilmente utilizado para diversas observaciones ambientales. La plataforma de sensores Arkas consta hasta de 16 nodos que se comunica con el servidor que se ejecuta en una tablet Android. Esta plataforma de tipo cliente-servidor se compone de un servidor centralizado y nodos de sensores. El proyecto se desarrolló para la observación del nivel de la nieve empleando sensores de distancia de ultrasonido en Niigata, Japón. Con los datos obtenidos por los nodos y la centralización de la información en una estación central permite al administrador tomar la decisión de enviar a los quitanieves al lugar que es necesario en el tiempo adecuado.

En el presente trabajo se realiza una integración del S.O. Android y RIS, la integración de Android en este prototipo está pensado como un método adicional para la recolección de la información de los nodos mediante bluetooth. La aplicación permitirá la conexión y desconexión del nodo, así mismo permitirá la descarga y la visualización de la información que está grabada en la micro-SD del prototipo.

2.11 Proyectos similares.

El monitoreo del nivel de agua en ríos o depósito es un parámetro presente en diferentes investigaciones dando origen a proyectos con resultados novedosos, entre los más destacados tenemos:

- Prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real del nivel de agua en ríos usando instrumentación virtual: El sistema fue implementado usando el concepto de instrumentación virtual y funciona en forma autónoma a través de un módulo solar que genera la potencia eléctrica requerida para su operación. Almacena y procesa estadísticamente los datos y generar una alarma, tanto visual en la pantalla del computador como sonora mediante activación de una sirena [49].
- RiverMote: Es una plataforma de RIS para la vigilancia del río, es un caso de estudio para el diseño de un sistema de arquitectura de bajo costo que combina el nodo de

baja potencia y una arquitectura altamente eficiente para la captación de energía para el nodo la comunicación entre los nodos sería mediante ZigBee [50].

También existen empresas como NexSens Technology, Fondriest Environmental dedicadas al monitoreo tanto del nivel como de la calidad de agua en ríos, cuentan con servidores propios donde se puede entrar y revisar los datos almacenados por las estaciones bases, su arquitectura hardware y software son cerrados por lo que implementar o añadir una variable más de medición tendría un costo elevado. En lo que respecta al software para hacer ensayos preliminares antes de la implementación cuentan con una versión de prueba de 30 días, pasado ese tiempo se debe comprar una licencia para seguir trabajando [51], [52].

El desarrollo de este proyecto va orientado a dar una solución viable en términos de costo y rendimiento para monitoreo de nivel de agua de los ríos enfocado a prevención de desastres en la ciudad de Loja. Se trabajará con hardware y software abierto y con una plataforma middleware IoT para la publicación de los datos obtenidos por el nodo. Además se realizará una aplicación para dispositivos móviles con S.O. Android, así cuando el usuario esté cerca del nodo podrá descargar la información existente sin la necesidad de abrir o mover el nodo.

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE HARDWARE Y SOFTWARE

3.1 Introducción.

En el presente capítulo se describe todo el hardware y software utilizado para el desarrollo del prototipo, partiremos de la conformación total del nodo, posteriormente se detalla cada uno de los módulos utilizados.

3.2 Hardware del prototipo.

Los componentes hardware que forman parte del prototipo fueron seleccionados específicamente para cumplir los objetivos planteados en esta investigación. En la figura 3.1 observaremos todos los módulos que forman parte del nodo desarrollado.

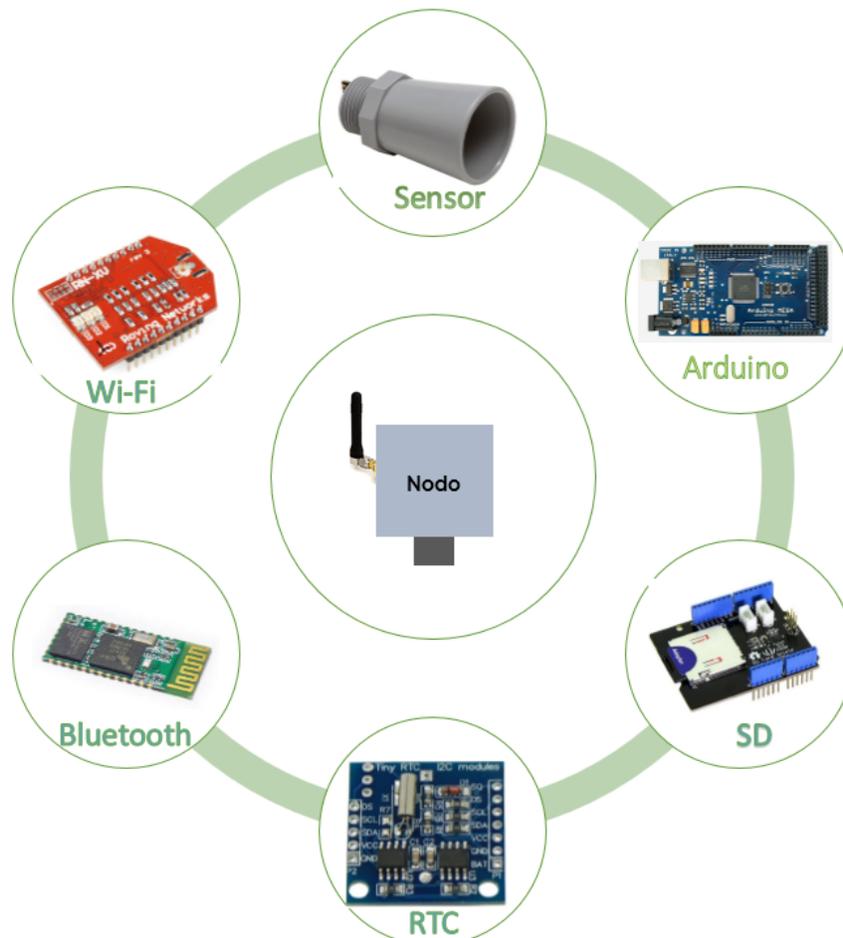


Figura 3. 1. Módulos que conforman el prototipo.
Fuente: El autor.

3.3 Hardware Open Source.

3.3.1 Arduino Mega.

Para el procesamiento de los datos obtenidos por el sensor y posterior transmisión se usa un Arduino Mega. Esta placa electrónica basada en el ATmega1280, cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM, 16

entradas analógicas, 4 puertos UART's (puertos serie), un oscilador de cristal de 16 MHz y un puerto USB conectado a un módulo controlador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier computador (ver figura 3.2) [53].

El Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa, las principales características de esta placa están presentes en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Características Arduino Mega

Ítem	Especificación
Microcontrolador	Atmega1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Pines Digitales I/O	54
Pines de entrada analógica.	16
Corriente DC por Pin E/S	40 mA
Corriente DC Pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	128 KB (4KB utilizado gestor de arranque)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: Tomado de [53].



Figura 3. 2. Dispositivo Arduino Mega

Fuente: Tomada de [53].

Al analizar la estructura de la plataforma Arduino notaremos ventajas importantes como:

El software Arduino está publicado como herramienta de código abierto es decir el lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, tal característica da a los

programadores la posibilidad de hacer el salto de Arduino a la programación en el lenguaje AVR-C o si se desea se puede añadir código AVR-C directamente en los programas de Arduino [54].

Los planos de los módulos de Arduino están publicados bajo la licencia *Creative Commons*, lo cual permite a los programadores crear su propia versión de módulo ya sea para mejorarlo o extenderlo, originando distintas versiones y formatos de placas aptas para diferentes aplicaciones. Al tratarse de una plataforma de hardware abierto, existe una amplia comunidad de programadores que comparte información sobre proyectos realizados, en consecuencia el soporte documental es mayor [55].

Cabe mencionar que el uso de Arduino no está propiamente dirigido a las RIS, sin embargo presenta ventajas importantes como las que se mencionaron anteriormente por lo cual se ha optado por utilizar Arduino como plataforma hardware de desarrollo para el prototipo.

La elección del Arduino Mega frente a los diferentes dispositivos Arduino que existen, es el poseer una SRAM (Static Random Access Memory) de 8KB, superior a la SRAM tanto del Arduino Uno como del Arduino Duemilanove, productos con menor costo, pero para nuestra necesidades no son eficientes.

3.3.3 Sensor MB7364 HRXL.

En el mercado actual existe una variedad de sensores ultrasónicos que nos permiten obtener la distancia con respecto a un objeto, muchos de estos sensores son aplicados en el campo de la robótica y otros en el campo de la industria. Debido a que el prototipo estará en la intemperie debemos tener en cuenta algunas consideraciones para la elección del sensor entre éstas tenemos:

- La resolución o fallo de medida debe ser mínimo (menor a 2 cm) en ambientes dinámicos, ya que la velocidad del flujo de corriente de agua en un río es muy variante.
- El rango de medida o rango de detección tiene que ser superior a 1 metro.
- Debe ser totalmente integrable con la plataforma Arduino.
- Debe soportar o tener alguna protección frente al factor clima, estos pueden ser: lluvia, sol, viento.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas se determinó que para el desarrollo de nuestro nodo trabajaremos con el sensor “MB7364 HRXL-MaxSonar-WRL” (ver figura

3.3) ya que cuenta con características idóneas para el correcto funcionamiento del prototipo en comparación con otro tipo de sensores.



Figura 3. 3. Sensor MB7364 HRXL-MaxSonar
Fuente: Tomada de [56]

En la tabla 3.2 observaremos las especificaciones técnicas más importantes de este sensor. Entre algunas características a destacar del sensor tenemos [56]:

- Cuenta con un alcance máximo de 5 metros a objetivos grandes.
- Módulo ultrasónico robusto exterior resistente al clima.
- Ofrece detección de larga y corta distancia.
- Sensor ultrasónico cumple con la norma IP67.

Especificaciones del sensor:

Tabla 3. 2. Especificaciones del sensor MB7364

Ítem	Especificación
Resolución	1mm
Velocidad de lectura	6Hz
Salida del sensor:	Analógica, Serial y Ancho de pulso.
Distancia a medir (mínimo):	50 cm
Distancia a medir (máximo):	5m
Alimentación :	2.7V – 5.5V
Corriente mínima requerida:	2.9mA
Temperatura de funcionamiento:	-40°C a +65°C

Fuente: Tomada de [56]

3.3.4 Registrador de datos (Datalogger).

Un datalogger es un dispositivo electrónico que registra datos o mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de uno o varios sensores, cada medición es almacenada en una memoria conjuntamente con su hora y fecha que fue tomada dicha medida [57] [58].

Un datalogger está conformado de dos partes: una memoria y un reloj en tiempo real. Para el desarrollo del prototipo se utiliza un shield SD Card (ver figuras 3.4 y 3.5), éste es un módulo que proporciona un espacio de almacenamiento de datos al nodo, permite leer y escribir en la tarjeta SD a través de una función de la biblioteca Arduino además es compatible con SD, SDHC y micro SD cards. Tenemos que tener en cuenta que tanto SD, SDHC y micro SD no supere la capacidad de 16GB así mismo el formato de estas pueden ser FAT16 o FAT32 [59]. Para el almacenamiento de la información en este prototipo utilizamos una memoria de 2 GB.

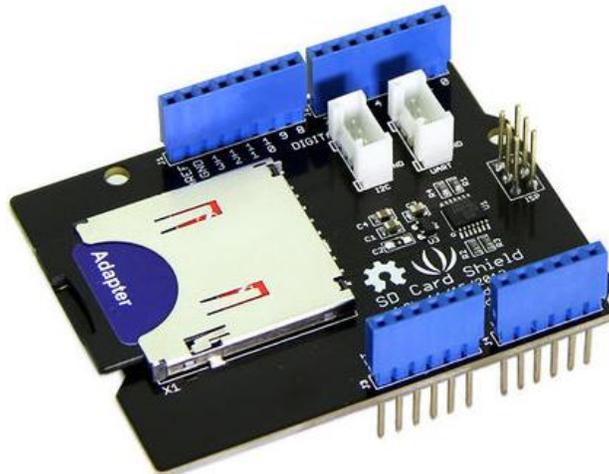


Figura 3. 4. Shield SD Card
Fuente: Tomada de [59]

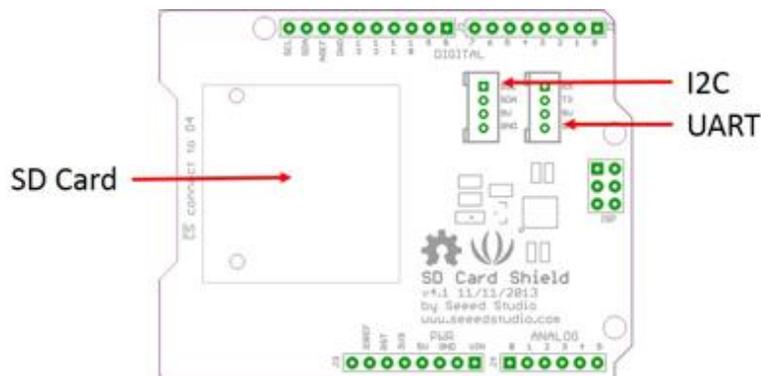


Figura 3. 5. Schematic Shield SD Card
Fuente: Tomada de [59]

Entre las principales características técnicas que presenta este módulo SD Card tenemos:

- **Voltaje:** 3.5 V - 5.0 V.
- **Corriente:** 0.159mA – 200mA.
- **Compatibilidad:** SD, SDHC y micro SD.

- **Soporta Card:** SD card(<=16GB); micro SD card(<=16GB); SDHC card(<=16GB)
- **Conexión Compatible:** UART y I2C para otros shield.

Para el sistema de RTC (Real Time Clock) el prototipo cuenta con la placa Tiny RTC I2C (ver figura 3.6). Éste RTC incorpora un reloj de tiempo real DS1307, una batería para memorizar los datos y una pequeña memoria EEPROM 24C32, además posee un circuito integrado que detecta fallas de energía y cambia automáticamente a la alimentación de reserva.

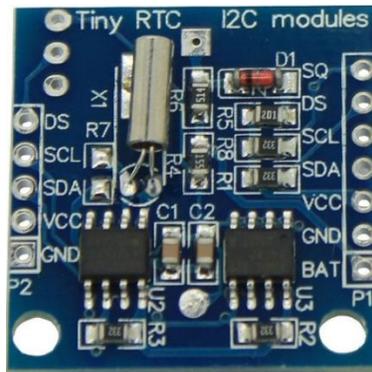


Figura 3. 6. Tiny RTC I2C
Fuente: Tomada de [60]

Entre las principales características que presenta Tiny RTC I2C tenemos [60]:

- RTC: Lleva la cuenta de segundos minutos y horas además de día, mes y año automáticamente, válido hasta el año 2100.
- 56 byte de memoria RAM respaldada por una batería exterior que mantiene la fecha y hora cuando no hay corriente.
- Detección automática de corte de corriente y cambio a modo batería.
- Muy bajo consumo, lo que ayuda a que la batería dure entre 5 y 10 años.
- I2C integrado en el mismo chip.

3.4 Plataforma middleware IoT (Internet of Things).

El Internet de las cosas representa la evolución donde la interacción entre objetos es posible para lograrlo hacen uso de plataformas middleware que permiten la interacción entre cliente-servidor. Actualmente se ha producido un incremento evidente en el desarrollo de dichas plataformas para IoT, desde plataformas de código abierto hasta plataformas propietarias de uso comercial y todas con el mismo objetivo de conectar distintos sistemas, dispositivos y aplicaciones móviles [61], [62].

Las plataformas middleware IoT proveen una interfaz como un punto de acceso a sus recursos a través de protocolos de internet, usan mecanismos de abstracción para mapear una dirección lógica a un recurso físico en forma de API (*Application Programming Interface*) y REST (*Representational State Transfer*). REST permite crear servicios y aplicaciones que pueden ser usadas por cualquier dispositivo o cliente que utilice HTTP; el acceso a la información de los recursos se lo realiza mediante un identificador global asignado por REST. Un identificador URI (Uniform Resource Identifier) utiliza HTTP para comunicarse con diversos clientes de la red y compartir los recursos [61].

Para este trabajo se decidió usar la plataforma *middleware Ubidots*, la misma que se detalla a continuación.

3.4.1 Ubidots.

Ubidots es un servicio en la nube que nos permite almacenar e interpretar información de sensores en tiempo real, haciendo posible la creación de aplicaciones para el IoT de una manera fácil y rápida. Ésta plataforma permite a desarrolladores de servicios integrar los flujos de datos en un entorno de computación en la nube, dando la posibilidad de crear aplicaciones que capturan información del mundo real.

La plataforma provee una clave API a cada usuario que utiliza como identificador de autenticación cuando se transmite los datos de los sensores a la nube (ver figura 3.7). La API de Ubidots consta de 4 elementos esenciales para crear aplicaciones más eficientes y en un menor tiempo [63].

- Data Source: Una fuente de datos se refiere a un dispositivo. Cada Data Source puede tener uno o más sensores o variables.
- Variable: Una variable es un conjunto de datos que cambia en el tiempo.
- Value: Es el valor medido por el sensor en un instante de tiempo determinado.
- Event: Los eventos son acciones que podemos tomar según el valor de nuestras variables.

Entre las principales características que presenta Ubidots tenemos:

- Seguridad basada en mecanismos incorporados en la nube *Ubidots* (autenticación mediante *API KEY* o *tokens*).
- Capacidad para publicar los datos del dispositivo sobre una *API REST*.

- Flexibilidad, debido a que permite a sus usuarios mezclar diferentes flujos de datos y presentarlos en el *dashboard* de esta plataforma.
- Disponibilidad ubicua debido a que está basado en la nube.

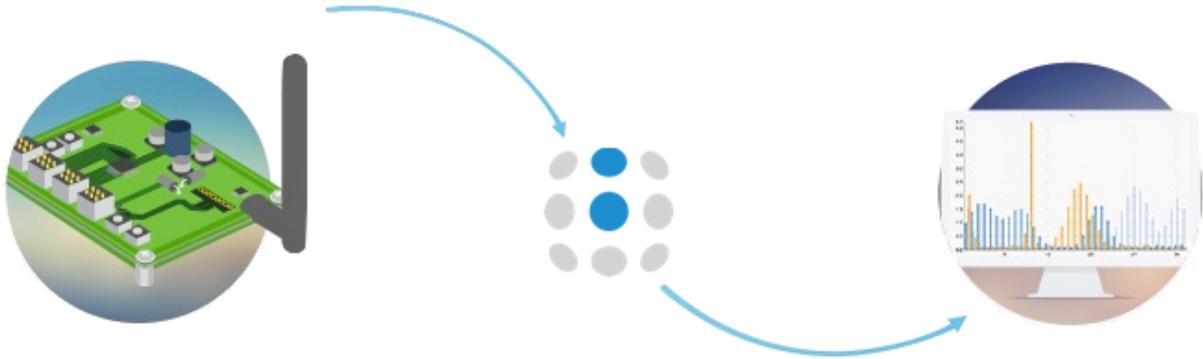


Figura 3. 7. Plataforma Ubidots
Fuente: Tomada de [63].

3.5 Dispositivos de transmisión.

A continuación se detalla los módulos de transmisión que utilizamos en el prototipo para la transmisión de datos. Para la transmisión mediante bluetooth utilizamos el módulo HC-05 y la para la transmisión mediante Wi-Fi utilizamos el módulo wifly RN-XV.

3.5.1 Módulo Bluetooth (HC-05).

La comunicación inalámbrica entre el smartphone y el nodo se realiza mediante bluetooth utilizando el módulo HC-05. Ésta serie de módulo bluetooth permite configurar de modo maestro o esclavo. Éste módulo está plenamente calificado para trabajar con otros dispositivos Bluetooth V2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) o superiores, es decir nos permitirá trabajar con velocidades de hasta 3Mbps. La configuración de este módulo se lo puede realizar vía comunicación serial [64]. En la figura 3.8 podemos observar el módulo HC-05.

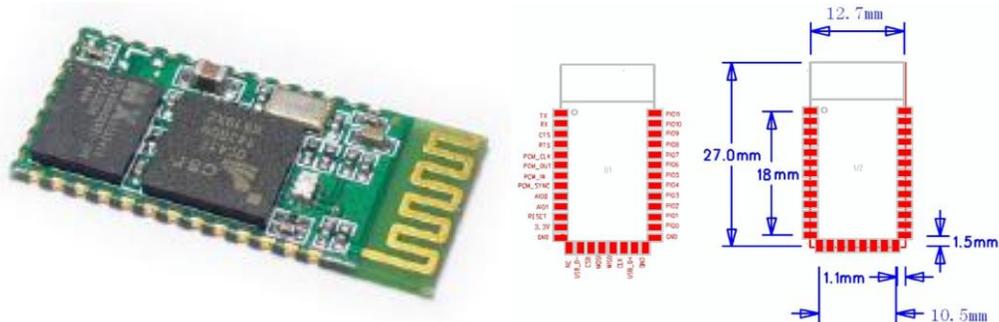


Figura 3. 8. Módulo Bluetooth HC-05.
Fuente: tomado de [64].

Entre las principales características de este módulo tenemos [64]:

- Sensibilidad típica: -80 dBm.
- Potencia RF de transmisión: hasta +4 dBm.
- Alimentación: 3.3 V a 5 V.
- Velocidad de transmisión por defecto: 38400 bps.
- Soporta velocidades de transmisión: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800 bps.
- Auto-conexión al último dispositivo emparejado.
- Permiso para emparejamiento de forma permanente.
- Código PIN Auto-emparejamiento: "0000" por defecto.

El prototipo cuenta con una aplicación Android para smartphone, ésta aplicación fue desarrollada con el objetivo de obtener la información que se encuentra almacenada en la micro-SD del nodo, es por ello que el módulo bluetooth en el prototipo está configurado de modo esclavo, de esta manera queda atento a las peticiones que el maestro (smartphone) solicita. En la figura 3.9 observamos la configuración (maestro-esclavo) entre estos dos elementos.

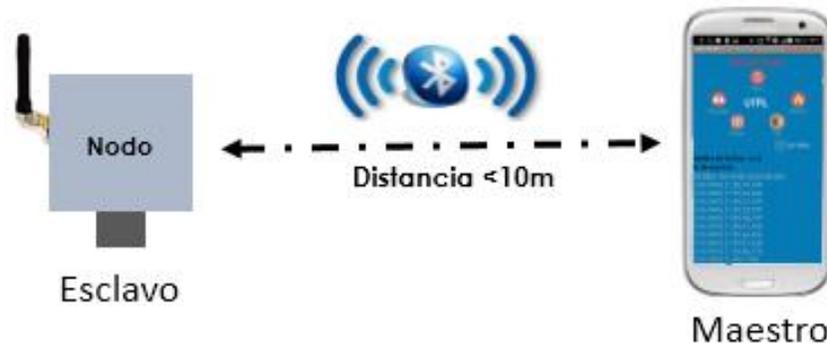


Figura 3. 9. Configuración maestro-esclavo
Fuente: Elaborado por el autor.

3.5.2 Módulo Wifly (RN-XV).

El módulo RN-XV está diseñado para los usuarios que necesitan cambiar de una arquitectura 802.15.4 a una plataforma basada en el estándar TCP/IP, evitando rediseñar su hardware existente. Es decir si existiera alguna aplicación configurada para XBee y requiere pasar a una red Wi-Fi, solo necesita cambiar de módulo, sin tener que cambiar el resto del hardware. Este módulo Wi-Fi permite realizar conexiones HTTP y enviar información a servidores Web y FTP (ver figura 3.10) [65].

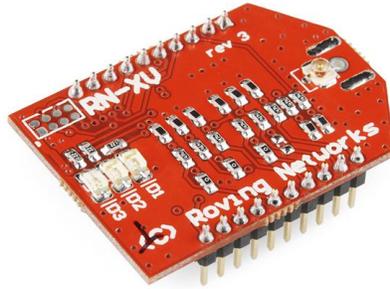


Figura 3. 10. Módulo de wifly RN-XV
Fuente: Tomada de [65].

Utilizando el módulo RN- XV tenemos la posibilidad de utilizar una topología Access Point, por lo que los nodos pueden conectarse a cualquier tipo de router Wi-Fi estándar configurados como punto de acceso (AP). Una vez que los nodos se han asociado al AP, éstos pueden solicitar una dirección IP utilizando el protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) o utilizar una IP estática, realizado este proceso los nodos podrían enviar sus datos a un servidor web, dando la posibilidad de que los usuarios accedan a la información desde cualquier parte del mundo donde posean conexión a internet, como se observa en la figura 3.11.

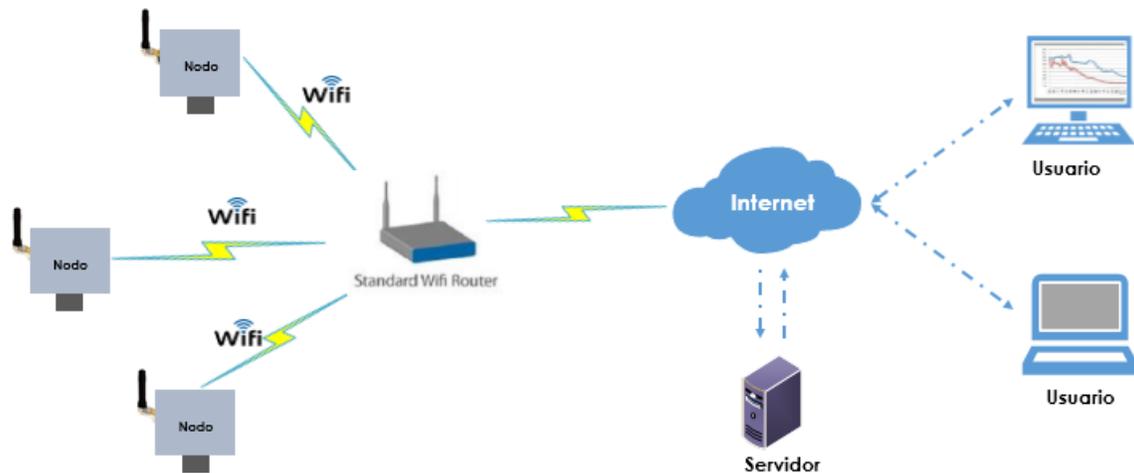


Figura 3. 11. Topología AP con conexión a internet.
Fuente: Elaborada por el autor.

Basados en la hoja de especificaciones del fabricante (Anexo C), algunas características destacables que presenta este módulo citamos las siguientes:

- Alimentación: 3.3 V.
- Ultra-baja potencia: 4 μ A sleep, 40 mA Rx, 180 mA Tx en 10 dBm.
- Modo WPS (*Wi-Fi Protected Setup*) para una fácil configuración.

- Certificado por Wi-Fi Alliance para WEP, WPA and WPA2-PSK.
- A bordo de la pila TCP / IP incluye DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, cliente HTTP, cliente FTP y TCP.
- Potencia de transmisión configurable: 0 dBm a 12dBm.
- Interfaces de hardware: UART TTL.
- Velocidad de datos: 464 Kbps utilizando control de flujo por hardware.
- Soporta Ad-hoc e infraestructura de redes.
- 8 de puertos generales de E / S digital.
- 3 entradas para sensores analógicos.
- Reloj en tiempo real para time-stamping, auto-sueño y los modos de auto-wakeup.

CAPITULO 4
DESARROLLO DEL PROTOTIPO

4.1 Adquisición de datos.

Para la adquisición y procesamiento de los datos se utilizó un *Arduino Mega* como tarjeta base, la elección de este hardware al igual que sus características se pueden apreciar en el capítulo 3. Cabe mencionar que uno de los factores influyentes para la elección de esta tarjeta hardware fue la SRAM.

4.2 Algoritmo de funcionamiento.

Para la programación de nuestra tarjeta utilizaremos el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino, este IDE tiene un lenguaje simple basado en C/C++, es un programa de libre distribución para la edición de programas para microcontroladores Atmega propios de Arduino.

El prototipo nodo incorpora una aplicación en *Android* para descargar la información tanto en tablets como en smartphone, ésta información será un registro de la hora, fecha y el valor registrado por el sensor; toda esta información llegara a nuestros dispositivos móviles mediante bluetooth. Para el desarrollo de la aplicación móvil nos ayudamos del programa *Android Studio* que es el IDE oficial para el desarrollo de aplicaciones para la plataforma Android [66], podemos encontrarla de forma gratuita a través de la Licencia Apache 2.0 y está disponible para las plataformas Microsoft Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

El algoritmo desarrollado consta de tres etapas; la primera corresponde a la adquisición y procesamiento de datos obtenido por el sensor, la segunda a la comunicación entre el nodo y el smartphone y la tercera al envío de la información al servidor Ubidots. Para el procesamiento, la comunicación y subida de datos al servidor se utilizaron plataformas *OpenSource*. En la figura 4.1 podemos observar el funcionamiento de todo el sistema.

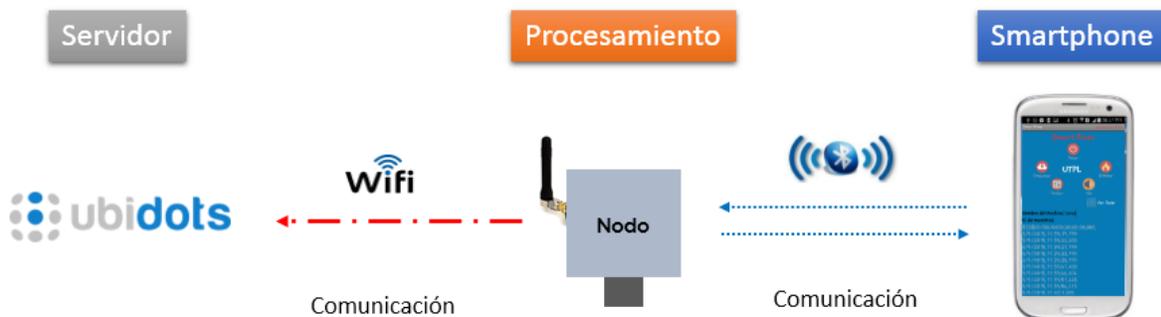


Figura 4. 1. Funcionamiento del sistema.
Fuente: El autor.

4.2.1 Procesamiento.

Para la programación de adquisición y el procesamiento de datos en el prototipo se realizó un algoritmo por prioridades, siendo nuestra prioridad principal la obtención de la medida que arroja el sensor y el almacenamiento en la micro SD del nodo, seguidamente posteara el dato en el servidor, esto se hace con la finalidad de que el nodo siga funcionando aun cuando no exista una conexión a internet. Es sustancial mencionar que para las peticiones bluetooth el nodo siempre está en *escucha* de alguna conexión, así cuando exista alguna petición por parte del smartphone responderá a dicho llamado y momentáneamente detiene el sensado.

Para lograr un mayor nivel de precisión en la recolección de datos, se decidió conseguir el promedio de todos los valores instantáneos obtenidos en un tiempo de 10 segundos, es decir obtendremos 6 muestras en un minuto. Cabe mencionar que el tiempo para adquirir una muestra se lo puede modificar mediante programación, dando la oportunidad de obtener una muestra cada cierto tiempo deseado.

En la figura 4.2 observaremos la secuencia lógica de la programación existente en la plataforma del nodo.

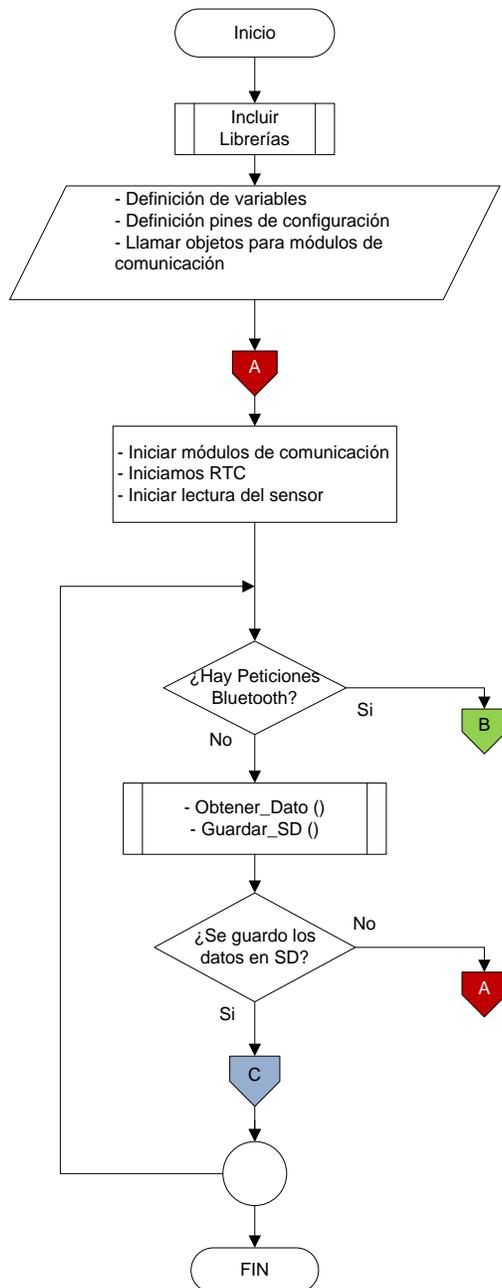


Figura 4. 2. Flujograma del procesamiento.
Fuente: El autor.

4.2.2 Comunicación entre Nodo - Smartphone.

Para la comunicación entre el nodo y el smartphone se utiliza tecnología bluetooth, el algoritmo desarrollado en el nodo fue diseñado para estar pendiente y responder a peticiones específicas enviadas desde el smartphone.

Las acciones que puede realizar el nodo son seis, las cuales se describen en la tabla 4.1, cabe mencionar que cada una de las actividades envía un código independiente de inicio y

finalización de actividad al smartphone, en la figura 4.3 observamos la secuencia lógica a las peticiones bluetooth.

Tabla 4. 1. Descripción de las actividades del nodo.

Actividad	Descripción
Conectarse	Acción que nos permitirá establecer una conexión maestro-esclavo con el smartphone.
Transferir datos	Envía la data presente en la micro-SD del nodo hacia el dispositivo móvil.
Eliminar datos	Elimina toda la data presente en la micro-SD y crea un nuevo archivo con el mismo nombre.
Set Valor	Recibe un valor que va ser almacenado en la memoria EEPROM del microcontrolador.
Ver medida	Realiza el envío del dato inmediatamente finalice la adquisición de la medida.
Desconectarse	Acción que desvincula el modulo bluetooth del nodo con el smartphone.

Fuente: El autor.

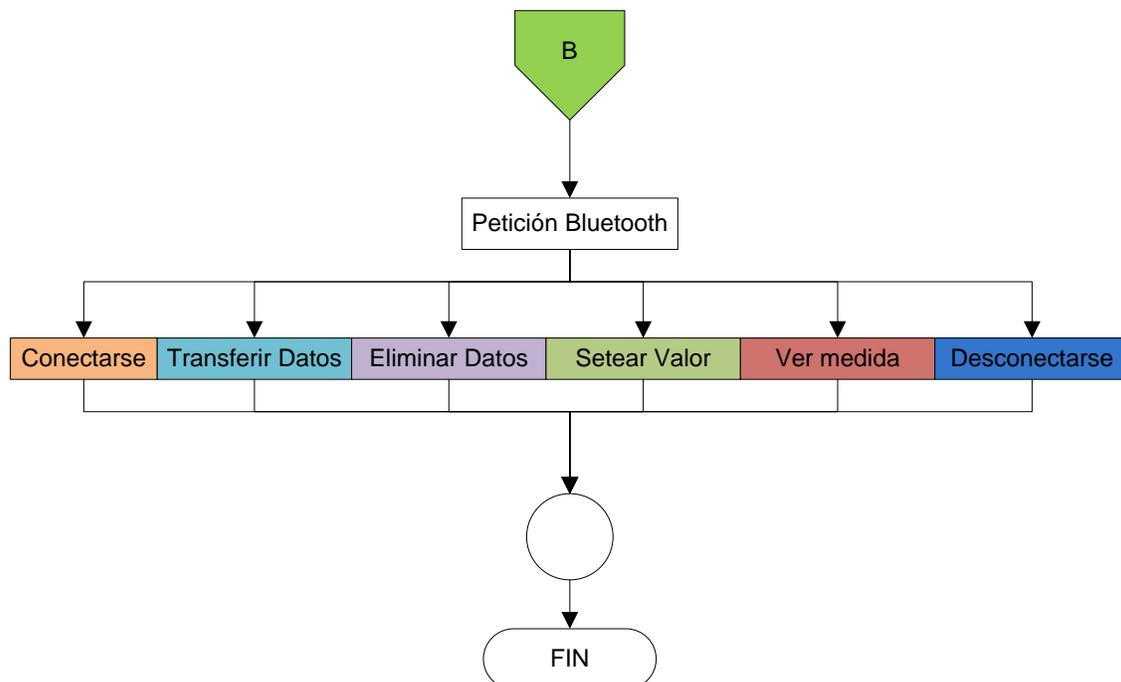


Figura 4. 3. Flujograma de la comunicación Bluetooth.

Fuente: El autor.

4.2.3 Envió de la data al servidor Ubidots.

Para el envío de los datos al servidor previamente el dato pasa por un proceso de entramado, donde las partes principales de esta trama son URL, ID de la variable, token y la variable a enviar. Para la publicación de los datos en el servidor utilizamos la biblioteca “*WiFiHQ*”. En la figura 4.4 podemos observar la secuencia lógica que se sigue para el posteo de los datos en servidor.

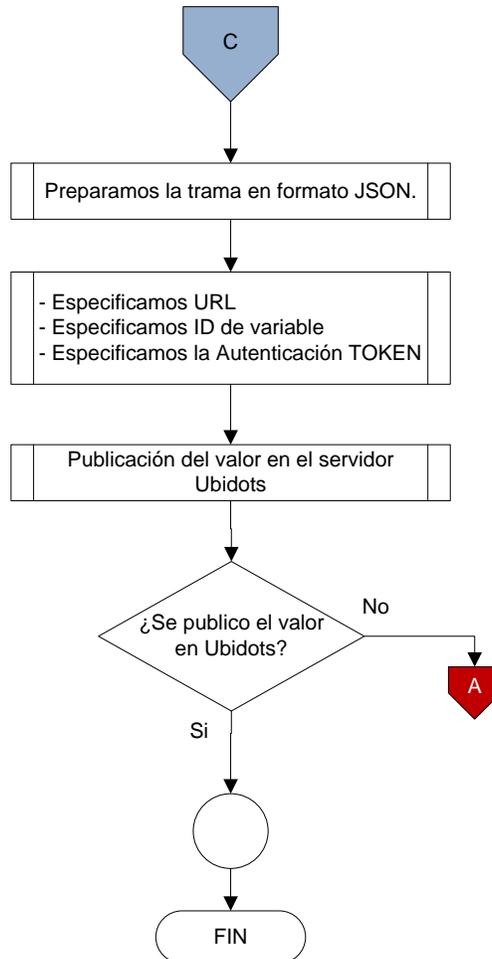


Figura 4. 4. Flujograma envió de data al servidor.
Fuente: El autor.

4.3 Desarrollo de la aplicación en Android.

Para la interacción entre el nodo y el smartphone se ha desarrollado una aplicación Android denominada “*Smart Rivers*”, esta aplicación posee varias acciones a realizar las cuales son: conectar, descargar, revisar, set medida, eliminar y voz (ver tabla 4.2). En la figura 4.5 observamos las acciones presentes en la actividad principal de la aplicación.

Tabla 4. 2. Descripción de las actividades de la App.

Actividad	Descripción
Conectar	Acción que nos permitirá establecer una conexión maestro-esclavo con el nodo.
Descargar	Petición que se hace al nodo para el envío de la data presente en la micro-SD del nodo hacia el dispositivo móvil.
Revisar	Petición interna del móvil para recuperar y revisar datos que se han descargado en eventos pasados.
Set Medida	Envío de medida al nodo para que almacene en su memoria EEPROM el valor de la medida máxima.
Eliminar	Se envía la orden de eliminar los datos almacenados en la micro-SD del nodo.
Voz	Acción interna de la aplicación para la utilización de síntesis de voz, es una ayuda extra que nos permite escuchar el valor y comandos ejecutados.

Fuente: El autor.

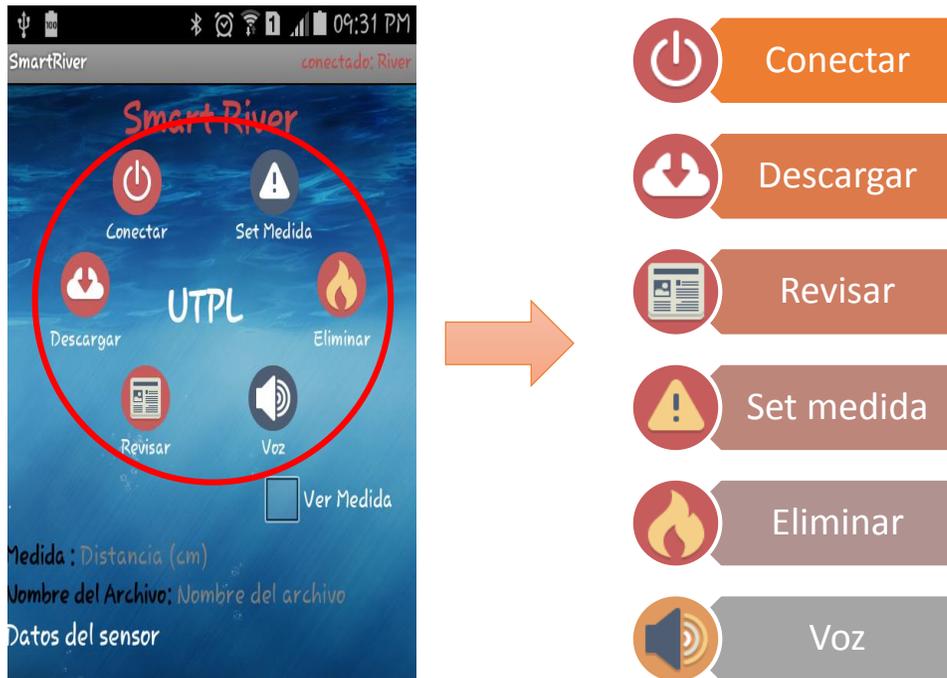


Figura 4. 5. Comandos de la aplicación.

Fuente: El autor.

Para el desarrollo de la aplicación se consideraron que aspectos importante como: distancia entre el nodo y el *smartphone*, tiempo de transferencia de la data, cantidad máxima de

muestras para el almacenamiento en la memoria del *smartphone*, acciones que se desea que realice el nodo, versión mínima de S.O. Android del dispositivo móvil.

De acuerdo a las especificaciones que presenta el modulo bluetooth utilizado (HC-05) detallado en el capítulo 3 la distancia máxima que el *smartphone* debe estar al nodo será de 10 metros (con línea de vista directa), en lo que respecta al tiempo de descarga de la data estaría determinado por la cantidad de muestras a transmitir, mientras mayor sea el número de muestras alojadas en la micro-SD del nodo mayor será el tiempo de espera para la descarga completa debido a que la transferencia es serial a una velocidad de transmisión de 115200 bps.

Es importante mencionar que las acciones presentes en la tabla 4.2 fueron determinadas específicamente para este nodo, por lo cual para una conexión con otros nodos necesitaremos una modificación en el código para escanear los futuros nodos. Adicionalmente a las acciones ya descritas la App “*Smart Rivers*” cuenta con una opción denominada “*ver medida*” la cual nos permite ver en tiempo real el valor o la medida que está obteniendo el nodo en ese instante.

La aplicación fue desarrollada con la API 16, correrá en dispositivos móviles con versión de Android 4.1 o superior, para las pruebas de funcionamiento de la aplicación se utilizó los dispositivos *Samsung Galaxy S4 mini duos* y en la tablet *Samsung Galaxy TAB 4*.

4.3.1 Diagrama de flujo de la aplicación en Android.

Antes de presentar la secuencia lógica de la App *Smart Rivers* presentamos el diagrama de la secuencia lógica de un *Actividad* en Android, ya que todo *Actividad* posee los mismos métodos para iniciar, pausar, detener y destruir la aplicación, el mismo que se indica en la figura 4.6 [67], [68].

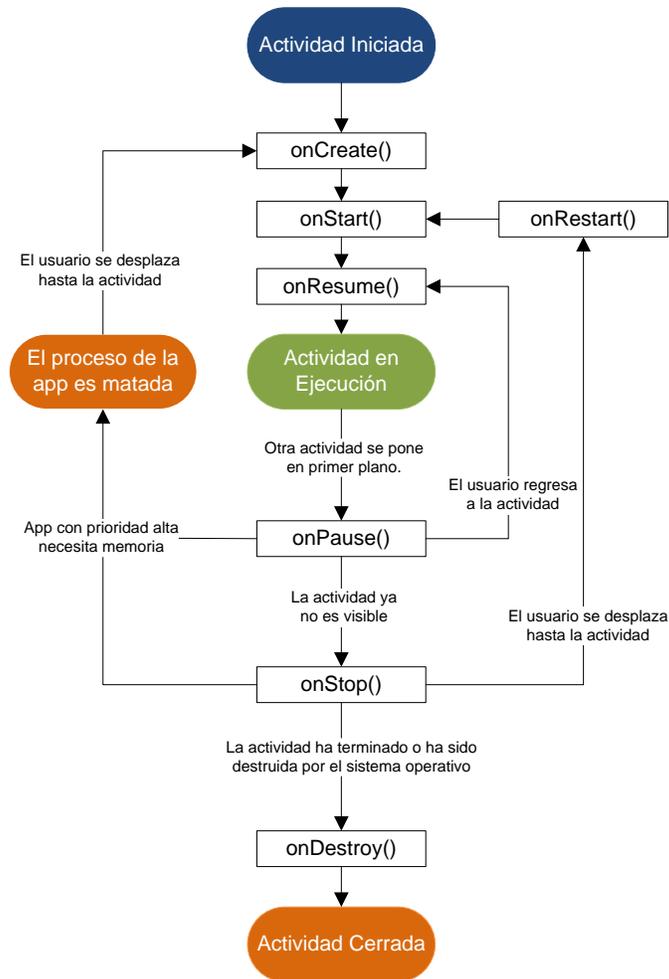


Figura 4. 6. Flujograma de la actividad de la aplicación.
Fuente: El autor basada en [68].

A partir del diagrama de flujo de una *Actividad* presentamos el flujograma de la secuencia lógica que sigue la aplicación (ver figura 4.7). Previamente, antes de todo para que exista una interacción con el nodo debemos establecer una conexión bluetooth y así dará paso a la activación de las demás opciones, con la excepción de la opción *revisar*, esta opción está configurada para revisar los datos guardados en el dispositivo móvil aun cuando no estemos conectados al nodo. El algoritmo tanto del nodo como de la aplicación están diseñados de tal manera que hay un indicador para saber el inicio y el final de la transición, sea cual sea la opción que se elija.

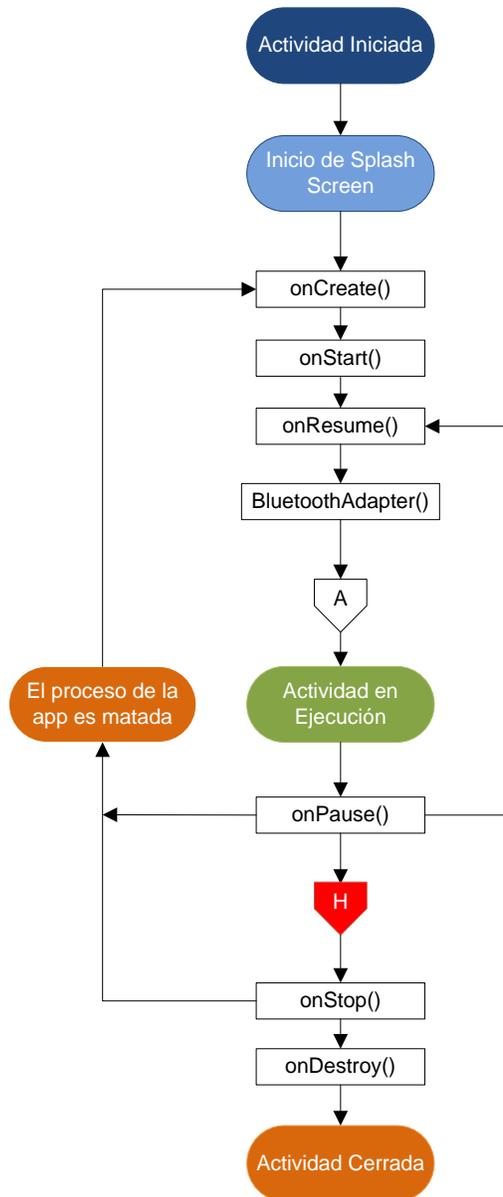


Figura 4. 7. Flujograma de App Smart Rivers.
Fuente: El autor.

A continuación se presenta más detalladamente cada uno de los estados de la aplicación. La figura 4.8 representa la secuencia lógica para determinar si el Bluetooth del dispositivo móvil está activado.

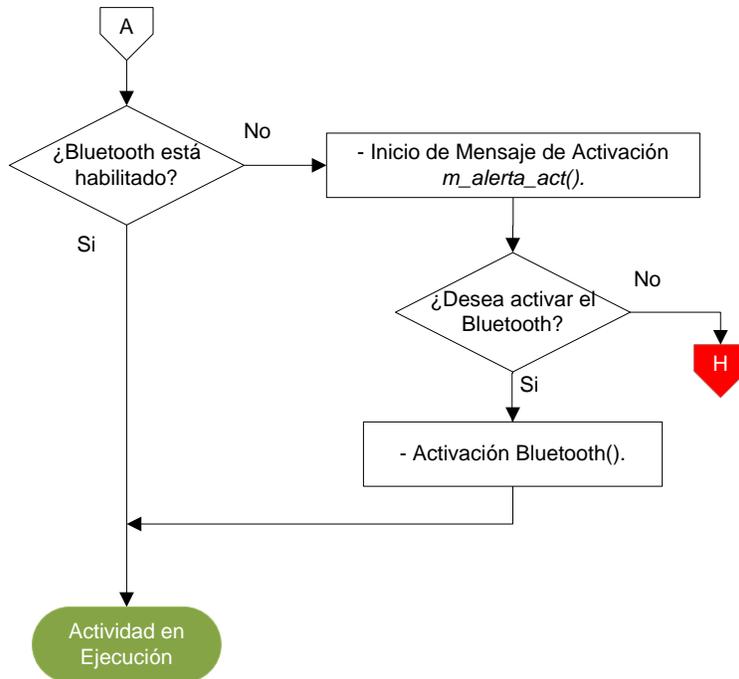


Figura 4. 8. Secuencia lógica para activación del Bluetooth.
Fuente: El autor.

Al tener éxito el proceso anterior da paso a la ejecución de la actividad principal donde se encuentran programadas las diferentes acciones que el usuario podrá realizar al nodo; la secuencia lógica de este proceso se presenta en la figura 4.9.

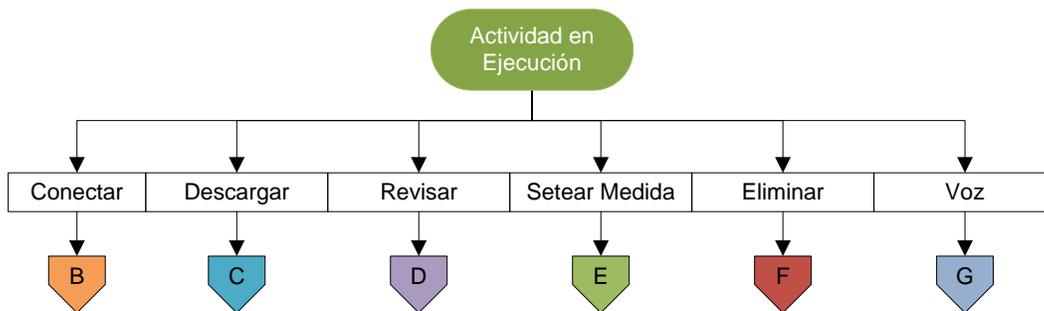


Figura 4. 9. Acciones que el usuario puede realizar.
Fuente: El autor.

La figura 4.10 presenta la secuencia lógica que realiza la aplicación para establecer una conexión Bluetooth. Al no establecer primero una conexión con el prototipo la única acción que el usuario podrá ejecutar será “Revisar”.

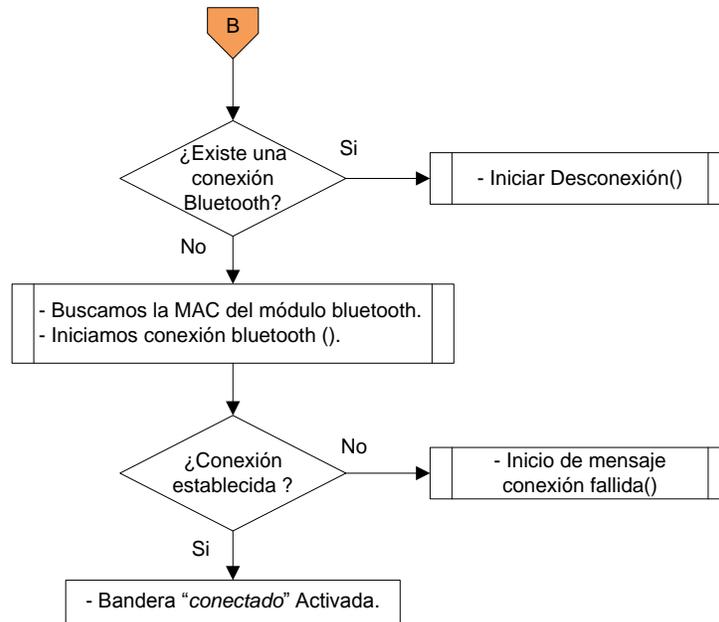


Figura 4. 10. Secuencia lógica para conectarnos al nodo mediante Bluetooth.
Fuente: El Autor.

Para que exista la transferencia de los datos se envía un código al nodo, éste interpreta el código y procede a enviar todos los datos almacenados en la micro-SD. Al finalizar la transferencia de datos el nodo envía el código de finalización al dispositivo móvil y se procede a guardar ésta data en la memoria del dispositivo móvil. La secuencia lógica de este proceso se encuentra en la figura 4.11.

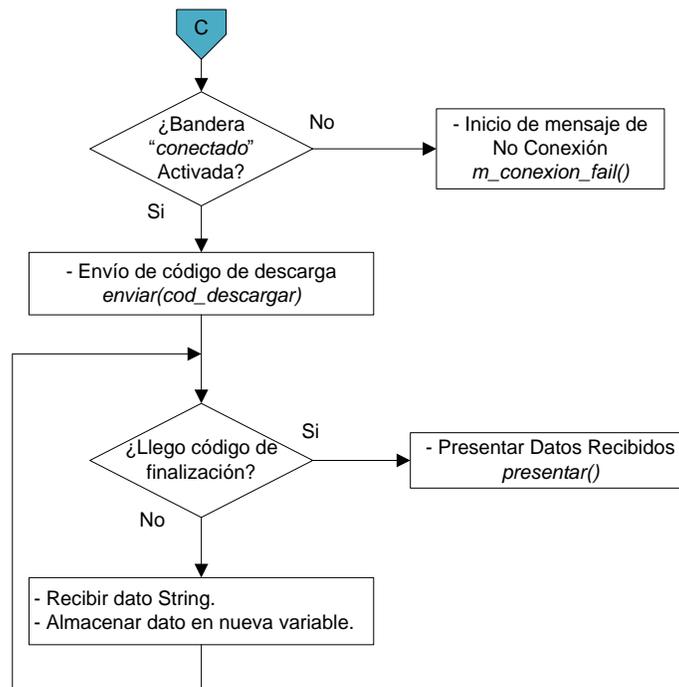


Figura 4. 11. Secuencia lógica de la actividad "descargar".
Fuente: El autor.

La actividad “*Revisar*” permite recuperar y visualizar los datos almacenados en la memoria del dispositivo móvil. Para la ejecución de ésta actividad no es necesario establecer una conexión con el nodo pero sí conocer el nombre del archivo que contiene los datos guardados. La secuencia lógica de este proceso se encuentra en la figura 4.12.

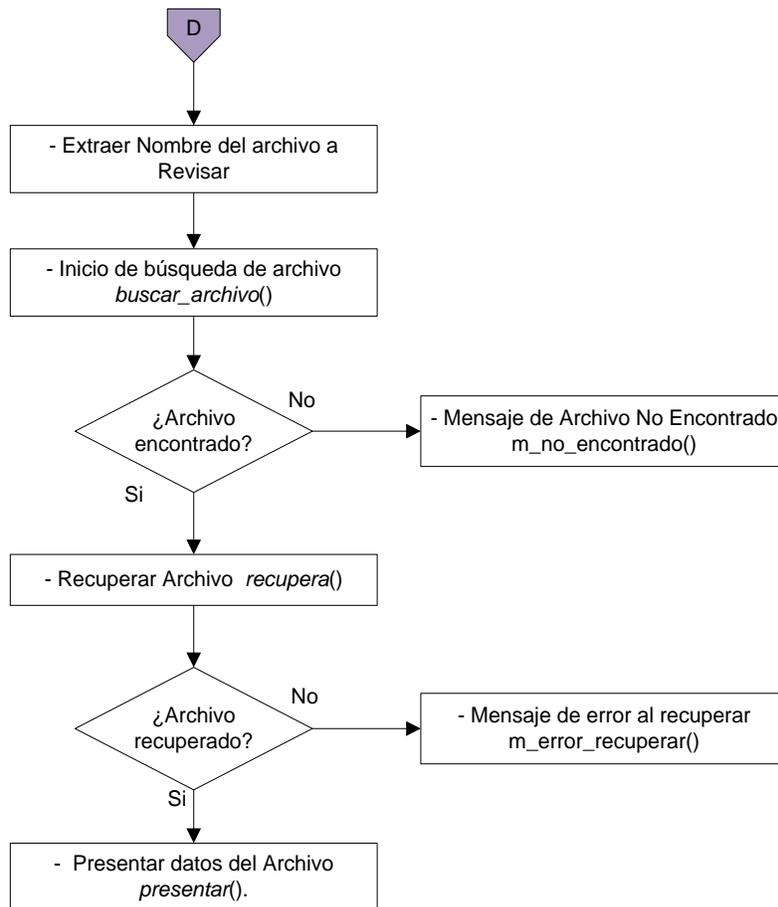


Figura 4. 12. Secuencia lógica de la actividad "revisar"
Fuente: El autor.

La actividad “*Setear Medida*” permite guardar el valor máximo de distancia entre el prototipo y la superficie de agua. Conocer ésta medida es importante para lograr un mayor nivel de precisión en la recolección de datos. La secuencia lógica de este proceso se encuentra en la figura 4.13.

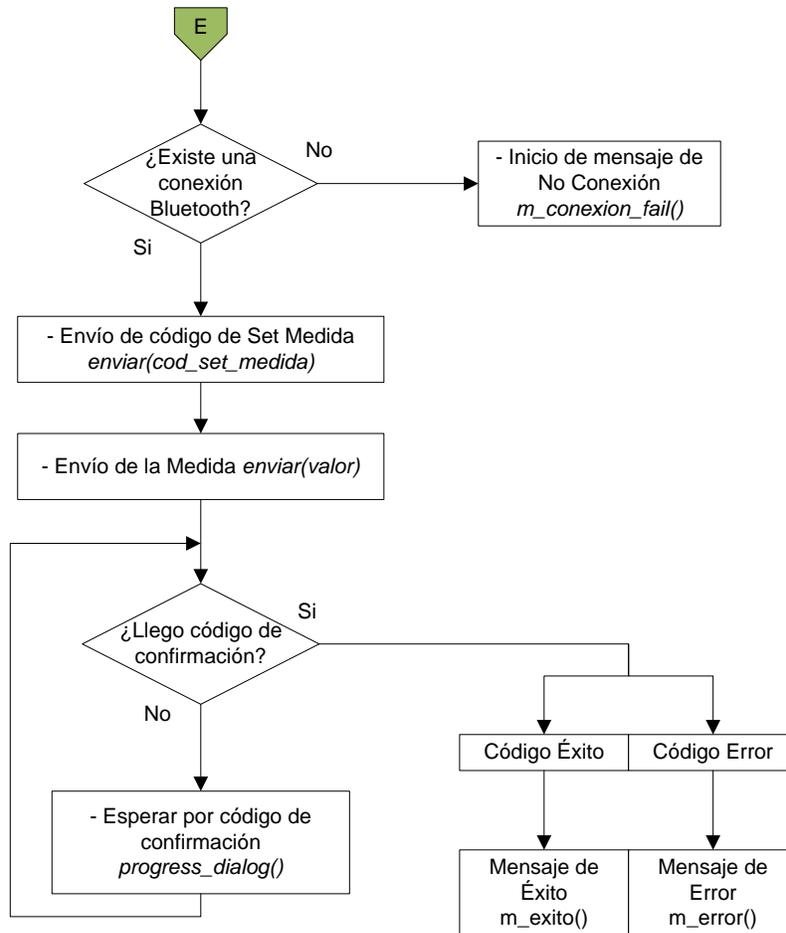


Figura 4. 13. Secuencia lógica de la actividad "setear medida".
Fuente: El autor.

Para la eliminación del registro de datos almacenados en la micro-SD del nodo lo realizamos con la activada “*Eliminar*”. La actividad envía un código al nodo, éste lo interpreta y responde con un código cuando finaliza todo el proceso de eliminación. Para habilitar ésta actividad debe existir una previa conexión entre el nodo y el dispositivo móvil. La secuencia lógica de este proceso se encuentra en la figura 4.14.

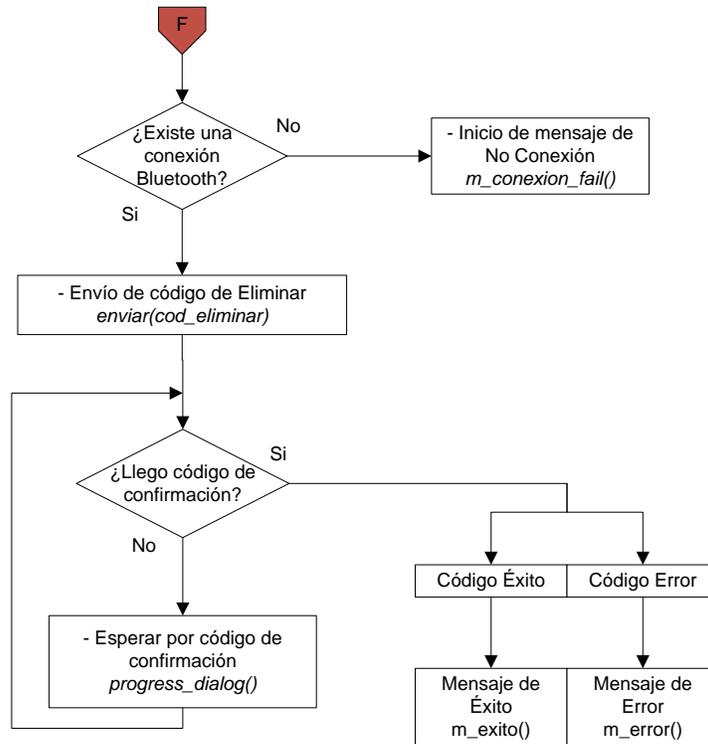


Figura 4. 14. Secuencia lógica de la actividad "eliminar".
Fuente: El autor.

En la figura 4.15 se observa la secuencia lógica de la actividad “voz” cuyo objetivo es utilizar síntesis de voz para dar mensajes de conexión y desconexión con el nodo, finalización de transferencia de los datos, recuperación y eliminación de los datos almacenados en nodo.

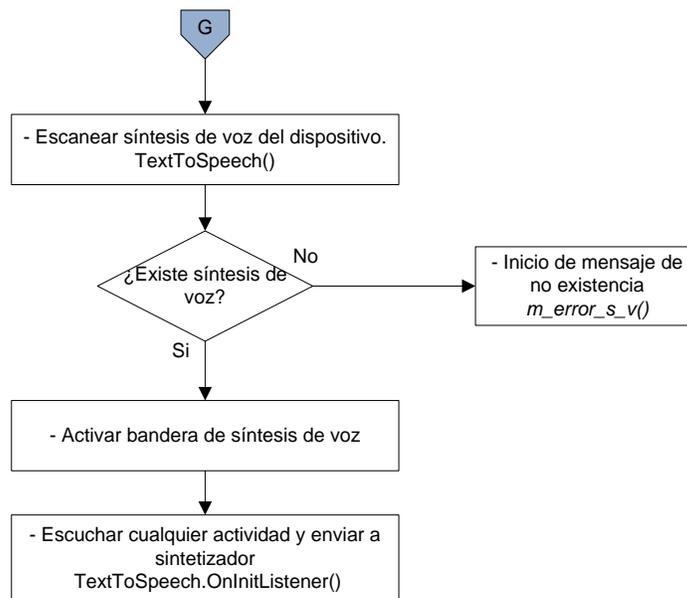


Figura 4. 15. Secuencia lógica de la actividad "voz".
Fuente: El autor.

4.4 Montaje de prototipo

En el presente apartado se describe el ensamblado del prototipo. Se diseñó una placa (shield) que integra tanto el RTC y el módulo bluetooth y va conectado en la parte superior izquierda del Arduino como se muestra en la figura 4.16.

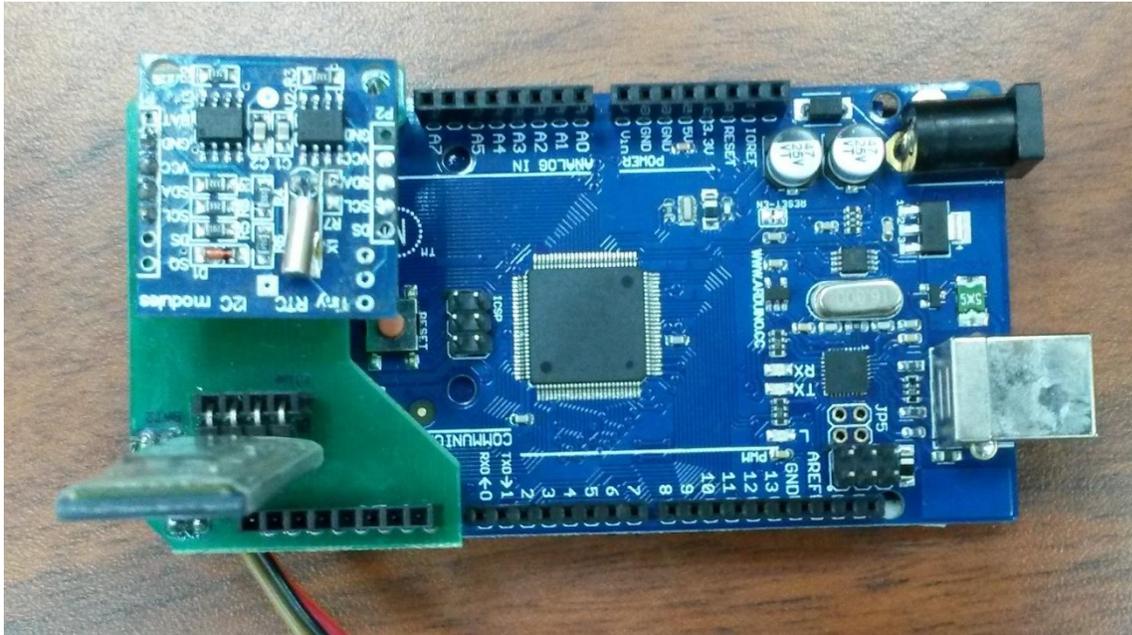


Figura 4. 16. Shield para Bluetooth y RTC.
Fuente: El autor.

En la figura 4.17 se muestra el ensamblado final del nodo donde están incluidos todos los módulos bluetooth, RTC, SD y WiFly. Conjuntamente está incorporado la batería con su respectivo cargador solar, cabe mencionar que todo este hardware está sujeta a una base de acrílico, esto se lo hace con el fin de evitar movimientos de toda la placa dentro de la caja.

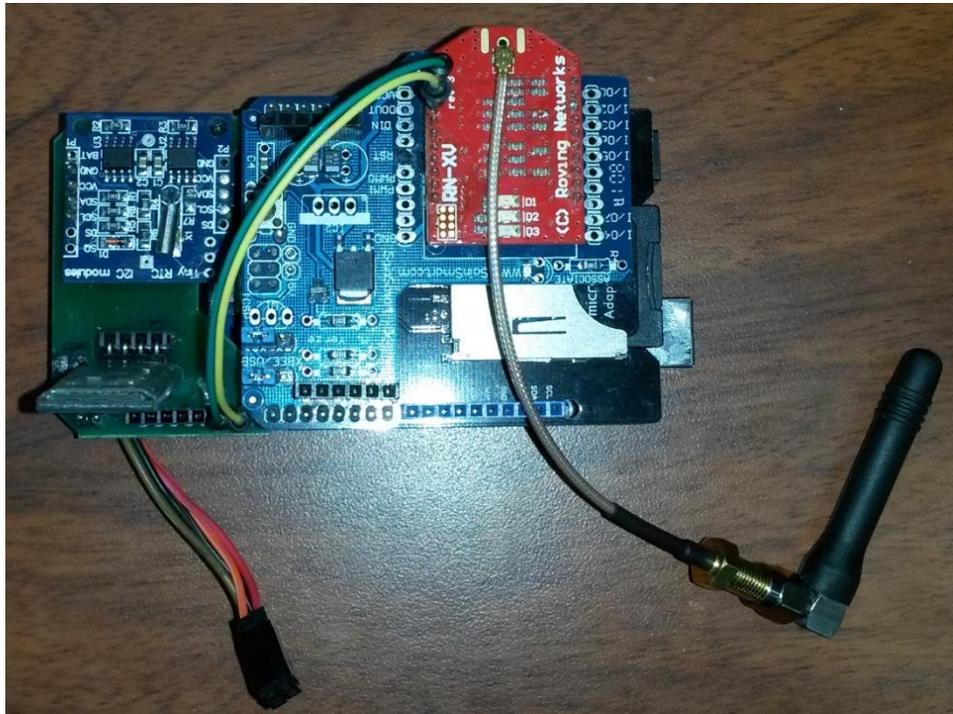


Figura 4. 17 Montaje prototipo de nodo.
Fuente: El autor.

Los equipos electrónicos utilizados para el desarrollo del nodo tienen que trabajar de una manera segura durante un largo período de tiempo y bajo condiciones ambientales adversas. Para evitar la presencia de polvo y agua se optó por utilizar una caja de protección IP65. Según la tabla 4.3, al contar con una protección IP65 tenemos una protección completa contra contacto, penetración de polvo y contra chorros de agua (desde todas las direcciones).

Tabla 4. 3. Clases de protección IP.

IP	N°. reconocimiento 1 para protección contra el contacto	IP	N°. reconocimiento 2 para protección contra el agua
0	sin protección contra el contacto, sin protección contra cuerpos extraños	0	sin protección contra agua
1	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >50mm	1	Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente
2	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >12mm	2	Protegido contra gotas de agua que caen inclinado (15° respecto de la vertical)
3	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >2,5mm	3	Protegido contra agua pulverizada (hasta 60° respecto de la vertical)
4	Protección contra cuerpos extraños con diámetro >1mm	4	Protegido contra agua pulverizada
5	Protección completa contra contacto, protección contra	5	Protegido contra los chorros de agua (desde todas las direcciones)

	sedimentaciones de polvos en el interior		
6	Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo	6	Protegido contra la penetración de agua en caso de invasión pasajera
7		7	Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo.
8		8	Protegido contra la penetración de agua sumergiéndolo por un período indefinido
9		9	Protegido contra la penetración de agua de todas direcciones también en caso de una presión alta contra el chasis. (limpiadora de alta presión o de chorro de vapor, 80-100 bar)

Fuente: Tomad de [69].

En la figura 4.18 observamos la caja de policarbonato IP65 empleada con las medidas y acondicionamientos necesarios para el nodo y el sistema de alimentación mediante el panel solar.



Figura 4. 18. Caja de policarbonato IP65.
Fuente: El autor.

4.5 Visualización de datos en servidor Ubidots.

Para la visualización de los resultados se usa plataformas *Middleware IoT* [70], específicamente Ubidots. La publicación de los datos desde el nodo hacia Ubidots lo realizamos mediante el módulo wifly descrito en el capítulo 3.5.2 (ver figura 4.19).



Figura 4. 19. Recolección y publicación de datos.

Fuente: El autor.

En la figura 4.20 se presenta la creación de la variable "Sonar" que almacenará los datos que son enviados desde el nodo, mientras que en la figura 4.21 se observa la gráfica que se crea a partir de los datos enviados.

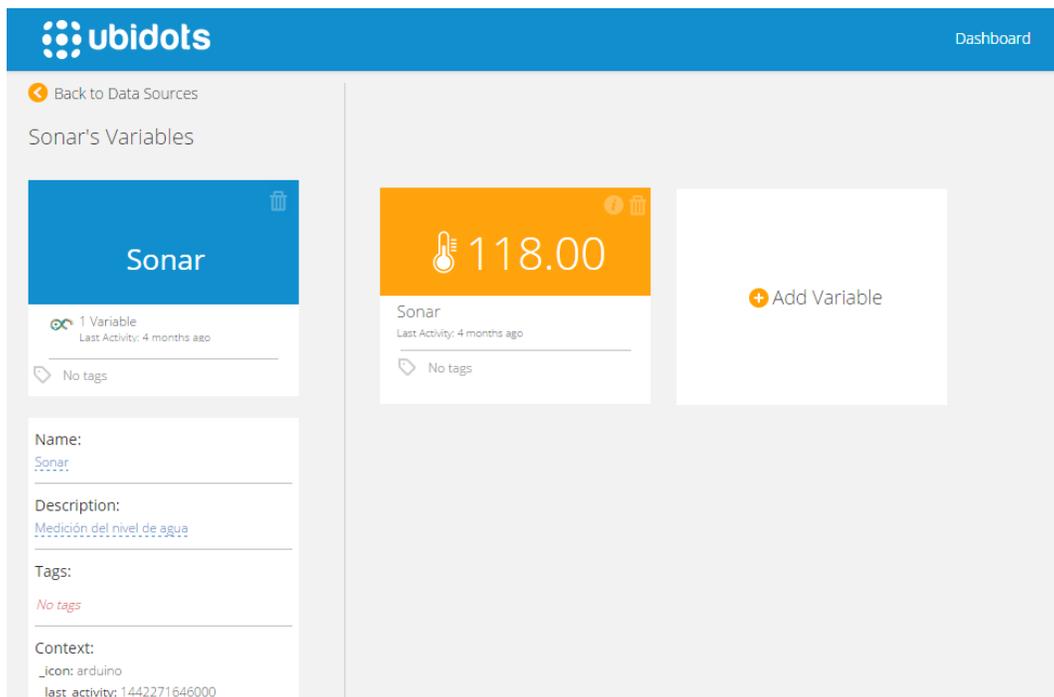


Figura 4. 20. Creación de la variable "Sonar".

Fuente: El autor.



Figura 4. 21. Publicación de los datos a Ubidots.
Fuente: El autor.

4.6 Visualización de datos en smartphone.

En el presente apartado se muestra los resultados de la comunicación entre el nodo y un smartphone. Se desarrolla una aplicación en Android para visualizar los datos que se encuentran almacenados en la memoria micro-SD del nodo. En la figura 4.22 se presenta la arquitectura empleada.

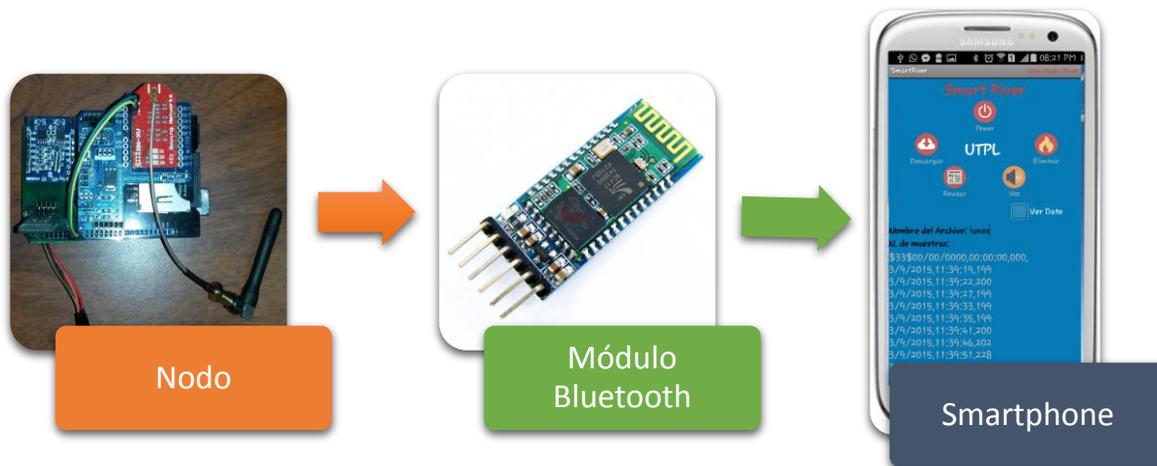


Figura 4. 22. Transmisión de datos al smartphone.
Fuente: El autor.

A continuación se presenta una serie de capturas de la aplicación corriendo en el smartphone S4 mini, en la figura 4.23 se observa como se activan los iconos de la aplicación cuando la conexión con el nodo se ha realizado con éxito.



Figura 4. 23. Conexión al nodo.
Fuente: El autor.

Mientras que en la figura 4.24 se indica como los datos que se encontraban en la micro-SD del nodo han sido transmitido con éxito y logramos visualizar en el smartphone para su posterior guardado.



Figura 4. 24. Descargando datos del nodo.
Fuente: El autor.

Para determinar el error de transmisión de datos del nodo hacia el smartphone comparamos los datos que se encuentran almacenados en la micro-SD del nodo, con los datos almacenados en el smartphone al finalizar la transmisión (ver figura 4.25), obtenido resultados menores al 1% (ver tabla 4.4).

Tabla 4. 4. Tasa de error de transmisión.

Item	Cantidad
Número de Datos Transmitidos:	100
Número de Datos Recibidos:	99
% de Error	0,01

Fuente: El autor.

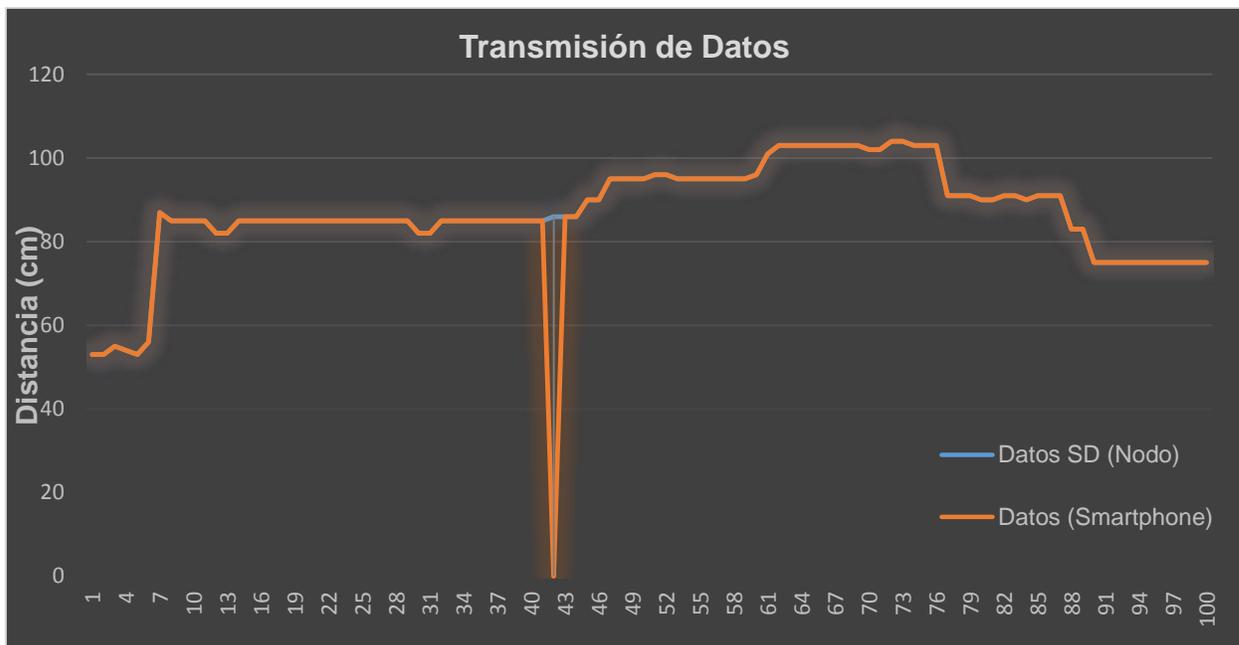


Figura 4. 25. Gráfica comparativa de los datos transmitidos.

Fuente: El autor.

4.7 Consumo energético del prototipo.

Como es de esperarse la limitación en todo proyecto es la vida útil del dispositivo, por ello es importante una gestión eficiente del consumo energético y un sistema de recarga del mismo, conociendo que en el nodo el consumo energético total está dado por el consumo de energía del sensor, la comunicación y el procesado, se debe utilizar una batería que abastezca a todo el sistema e igualmente su sistema de recarga debe ser idóneo para la batería a utilizar.

Un suministro de energía apropiado debe ser capaz de alimentar al nodo durante horas, meses e inclusive años, dependiendo de la aplicación. Como ejemplos de sistemas de

energía que se incorporan en los nodos encontramos sistemas autónomos (generalmente baterías), combinado con alguna fuente de recarga (paneles solares) o energía auxiliar. Estas estrategias de recarga dan buen resultado en operaciones donde no es posible llevar a cabo un reemplazo de la batería.

Para determinar la correcta elección de la batería que se debe utilizar para el nodo es necesario conocer cuánto consume nuestro dispositivo, para lo cual hemos hecho pruebas y ayudados del multímetro digital KEYSIGHT 3446 y el software propietario BenchVue Keysight (Agilent) se determina cuánto consume el nodo con todos los módulos incorporados.

Para determinar el consumo total del nodo se realizó mediciones por módulo y una medida final con todos los elementos incorporados. En la tabla 4.5 se muestra el consumo total del nodo y así mismo de cada uno de los módulos mientras que en la figura 4.26 notamos el porcentaje que implica cada una de estas mediciones. En la tabla 4.6 se presenta el consumo total de energía del nodo en una hora y en un día, considerando que el nodo funcionará las 24 horas del día.

Tabla 4. 5. Consumo en mA de cada módulo.

Dispositivo	mA
Módulo Wifly	46,213
Módulo Bluetooth	18,839
Módulo SD	12,788
Módulo RTC	0,912
Sensor	1,788
Arduino Mega	29,602
Total	110,142

Fuente: El autor.

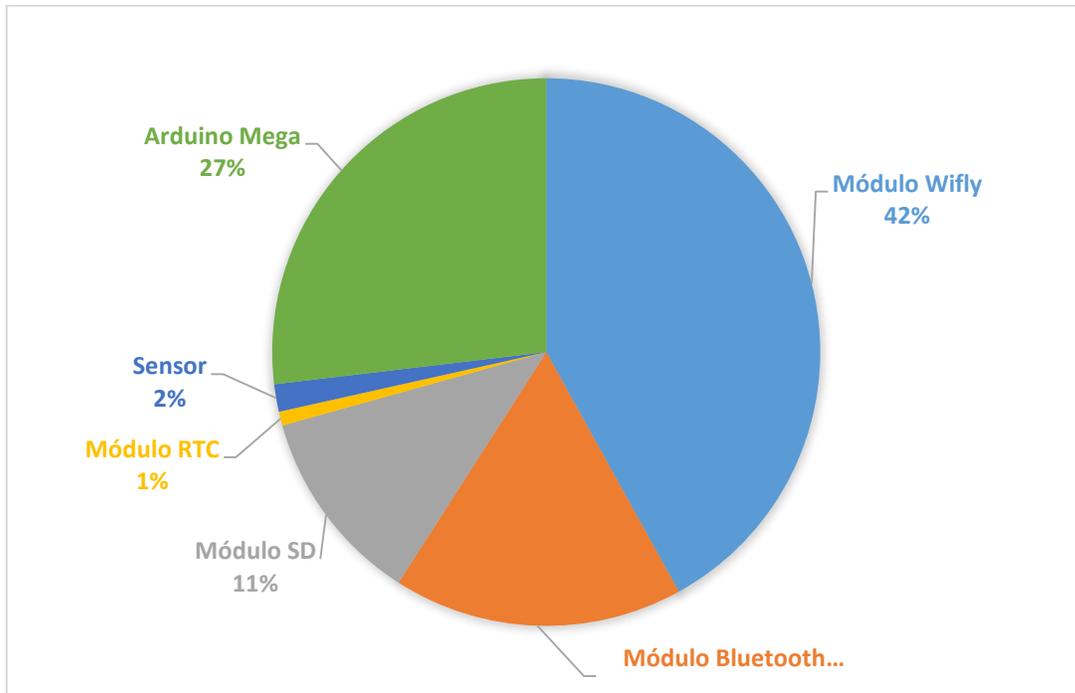


Figura 4. 26. Porcentaje del consumo total del nodo.
Fuente: El autor.

Tabla 4. 6. Requerimiento diario de potencia del nodo.

Ítem	Medida	Unidad
Consumo (nodo)	110,14	mAh
Consumo en una hora	407,54	mWh
Consumo en el día	9,781	Wh/día

Fuente: El autor.

El cálculo del consumo diario de potencia (E_d) se lo realizó mediante la ecuación Ec. 2, considerando la carga conectada del nodo y la eficiencia del regulador del arduino que en este caso es del 95%.

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

E_d , consumo diario de potencia del prototipo (Wh/día).

P_d , requerimiento diario de potencia de los dispositivos a alimentar (Wh/día).

η_{reg} , eficiencia del regulador (%).

$$E_d = \frac{9,78 \text{ Wh/día}}{0.95}$$

$$E_d = 10,29 \text{ Wh/día}$$

Teniendo en cuenta que el consumo del nodo 0.4075 Wh, podemos determinar la batería que utilizaremos para nuestro sistema. Para este nodo se utilizó una batería polímero de litio de 6000 mAh ver figura 4.27, el cual es un paquete de 3 baterías recargables con tecnología polímero ion litio, cada una de las celdas es de 2000 mAh, un voltaje de salida de 3.7V y una potencia de 7.4 Wh (ver tabla 4.7).



Figura 4. 27. Batería polímero de litio 6000mAh de 3,7V.
Fuente: tomada de [71].

Tabla 4. 7. Características de la batería del nodo.

Ítem	Medida	Unidad
Voltaje Nominal	3.7	V
Capacidad Nominal	6000	mAh
Potencia (1 celda)	7400	mWh
Potencia (3 celdas)	22200	mWh

Fuente: tomada de [71].

Basándonos en los datos que presenta la batería (ver tabla 4.7), determinamos que el consumo total y por ende la autonomía del nodo llegaría a ser de dos días y seis horas, lo cual implica la utilización de un sistema de alimentación alterno para cargar dichas baterías.

4.7.1 Dimensionamiento del panel solar.

Para el dimensionamiento correcto de los paneles solares y la capacidad necesaria de estos, tomamos como referencia dos parámetros importantes como es el consumo diario de potencia del prototipo (Wh/día) y la irradiación global diaria del lugar (kWh/m²/d). Cabe mencionar que el dimensionamiento descrito en este trabajo está basado en las referencias [72] [73].

Para poder obtener la irradiación global del lugar de interés se utilizó recursos web del Data Center de la NASA en el área de Meteorología y Energía Solar [74], donde ingresamos las coordenadas latitud y longitud de la ciudad de Loja, estos datos los podemos observar en la figura 4.28.

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal
	°C	%	kWh/m ² /d
January	22.4	62.3%	4.83
February	22.0	69.1%	4.80
March	22.1	69.2%	5.19
April	22.6	62.7%	4.88
May	22.5	55.8%	4.65
June	21.9	51.2%	4.60
July	21.8	44.7%	4.65
August	22.6	41.1%	4.93
September	23.3	42.4%	5.18
October	23.3	46.6%	4.95
November	22.8	52.3%	5.26
December	22.5	59.0%	5.07
Annual	22.5	54.7%	4.92
Measured at (m)			

Figura 4. 28. Irradiación solar global en la ciudad de Loja.
Fuente: Tomada de [74].

Para determinar la inclinación del panel solar se necesita dos ángulos (α , β); para optimizar el cálculo de la inclinación del panel α se lo iguala a 0, en general los paneles solares deben estar orientados a la línea ecuatorial [72]. Para conocer las horas pico solar (HPS) en el lugar de interés (Loja), hay que tener en cuenta el ángulo inclinación del panel (ver Tabla 4.10). A continuación se muestra todos los parámetros utilizados y calculados para el dimensionamiento del panel solar, estos datos los observamos en la tabla 4.8, tabla 4.9, y tabla 4.11.

Tabla 4. 8. Parámetros para el cálculo del panel solar.

Parámetros	Unidad	Valor
Constantes Solar (L_{cs})	W/m ²	1367,000
Día central del mes (d_n)	D	15,000
Corrección Excentricidad orbita (E_o)		1,319
Latitud	°	-3,990
Longitud (φ)	°	-79,200
Angulo diario (Γ)	Rad	0,240
Declinación Solar (δ)		-0,371

Angulo de salida del sol (ω_s)	Rad	1,598
Irradiación solar extra terrestre sobre superficie horizontal (G_{0d})	kWh/m ² /d	13,355
Irradiación global sobre superficie horizontal (G_d)	kWh/m ² /d	5,070
Índice de transparencia atmosférica (K_d)		0,380
Irradiación difusa en la superficie horizontal (D_d)	kWh/m ² /d	2,475
Irradiación directa en superficie horizontal (I_d)	kWh/m ² /d	2,594
Factor de corrección geométrico ($R_b(\beta)$)		
Radiación directa en plano inclinado β ($I_d(\beta)$)	kWh/m ² /d	
Radiación difusa en plano inclinado β ($D_d(\beta)$)	kWh/m ² /d	
Radiación difusa en plano inclinado β ($G_d(\beta)$)	kWh/m ² /d	

Fuente: El autor basada en [72], [73].

Tabla 4. 9. Resultados del cálculo de la irradiación en el plano inclinado β .

Mes de Enero				
Ángulo(°)	$R_b(\beta)$	$I_d(\beta)$	$D_d(\beta)$	$G_d(\beta)$
10	1,0768	2,7933	0,9950	3,7883
20	1,1209	2,9077	1,0054	3,9131
30	1,1309	2,9337	0,9925	3,9262
40	1,1066	2,8706	0,9568	3,8274
50	1,0487	2,7203	0,8993	3,6195
60	0,9588	2,4873	0,8217	3,3090
70	0,8399	2,1787	0,7265	2,9053
80	0,6954	1,8040	0,6166	2,4206
90	0,5298	1,3744	0,4952	1,8696

Fuente: El autor.

Tabla 4. 10. Inclinación del panel solar.

Nodo	
E_T	E_T/G_d
10,29	2,7162
10,29	2,6297
10,29	2,6209
10,29	2,6885

10,29	2,8429
10,29	3,1097
10,29	3,5418
10,29	4,2511
10,29	5,5038

Fuente: El autor.

Tabla 4. 11. Resultados del dimensionamiento del panel solar.

Nodo Coordinador	
Número de Paneles(N_T)	0,967
Potencia(W)	3,200
Ángulo Inclinación ($^\circ$)	30,000
Hora pico solar(HPS)	3,920

Fuente: El autor.

Con los resultados obtenidos se determinó utilizar como fuente de recarga un panel solar de 5,2 W (ver figura 4.29) cumpliendo con los requerimientos presentados en la tabla 4.11, donde el mínimo requerido es de 3.2 W.



Figura 4. 29. Panel solar 5.2W.

Fuente: Tomada de [75].

Para finalizar la implementación el sistema de abastecimiento de energía, se necesita cargar la batería con el panel solar utilizando un regulador cargador solar MPPT (Maximum Power Point Tracking) para baterías litio (ver figura 4.30). Éste componente permite obtener eficientemente la energía del panel solar.



Figura 4. 30. Cargador solar MPPT.
Fuente: Tomada de [76].

4.8 Pruebas de funcionamiento.

4.8.1 Análisis del desempeño del prototipo en laboratorio.

Para la comprobación del correcto funcionamiento de todo el sistema se realizaron varias pruebas en el banco hidráulico del Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Geología, Minas, e, Ingeniería Civil de la UTP, ésta máquina puede simular el caudal de un río a menor escala, la colocación del nodo se lo puede observar en la figura 4.31, seguidamente observaremos las figuras de los datos proporcionado por el prototipo.



Figura 4. 31. Colocación del prototipo.
Fuente: El autor.

Para las pruebas de funcionamiento se debe mencionar que la distancia máxima en ésta prueba es de un metro (100 cm) debido a la distancia que existe entre sensor y la superficie de medida (agua), es decir que al incrementar el nivel de agua la distancia se reducirá. Para

una primera prueba se hizo un único incremento de 30 cm de líquido como se observa en la figura 4.32.

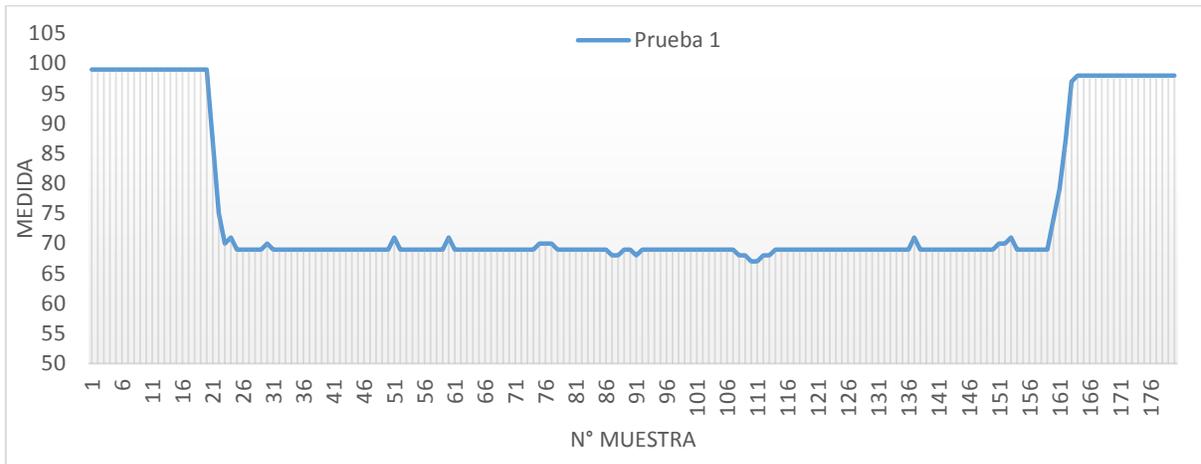


Figura 4. 32. Datos obtenidos de la primera prueba con el prototipo.
Fuente: El autor.

Para una segunda prueba se realizaron varios incrementos y decremento de líquido, se inició con un incremento de 2cm, 15cm, 35cm, 45cm y 25 cm como se visualiza en la figura 4.33, mediante los resultados obtenidos se destaca que el error que existe es de 1 a 2 cm máximos en la medición.



Figura 4. 33. Datos obtenidos de la segunda prueba con el prototipo.
Fuente: El autor.

4.8.2 Pruebas en entorno real río Zamora Huayco.

Para las pruebas en un entorno real se eligió el puente peatonal que se encuentra ubicado en la parte céntrica de la ciudad de Loja, cerca de la Unidad Educativa Fiscomisional “Daniel Álvarez Burneo”, la geolocalización y ubicación del nodo en el puente la observamos en la figura 4.34.

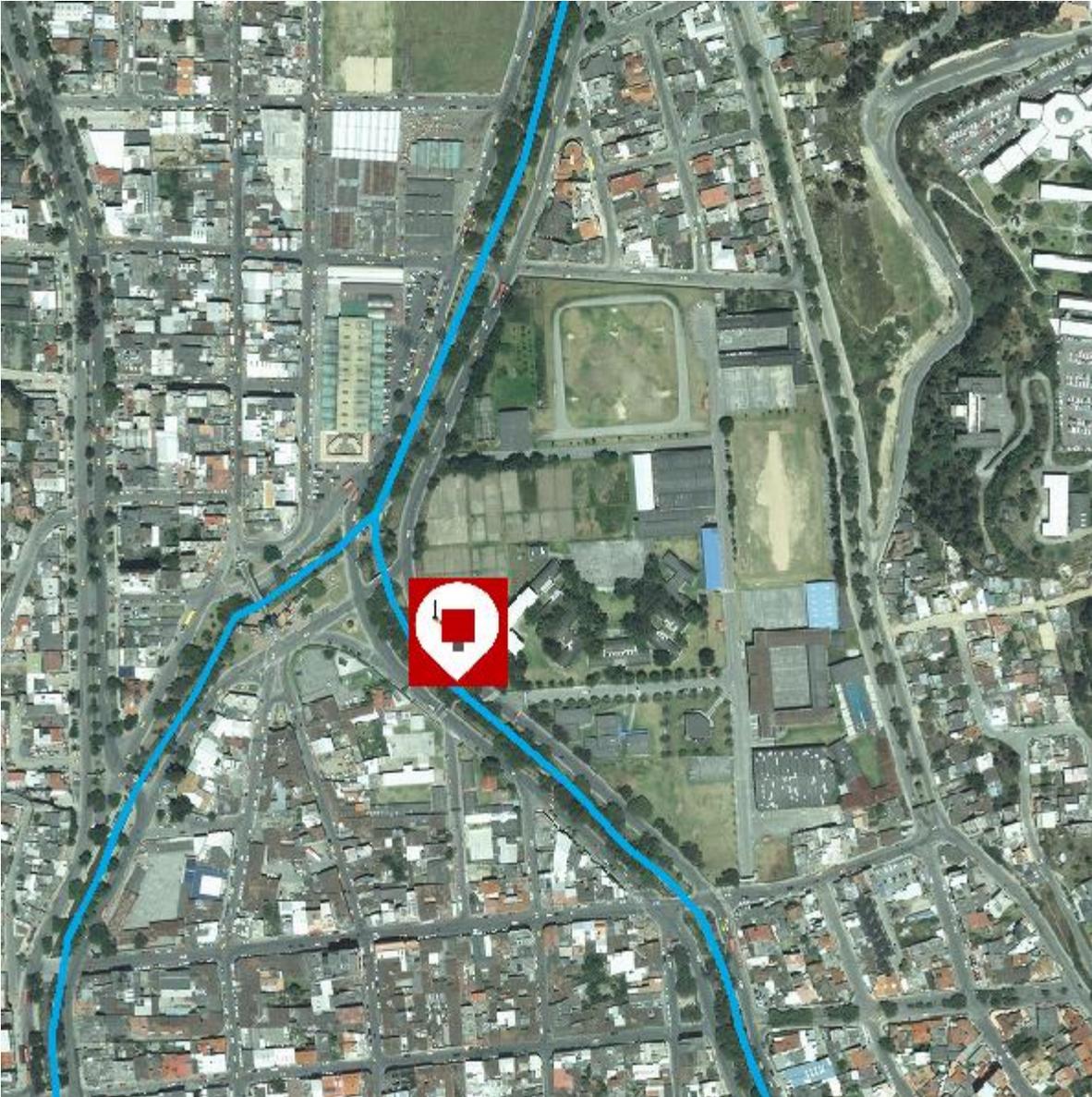


Figura 4. 34. Geolocalización del prototipo.
Fuente: El autor.

Cabe mencionar que para la colocación del nodo en el puente se elaboró una caja metálica con el fin de proteger el nodo mientras se realizan las pruebas, ya que es un puente peatonal y muy transcurrido por estudiantes y personas particulares (ver figura 4.35).



Figura 4. 35. Caja protectora del nodo
Fuente: El autor.

La selección del puente fue que es un punto en la ciudad donde han ocurrido varios desbordamientos del río, y por ende es punto a considerar en la ubicación de los futuros nodos en la ciudad. En la figura 4.36 observaremos la ubicación del nodo en la estructura metálica que posee el puente y la altura que existe.



Figura 4. 36. Puente peatonal escogido para la ubicación del nodo y recolección de datos.
Fuente: El autor.

Una vez colocado y asegurado el prototipo (ver figura 2.37) en el puente se procedió a tomar las muestras durante 2 días arrojando resultados como se muestra en la figura 4.38.



Figura 4. 37. Ubicación del prototipo en el puente del río Zamora Huayco.
Fuente: El autor

Como datos referenciales previos para la prueba tenemos que la altura del puente es aproximadamente 3 metros pero la distancia entre el nodo y la superficie de agua del río es 215 centímetros, la temperatura de la ciudad es de 17 °C y existe la presencia de una ligera

lluvia, por lo cual se espera un incremento ligero del nivel de agua en el río, en cuanto a consideraciones previas para el prototipo tenemos que el nodo solo almacenará los datos en la micro-SD, debido a que no existe una red para vincularse y postear los datos en el servidor.

En la figura 4.38 se observa los datos que almacenó el prototipo durante los 2 días de pruebas; notamos que a aproximadamente partir de las 19:43 hasta las 06:43 se registraron muestras cuyo valor indican un incremento en el nivel del agua. Así mismo mediante el registro de datos se determinó que el valor máximo registrado fue de 236 cm y el valor mínimo que se registro fue de 182 cm.

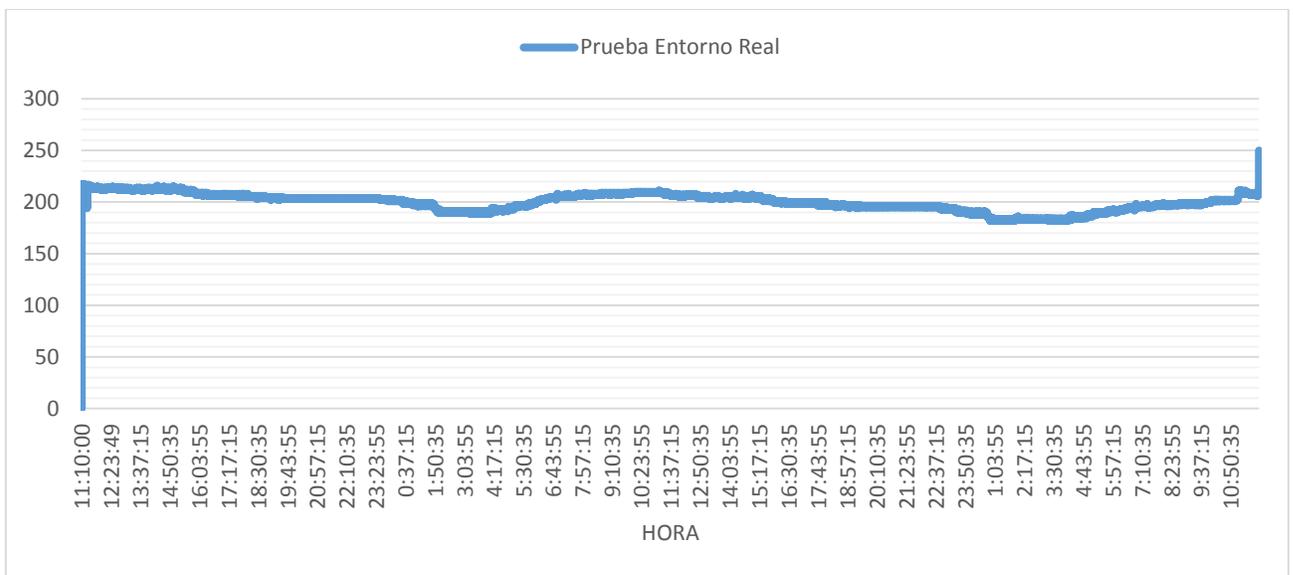


Figura 4. 38. Resultados obtenidos de las pruebas.
Fuente: El autor.

4.8.3 Pruebas en entorno real en depósito de agua en la UTPL.

Como parte del proceso de validación del funcionamiento del sensor se procedió a colocar el prototipo desarrollado en un depósito de agua ubicado en las instalaciones de la comunidad marista de UTPL (ver figura 4.39), cuyo objetivo fue monitorear el nivel de agua existente durante dos días para comprobar si existe algún tipo de fuga. Como datos preliminares tenemos que la altura total del tanque es aproximadamente 250 centímetros y la distancia entre el nodo y la superficie de agua es de 115 centímetros ésta medida la conseguimos con la ayuda de un flexómetro.

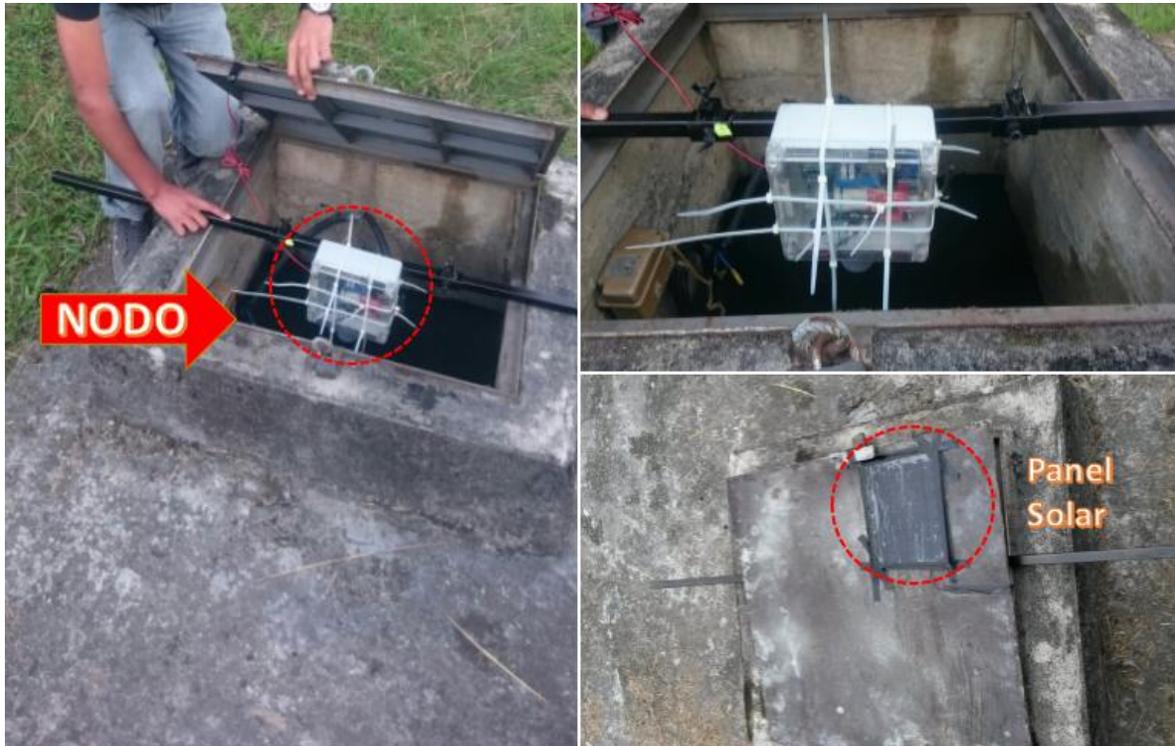


Figura 4. 39. Nodo instalado en el depósito de agua en la UTPL
Fuente: El autor.

En la figura 4.40 se presenta los resultados obtenidos por el nodo durante los 2 días de prueba, donde notamos que la variación entre la medida preliminar que se realiza de 115 cm y los datos arrojados es de 1 centímetro, lo cual indica que no existe una varianza significativa en el nivel de agua que de indicios de posibles fugas en el tanque.

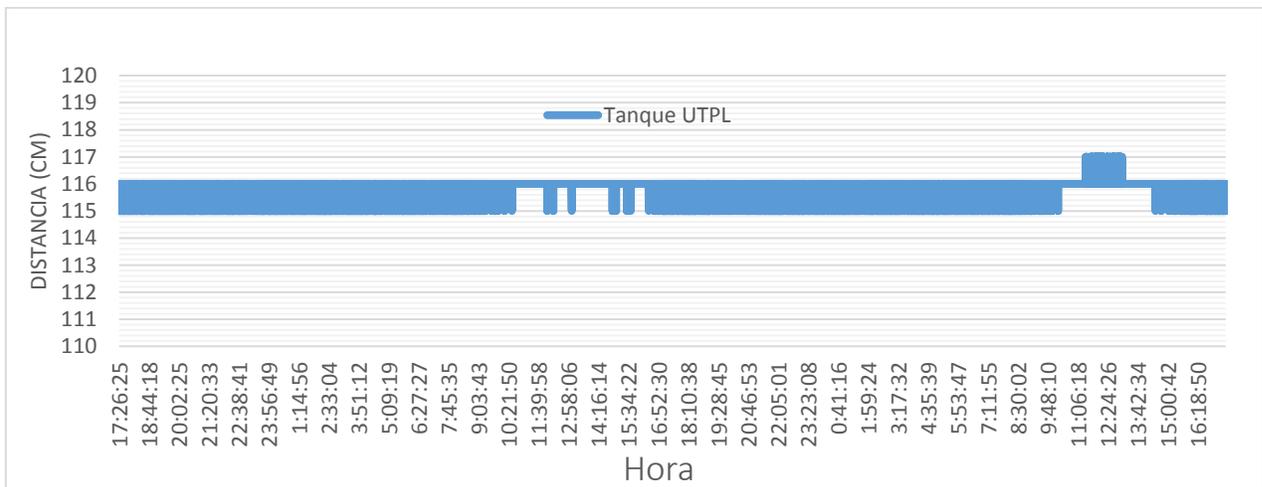


Figura 4. 40. Resultados obtenidos de las pruebas en el tanque.
Fuente: El autor.

4.9 Propuesta de ubicación de los nodos en la ciudad.

Para la propuesta de una futura ubicación de los nodos en la ciudad de Loja se tomó en consideración la tabla de “vulnerabilidad de elementos esenciales ante amenazas de inundación” presentado en el anexo A, donde se destacan las diferentes instituciones que tienen un alto grado de riesgo a inundarse. Conociendo que los ríos en la ciudad de Loja fluyen de Sur a Norte se cree conveniente tener colocados dos nodos en el comienzo del río dentro de la ciudad, es decir un nodo en cada río.

Uno de los criterios para la selección de los lugares a colocar los nodos es el número de ocurrencia de inundaciones que previamente ha ocurrido en años anteriores, como es el caso de lugares cerca al Unidad Educativa Fiscomisional “Daniel Álvarez Burneo”, el hospital del IESS y el hospital Isidro Ayora, teniendo así un total de 5 nodos como se puede ver en la figura 4.41.

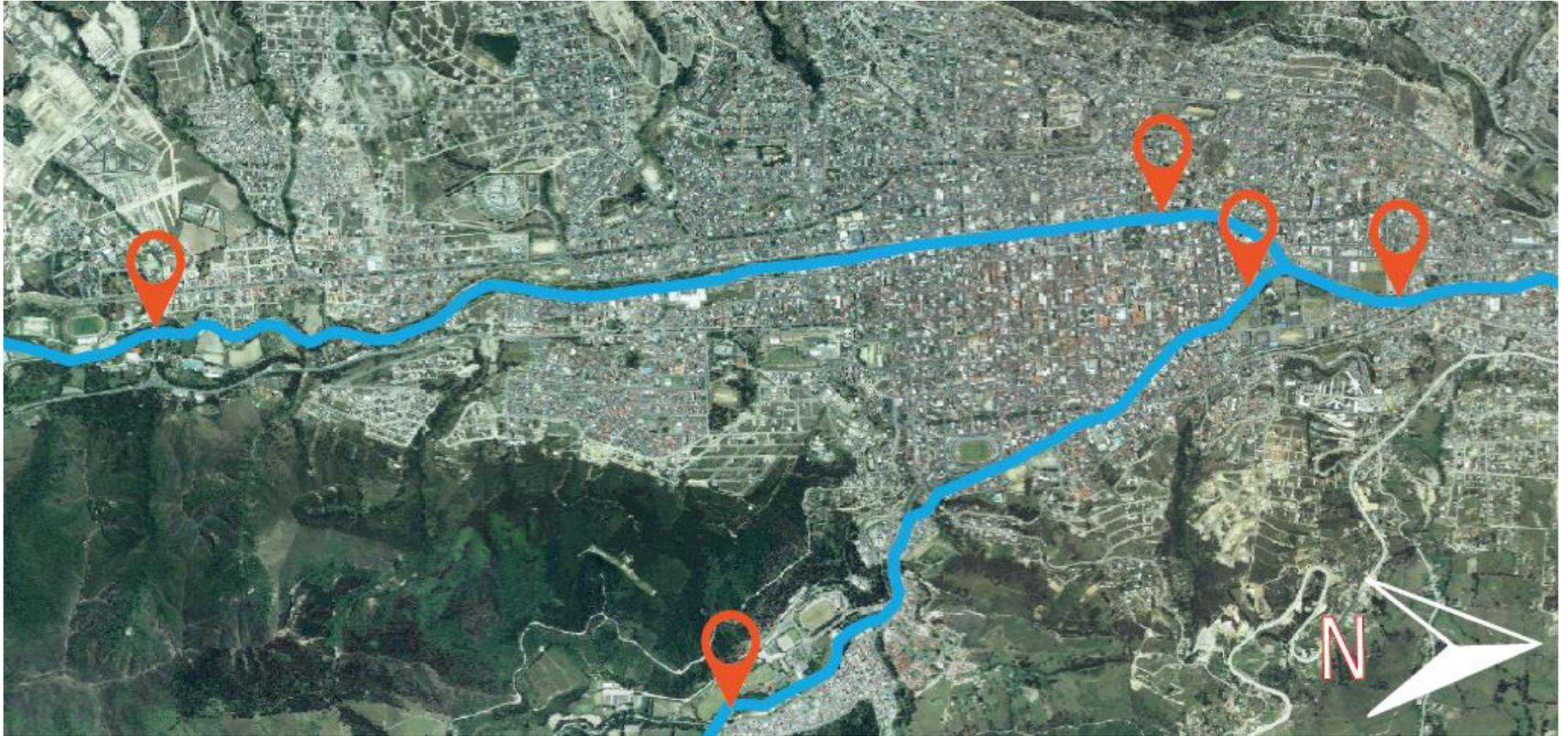


Figura 4. 41. Propuesta de colocación de los nodos.
Fuente: El autor.

A continuación se presenta imágenes de la propuesta de geo-posición para los nodos en diferentes lugares de la ciudad.

Tabla 4. 12. Ubicación de los nodos en la ciudad de Loja.

Nodo	Localización
Nodo 1	Inicio del río Zamora dentro de la zona urbana de la ciudad de Loja.
Nodo 2	Inicio del río Malacatos dentro de la zona urbana de la ciudad de Loja.
Nodo 3	Unidad Educativa Fiscomisional “Daniel Álvarez Burneo”
Nodo 4	Hospital Isidro Ayora
Nodo 5	Hospital del IESS.

Fuente: El autor.

En la figura 4.42 observamos la propuesta de ubicación del nodo 1 en el barrio Zamora Huayco.

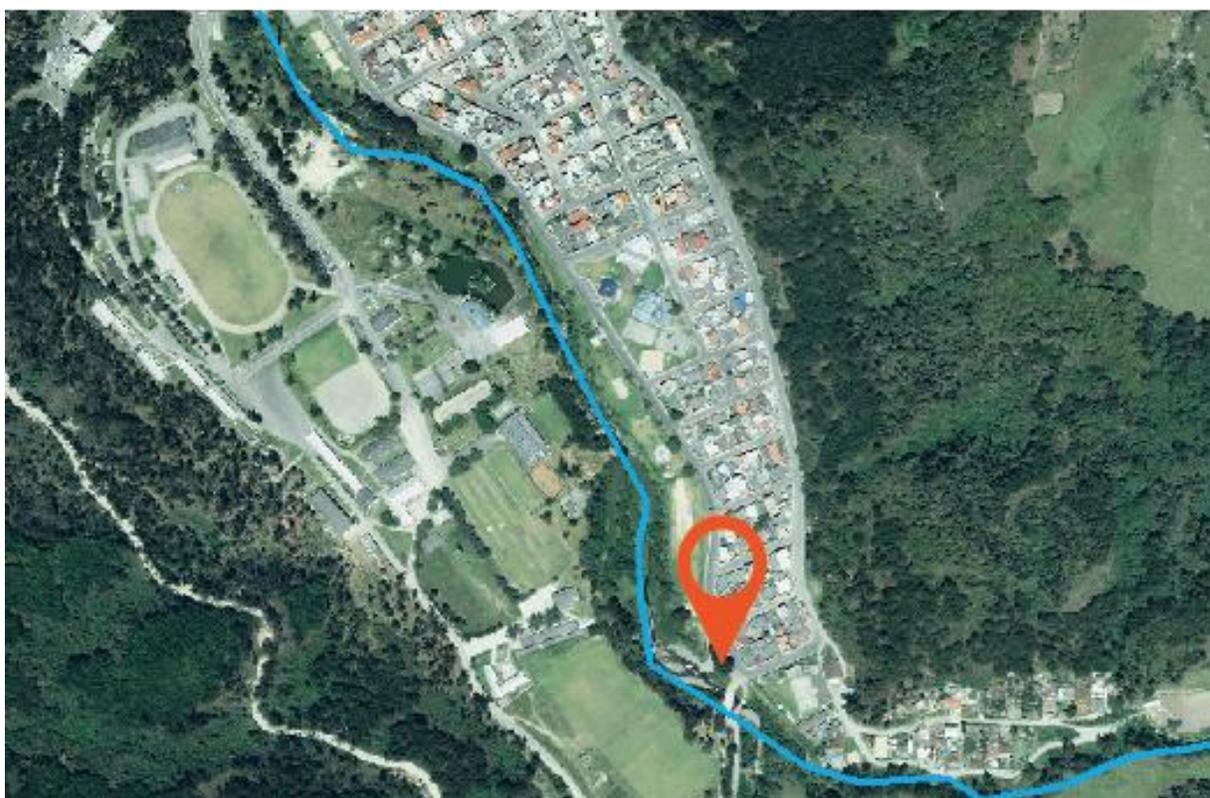


Figura 4. 42. Propuesta de ubicación del nodo 1.
Fuente: El autor.

En la figura 4.43 observamos la propuesta de ubicación del nodo 2 en el puente cerca de la Universidad Nacional de Loja.

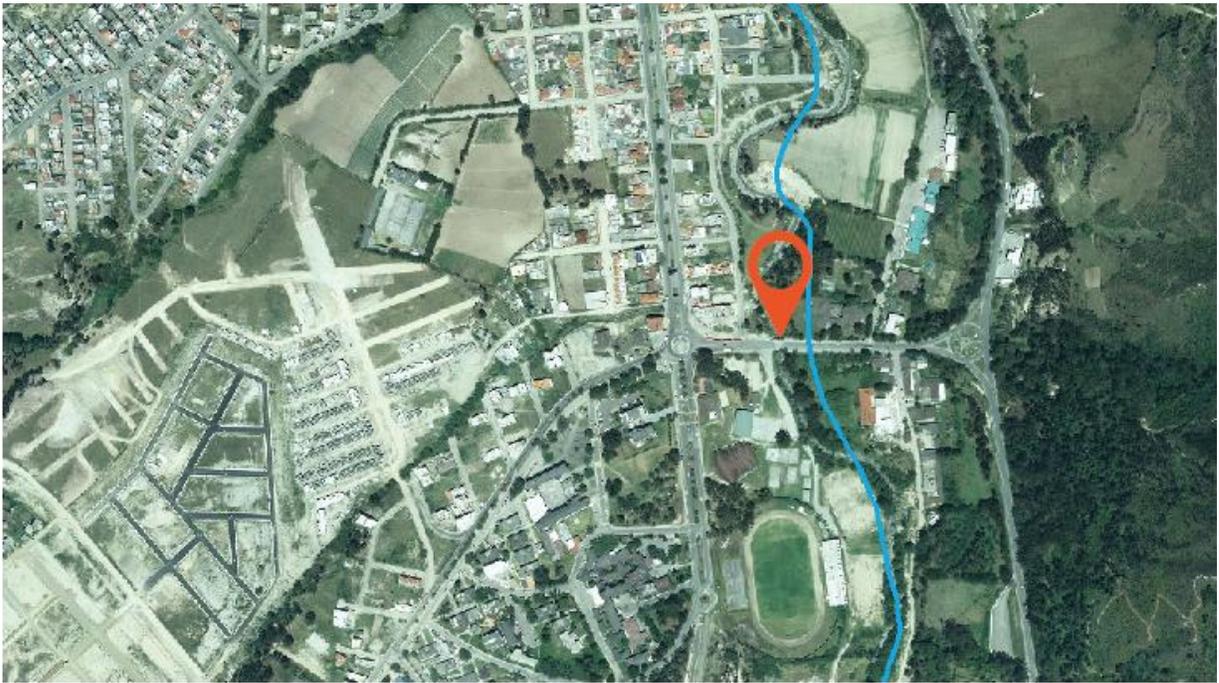


Figura 4. 43. Propuesta de ubicación del nodo 2.

Fuente: El autor.

En la figura 4.44 observamos la propuesta de ubicación del nodo 3 en el puente peatonal cerca a la Unidad Educativa Fiscomisional “Daniel Álvarez Burneo”.

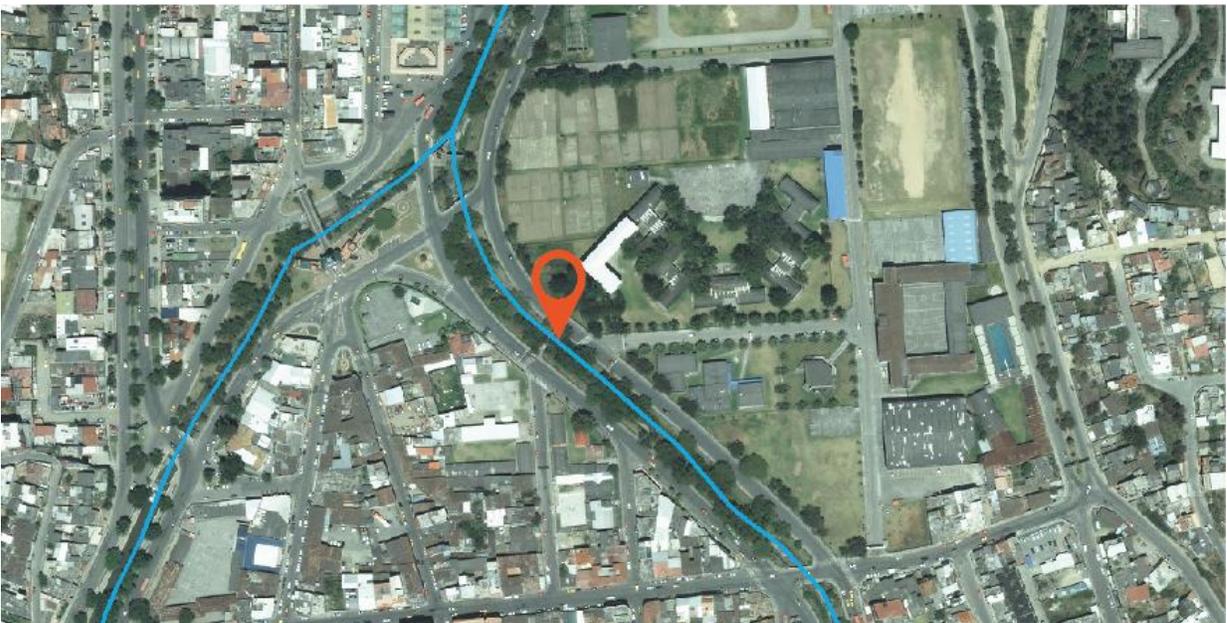


Figura 4. 44. Propuesta de ubicación del nodo 3.

Fuente: El autor.

En la figura 4.45 observamos la propuesta de ubicación del nodo 4 en el puente frente al hospital de Isidro Ayora.

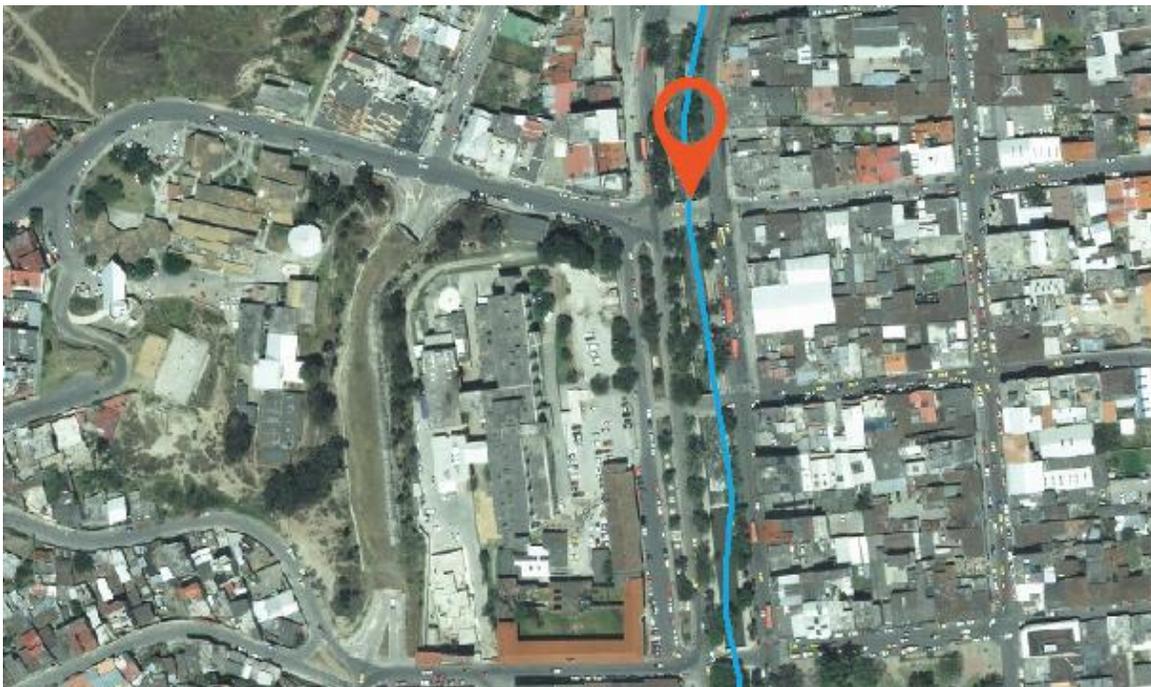


Figura 4. 45. Propuesta de ubicación del nodo 4.

Fuente: El autor.

En la figura 4.46 observamos la propuesta de ubicación del nodo 5 en el puente frente al hospital del IEES.



Figura 4. 46. Propuesta de ubicación del nodo 5.

Fuente: El autor.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un prototipo de sistema de medición y monitoreo del nivel de agua que opera autónomamente utilizando plataformas de hardware y software OpenSource. El prototipo incluye un sensor ultrasónico de nivel, un sistema de comunicación, un sistema de medición y adquisición de datos. Además cuenta con un sistema de alimentación fotovoltaico que brinda la autonomía energética para la ubicación del nodo en sitios remotos.
- Se utilizó un servidor middleware IoT (Ubidots) para la publicación de los datos obtenidos por el prototipo para su posterior análisis, la actualización de los datos en este servidor está determinado por el tiempo de publicación de datos del nodo.
- Se desarrolló un sistema de monitoreo capaz de almacenar la distancia entre el nodo y la superficie de agua del río en una micro-SD, incluyendo la fecha y hora que se realizó la medida. Actualmente el número de muestras mínimo por minuto es de seis, es decir una muestra cada diez segundos siendo este tiempo modificable dependiendo de los requerimientos o el lugar en donde se ubique el nodo.
- Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el prototipo en el laboratorio y en un entorno real presentados en el capítulo 4.8, indican que el sistema de monitoreo desarrollado es altamente confiable permitiendo hacer medidas con una precisión de 99.1%.
- En base a las mediciones del consumo energético presentadas en el capítulo 4.7 se concluye que el tiempo máximo que el prototipo puede mantener en funcionamiento todos sus módulos de forma independiente es de un máximo de 2 días, teniendo como fuente de alimentación una batería de 3.7 V y 6000 mAh. Conjuntamente a este sistema se integra un panel solar de 5.2W para cargar la batería cuya finalidad es dar autonomía energética al nodo.
- Para la interacción entre el prototipo y el usuario se desarrolló una aplicación capaz de funcionar en dispositivos móviles Android denominada “*Smart Rivers*”, ésta aplicación funciona en dispositivos móviles con versiones de Android 4.1 o superior y para pruebas de funcionamiento se utilizó los dispositivos *Samsung Galaxy S4 mini duos* y la tablet *Samsung Galaxy TAB 4*.
- Las pruebas realizadas a la aplicación “*Smart Rivers*” para la descarga de la data y la interacción con el nodo, indican que su efectividad es del 99,9%, permitiendo al usuario, establecer una conexión con el nodo, descargar y eliminar los datos almacenados, setear la altura máxima donde está ubicado el nodo y visualizar la

medida que está obteniendo en ese preciso instante, utilizando tecnología Bluetooth.

- Este prototipo puede ser usado para el monitoreo de depósitos de almacenamiento y distribución de agua, obteniendo un registro de datos confiable cuya variación máxima registrada de las pruebas realizadas es de 2 centímetros.
- Se presenta una propuesta de ubicación de los nodos en los diferentes puntos de la ciudad de Loja en el capítulo 4.9, basados en un estudio preliminar de las vulnerabilidades que presenta la ciudad de Loja, específicamente analizando la vulnerabilidad ante una inundación, para la propuesta de ubicación se considera principalmente la vulnerabilidad de elementos esenciales de la ciudad presentado en el anexo A.

RECOMENDACIONES

- A partir de los datos obtenidos por los nodos y su respectivo análisis, se recomienda desarrollar un sistema de alarma de prevención para la ciudadanía principalmente en los sitios de alto riesgo de inundación en la ciudad, cuando estos datos lleguen a un margen de alarma pre establecido con anterioridad.
- Para el mejoramiento del prototipo en lo que respecta a la comunicación bluetooth se recomienda cambiar el módulo bluetooth v.2.0 que posee actualmente el nodo por un módulo con versión de bluetooth v.4.0, con la finalidad de mejorar el tiempo de descarga de la información y reducir significativamente el consumo de energía por parte de este módulo.
- Para la implementación de los nodos en diferentes puntos de la ciudad de Loja se recomienda añadir un módulo GPRS al prototipo desarrollado, como una tecnología alternativa para postear los datos en el servidor IoT, se elige GPRS pues solo se necesita una red celular.
- Mediante las pruebas realizadas en laboratorio y en un entorno real, se recomienda agregar en el código un proceso para enviar una alerta cuando exista una variación brusca de nivel de agua. Éste proceso se lo trabajaría como una interrupción cuando se requiera obtener datos en intervalos largos de tiempo.
- Pensando a futuro en la implementación de varios de estos prototipos en diferentes puntos de la ciudad se recomienda agregar una opción en la aplicación “Smart Rivers” para buscar más dispositivos bluetooth, con el fin de descargar la información de los diferentes nodos implementados.
- Actualmente el sistema de carga de la batería cuenta con un cargador para baterías de una sola celda y en nuestro caso estamos utilizando una batería de tres celdas, por lo cual es recomendable mejorar este mecanismo de carga cambiando este cargador.
- Si se desea hacer un producto comercial se recomienda diseñar una sola placa que incorpore todos los módulos embebidos a utilizar, en este proyecto se realizó una placa para los módulos bluetooth y el RTC, si se incrementa el módulo GPRS propuesto esta placa tendría que ser modificada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Galo Alexander Guama Jaramillo, «Aplicación de sig para el manejo de riesgos naturales en el área urbano de la ciudad de loja,» Quito, 2012.
- [2] «Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres,» [En línea]. Available: http://www.eird.org/perfiles-paises/perfiles/index.php/Socios_en_acci%C3%B3n#Sistema_de_Monitoreo_orientado_hacia_Impactos_.28SMOI.29_-_GTZ_-_CAPRADE.2FPREDECAN. [Último acceso: 17 11 2015].
- [3] Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, Cayirci, «Wireless sensor networks: a survey.,» *Comput. Netw.*, 2002.
- [4] MOTTOLA, Luca and PRIETO Picco Gian., «Programming wireless sensor networks: Fundamental concepts and state of the art.,» *ACM JournalName*, V.
- [5] J Yick, B Mukherjee, D Ghosal., «Wireless sensor network survey.,» *Comput. Netw.*, 52(12), 2008.
- [6] Municipio de Loja, «UBICACIÓN GEOGRÁFICA,» [En línea]. Available: <https://www.loja.gob.ec/contenido/ubicacion-geografica>. [Último acceso: 13 09 2015].
- [7] Municipio de Loja, Universidad Nacional de Loja, «Vulnerabilidad a nivel municipal del cantón Loja,» Enero- 2013..
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Fascículo provincial Loja,» p. 8, 2010.
- [9] GEO Loja, «Perspectivas del Medio Ambiente Urbano,» Loja, 2005, p. 44.
- [10] Municipio de Loja, «PLAN PARTICIPATIVO DE FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA Y DESARROLLO DEL CANTON LOJA,» Loja.
- [11] Andrea Cecilia Salas Flores, Marta Magdalena Chávez Cortés and Binnqüist Cervantes Gilberto Sven., «Vulnerabilidad biofísica y riesgo ante inundaciones en la subcuenca río Atoyac-Oaxaca de Juárez,» de *20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México.*, Cuernavaca, Morelos del 17 al 20 de noviembre., 2015.
- [12] «EVALUACIÓN DE RIESGOS,» *Sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento frente a desastres naturales*, pp. 40-41.
- [13] Universidad Nacional de Loja, «Vulnerabilidad de elementos esenciales ante amenaza de inundación.,» Loja, 2012.
- [14] «Componentes de un nodo WSN,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>. [Último acceso: 18 10 2015].

- [15] MARCEL SALVIONI DA SILVA, «REDES DE SENSORES SEM FIO DE BAXIO CUSTO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL.,» Campinas, 2013.
- [16] Niels Aakvaag, Jan-Erik Frey , «Redes de Sensores Inalámbricos,» *Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial*, pp. 39-40.
- [17] «Tecnologías para un entorno domótico,» [En línea]. Available: <http://www.innovation-labs.com>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [18] M. Soledad Escobar Díaz, «WIRELESS SENSOR NETWORKS».
- [19] Pascual Martínez Pérez, «Sistema de Alarma de incendios basada en red de sensores,» p. 17, Junio 2012.
- [20] Sebastián Román Maroto, «Aplicaciones WSN,» de *Desarrollo de Aplicaciones basadas en WSN*, Valencia, 2010, p. 39.
- [21] BURRELL, J., BROOKE, T. and BECKWITH,R, «Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production.,» *IEEE Pervasive Computing*, p. 3.
- [22] • Sheth, A., Tejaswi, K., Mehta, P., Parekh, C., Bansal, R., Merchant, S., Singh, T., Desai, U., Thekkath, C. and Toyama, K., «SenSlide - A sensor network based landslide prediction system,» San Diego, California, USA.
- [23] LYNCH, J. and LOH, K, «A summary review of wireless sensorsand sensor networks for structural health monitoring.,» *The Shock and Vibration Digest* , vol. 38, nº 2.
- [24] Arnoldo Díaz-Ramírez, Luis A. Tafoya, Jorge A. Atempa and Pedro Mejía-Alvarez, «Wireless Sensor Networks and Fusion Information Methods for Forest Fire Detection,» de *The 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science*, México, 2012.
- [25] Min Gao, Qian Zhang, Lionel Ni, Yunhuai Liu and Xiaoxi Tang, «CardioSentinal: A 24-hour Heart Care and Monitoring System,» *Journal of Computing Science and Engineering*, vol. 6, nº 1, pp. 67-68, 2012.
- [26] Ramón Pallás Areny, «Transductores, sensores y actuadores,» de *Sensores y acondicionadores de señal*, Barcelona, España, 2003, pp. 2-3.
- [27] Layne, K, de *Manual de electronica y electricidad automotrices*, Mexico : prentice-hall hispanoamericana, p. 115.
- [28] Thomas, B., Albert, F., Sorin, F. and Alexander, F., «Sistema de medición sin contacto para uso industrial,» *Balluff Sensor Worldwide*.
- [29] Rudiger Paschotta, «Enciclopedia de láser física y tecnología,» [En línea]. Available: https://www.rp-photonics.com/distance_measurements_with_lasers.html. [Último acceso: 11 11 2015].

- [30] Luis Antonio Orta Méndez, «Telemetría Láser,» La Laguna, España, 2015.
- [31] By G. S. N. Raju, Radar Engineering and Fundamentals of Navigational, Visakhapatnam, India, 2008.
- [32] Merrill I. Skolnik, «An Introduction to Radar,» de *Radar Handbook*, pp. 1-2.
- [33] Rosemount Inc., «Medidor de nivel por radar,» *TankRadar*, vol. 3, pp. 5-8, 2007.
- [34] Robótica, «Sensor de Ultrasonidos,» [En línea]. Available: <http://wiki.robotica.webs.upv.es/wiki-de-robotica/sensores/sensores-proximidad/sensor-de-ultrasonidos/>. [Último acceso: 27 10 2015].
- [35] Navarro, D., Ríos, L. and Parra, H., «Sensores de ultrasonido usados en robótica móvil para la medición de distancias,» *Scientia et Technica*, vol. 2, nº 25, pp. 35-36, 2004.
- [36] Enrique Mandado Pérez y Antonio Murillo Roldan, «Sensores y acondicionadores: Sensores de Ultrasonido,» p. 12.
- [37] Libelium, «Wireless Sensor Networks with Waspote & Meshlium,» [En línea]. Available: http://www.libelium.com/downloads/documentation/wsn-waspote_and_meshlium_eng.pdf. [Último acceso: 26 12 2015].
- [38] Libelium, «Waspote Smart Water platform,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-monitor-water-quality-leakages-wastes-in-rivers-lakes-sea/>. [Último acceso: 23 12 2015].
- [39] Libelium, «Smart Water,» *Waspote*, pp. 4-5, 2015.
- [40] Arduino, «“Arduino”,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [41] Arduino, «Arduino: Tecnología,» [En línea]. Available: <http://arduinodhtics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>. [Último acceso: 18 10 2015].
- [42] RASPBERRY, «What is a Raspberry Pi,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>. [Último acceso: 14 01 2016].
- [43] BBVA, «Do it Yourself al Internet de las Cosas,» [En línea]. Available: <http://www.bbvaopen4u.com/es/actualidad/mejores-alternativas-arduino-del-do-it-yourself-al-internet-de-las-cosas>. [Último acceso: 14 01 2016].
- [44] Nanode, «NANODE OPEN SOURCE,» [En línea]. Available: <http://www.nanode.eu/what-is-nanode/>. [Último acceso: 07 03 2016].

- [45] «BEAGLEBONE,» [En línea]. Available: <http://beagleboard.org/bone>. [Último acceso: 07 03 2016].
- [46] INEC, «Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC´S),» 2013. [En línea]. Available: www.ecuadorencifras.gob.ec. [Último acceso: 14 10 2015].
- [47] Vipul A. Shah, Birla Vishvakarma and Vallabh Vidyanagar, «Android in WSN Applications,» *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, p. 365, 2013.
- [48] Yamamoto H, Minomi S, Nakamura K., «Development Of Arkas Sensor Platform And Application For Heavy Snowfall Observation,» de *Proc. of the IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet (SAINT)*, July 2012.
- [49] J.S. Oyola, C.A. Arredondo y G. Gordillo, «Desarrollo de Prototipo de Sistema de Monitoreo en Tiempo Real del Nivel de Agua en Ríos Usando Instrumentación Virtual,» Colombia, 2008.
- [50] Philipp Maria Glatz, , «Designing Perpetual Energy Harvesting Systems explained with RiverMote: A Wireless Sensor Network Platform for River Monitoring,» Austria, 2010.
- [51] NexSens Technology, «Stream & River Monitoring,» [En línea]. Available: <http://www.nexsens.com/systems/stream-river-monitoring>. [Último acceso: 22 1 2016].
- [52] Fondriest Environmental, «River monitoring,» vol. 1, pp. 2-3-6.
- [53] Arduino, «Arduino Mega,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>. [Último acceso: 1 11 2015].
- [54] «Código abierto. "Hardware abierto" y tipos de licencia,» [En línea]. Available: <http://recursos.cepindalo.es/mod/book/view.php?id=2886&chapterid=1271>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [55] Arduino, «So you want to make an Arduino.,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Policy>. [Último acceso: 6 1 2016].
- [56] MaxBotix, «MB7366 – HRX – MaxSonar - WRL,» [En línea]. Available: http://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB7364.htm. [Último acceso: 18 11 2015].
- [57] James W., William F. and Kenneth G., «Data logging systems,» de *Instrumentation for engineering measurements*, p. 108.
- [58] «Data Loggers,» [En línea]. Available: https://www.ni.com/data_logger/esa/. [Último acceso: 6 1 2016].

- [59] Seeedstudio, «SD Card Shield V4.0,» [En línea]. Available: http://www.seeedstudio.com/wiki/SD_Card_shield_V4.0. [Último acceso: 18 11 2015].
- [60] Smart Prototyping, «Tiny RTC I2C, Real Time Clock module 24C32,» [En línea]. Available: <http://smart-prototyping.com/Arduino-Tiny-RTC-I2C-real-time-clock-module-24C32-storage-DS1307.html>. [Último acceso: 18 11 2015].
- [61] Abascal, Maria Jesús Martínez, «Open Technologies for Prototyping the Internet of things,» Septiembre 2013. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/22441/1/PFC_MARIA_JESUS_MARTINEZ_ABASCAL.pdf. [Último acceso: 29 11 2015].
- [62] IBM, «Internet de las Cosas.,» [En línea]. Available: <http://www-01.ibm.com/software/es/info/internet-of-things/>. [Último acceso: 29 11 2015].
- [63] Ubidots, «Internet de las Cosas con Ubidots,» [En línea]. Available: http://ubidots.com/docs/es/get_started/introduccion.html. [Último acceso: 29 11 2015].
- [64] Itead Studio, HC-05, Bluetooth to Serial Port Module DATASHEET, 2010.
- [65] Roving newtworks , «RN-XV Data Sheet, RN-XV-DS v0.3,» [En línea]. Available: <https://www.rovingnetworks.com>. [Último acceso: 11 11 2015].
- [66] Developers, «Android Studio Overview,» [En línea]. Available: <http://developer.android.com/intl/es/tools/studio/index.html>. [Último acceso: 15 11 2015].
- [67] Android Developer, «Ciclo de vida de una Actividad,» [En línea]. Available: <http://developer.android.com/intl/es/reference/android/app/Activity.html>. [Último acceso: 9 1 2016].
- [68] Android Developers, «Developer,» [En línea]. Available: <http://developer.android.com/intl/es/guide/components/activities.html>. [Último acceso: 4 1 2016].
- [69] Rein Medical, «Clases de Protección IP: Protección contra el contacto y la penetración de agua y suciedad.,» [En línea]. Available: <http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html>. [Último acceso: 20 12 2016].
- [70] «Introducing IoT Scenarios,» [En línea]. Available: <http://iot.ieee.org/iot-scenarios.html?prp=12>. [Último acceso: 11 01 2016].
- [71] Sparkfun, «Polymer Lithium Ion Battery – 2000mAh,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/8483>. [Último acceso: 18 11 2015].

- [72] Viñas, Lluís Prat, «DIMENSIONADO DE SISTEMAS,» Universitat Politècnica de Catalunya Departamento de Ingeniería Electrónica, Barcelona, España, 2015.
- [73] Jorge Aguilera, Leocadio Hontoria, «Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos,» DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, Andalucía, España, 2015.
- [74] Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D, «NASA Surface meteorology and Solar Energy,» NASA, [En línea]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-3.987667&lon=-79.196763&submit=Submit>. [Último acceso: 25 Enero 2016].
- [75] Sparkfun, «Solar Cell Huge – 5.2W,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/9241>. [Último acceso: 18 11 2015].
- [76] Sparkfun, «SparkFun Sunny Buddy – MPPT Solar Charger,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/12885>. [Último acceso: 18 11 2015].
- [77] Libelium, «Hardware Waspote,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/products/waspote/hardware>. [Último acceso: 19 11 2015].
- [78] Libelium, «Meshlium Xtreme,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/development/meshlium/documentation/meshlium-datasheet/>. [Último acceso: 19 11 2015].
- [79] Intel, «Redes Inalámbricas,» [En línea]. Available: <http://www.intel.com/support/sp/wireless/wlan/sb/cs-025321.htm>. [Último acceso: 19 11 2015].
- [80] Carbajal, Esther Flores, «Wireless Sensor Networks Applied to the Medicine,» Universidad de Cantabria, Octubre del 2012..
- [81] PNUD, «Reporte global de la reducción del riesgo de desastre: Un desafío para el desarrollo,» 2003.
- [82] Bluetooth SIG, «Bluetooth,» [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth>. [Último acceso: 15 11 2015].
- [83] «El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo3.pdf. [Último acceso: 1 12 2015].
- [84] «Bluetooth - Networking avanzado,» [En línea]. Available: <https://www.freebsd.org/doc/es/books/handbook/network-bluetooth.html>. [Último acceso: 1 12 2015].
- [85] Frezenzel, Lou, «"The Fundamentals of Short-Range Wireless Technology",» Octubre 2012. [En línea]. Available:

<http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-short-range-wireless-technology>. [Último acceso: 21 11 2015].

- [86] PhD. LuisCorrales, Mario Apidi, Humberto Fernández, «"Diseño y construcción de un sistema bluetooth para adaptar equipos alámbricos a una configuración inalámbrica",» Quito, 2008.
- [87] Pedro Chas, «Bluetooth 3.0 HS: Un nuevo Bluetooth mucho mas rápido,» [En línea]. Available: <http://internetng.dit.upm.es/bluetooth-30-hs-un-nuevo-bluetooth-mucho-mas-rapido/>. [Último acceso: 22 11 2015].
- [88] Rosero David, Navarrete Jairo, Prototipo G.T.S.B-1 para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje, Ibarra, 2015.
- [89] F. Andreu , Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN, España: Marcombo, 2006.
- [90] J. Andreu, «Servicios en Red (Redes Inalámbricas),» Madrid, España, Editex S.A, 2011, p. 300.
- [91] Electrotecnia, «Módulos de comunicación de un microcontrolador,» [En línea]. Available: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cdm/Apunte%20de%20microcontroladores%20parte%203%20spi%20y%20sci.pdf>. [Último acceso: 28 04 2015].
- [92] Cooking hacks, «Wireless Sensor Networks,» [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspmote>. [Último acceso: 1 11 2015].
- [93] Libelium World, «Meshlium Xtreme – 802.15.4/ZigBee Sensor Network Gateway,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/110730734925/>. [Último acceso: 1 11 2015].
- [94] «Communication performances of IEEE 802.15.4 wireless sensor motes for data-intensive applications: A comparison of WaspMote, Arduino MEGA, TelosB, MicaZ and iMote2 for image surveillance,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S108480451400188X>. [Último acceso: 13 04 2015].
- [95] wikiArduino, «Plataforma Open Source, Arduino Uno, Arduino IDE,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardUno>. [Último acceso: 28 03 2015].
- [96] UTPL, «Territorios Inteligentes, Smart-Land, Zamora-Chinchipe,» [En línea]. Available: <http://www.utpl.edu.ec/comunicacion/territorios-inteligentes-smart-land-zamora-chinchipe/>. [Último acceso: 10 03 2015].
- [97] J. A. J. P. T. S. J. V. L. Rafael Lajara, «Ultra Low Power Wireless Weather Station,» 2007. [En línea]. Available:

<http://www.computer.org/csdl/proceedings/sensorcomm/2007/2988/00/29880469-abs.html>. [Último acceso: 15 11 2015].

- [98] V.-I. M. A. G. A. S. A. Moreno Aitor, «Visual analytics of multi-sensor weather information georeferenciation of Doppler weather radar and weather stations,» 2014. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7294447&newsearch=true&queryText=station%20weather>. [Último acceso: 23 11 2015].
- [99] M. Harris, «A Web of Sensors Enfolds an Entire Forest to Uncover Clues to Climate Change,» 12 11 2015. [En línea]. Available: <http://spectrum.ieee.org/green-tech/conservation/a-web-of-sensors-enfolds-an-entire-forest-to-uncover-clues-to-climate-change>. [Último acceso: 2015].
- [100] C. L. ., T. G. ., J. P. ., J. L. Fangling Pu, «Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Health Monitoring,» 2010. [En línea]. Available: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5514677&queryText=Net work%20Sensors&newsearch=true](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5514677&queryText=Net%20work%20Sensors&newsearch=true). [Último acceso: 06 11 2015].
- [101] Ministerio del Ambiente del Ecuador, «Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC),» pp. 103-104, 2010.

ANEXOS

ANEXO A

Vulnerabilidad de elementos esenciales ante amenazas ante inundación

Inundación						
Elemento esencial	Criterio de importancia	alto	medio	bajo	Criterio de exposición	Nivel de exposición
Servicios sectoriales						

Salud:

Hospital Solca	Funcionalidad y cobertura muy amplia	Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana y encontrarse en terrenos bajos de la ciudad.	Alto
Hospital del IESS		Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana, encontrarse en terrenos bajos de la ciudad, y ubicarse en las cercanías del río Zamora.	Alto
Clínica San Agustín		Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana y encontrarse en terrenos bajos de la ciudad	Alto
Cruz Roja			Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio, sin embargo se considera que esta en un nivel alto puesto que se ha evidenciado inundaciones en temporadas pasadas.	Medio
Hospital Militar			Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía plana.	Medio

Hospital Isidro Ayora		Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía con pendientes moderadas lo que produce que las aguas arriba aculadas se depositen en esta zona.	Alto
Educación						
Universidad Nacional de Loja (UNL)	Tiene una alta funcionalidad acoge a la mayoría de estudiantes de la ciudad de Loja	Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a que se encuentra Atravesada por el río Mal acatos.	Alto
Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL)	Amplia cobertura			Está expuesto	Está en un nivel de exposición bajo, se considera que esta en un nivel bajo puesto que no se ha evidenciado inundaciones en temporadas pasadas.	Bajo
Colegio Militar TCNEL Lauro Guerrero	Mediana cobertura	Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana, encontrarse en terrenos bajos de la ciudad, y por la cercanía al río Zamora.	Alto
Instituto Tecnológico Superior Daniel Álvarez Burneo	Funcionalidad Alta	Está expuesto			Su nivel de exposición es alto puesto que se encuentra cerca al Río Zamora Huayco	Alto
Colegio y Escuela José Antonio Eguiguren "La Salle"	Funcionalidad Alta	Está expuesto			Su nivel de exposición es alto puesto que se encuentra cerca al Río Zamora Huayco	Medio

Colegio y Escuela Bernardo Valdivieso	Funcionalidad Alta		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio, sin embargo se considera que esta en un nivel bajo puesto que no se ha evidenciado inundaciones en temporadas de lluvias.	Bajo
--	--------------------	--	---------------	--	---	------

Energía Eléctrica

Empresa Eléctrica	Funcionalidad Media			Está expuesto	Se considera que esta en un nivel medio puesto que la topografía presenta facilidades para la normal circulación del agua durante una inundación.	Bajo
Empresa Eléctrica (Central)	Un funcionalidad y cobertura muy amplia	Está expuesto			Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana y encontrarse en terrenos bajos de la ciudad.	Alto
Transelectrica S.A. Subestación Loja	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía plana.	Medio
Empresa Eléctrica	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía plana.	Medio
Subestación Eléctrica San Cayetano	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel alto de exposición debido a la topografía plana y encontrarse en terrenos bajos de la ciudad.	Medio
EERSA	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía plana.	Medio

Agua						
Planta de Tratamiento de Agua Potable de Carigán	Cobertura Media			Está expuesto	A pesar de encontrarse en un nivel de exposición es bajo, se considera que esta en un nivel medio puesto que el terreno es relativamente plano.	Medio
Planta de Agua "San Cayetano"	Cobertura Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía plana	Medio
Planta de Agua Potable "El Carmen"	Cobertura Media		Está expuesto		Se considera que está en un nivel medio de exposición debido a la topografía irregular y encontrarse junto al río Zamora Huayco.	Medio
Comunicación Difusión						
Cnt centro	Cobertura Alta			Está expuesto	Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y en terrenos bajos de la ciudad	Medio
Cnt	Cobertura Alta	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que se encuentra junto al río Malacatos, en terrenos planos y bajos de la ciudad	Alto
Radio Loja 97.9	Cobertura Alta	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto porque se encuentra junto al río Zamora Huayco y en una topografía plana.	Alto
Correos del Ecuador	Cobertura Alta			Está expuesto	Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y en terrenos bajos de la ciudad.	Medio

Centro Universitario de Comunicación y Difusión	Cobertura Media		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y en terrenos bajos de la ciudad.	Medio
UV Televisión	Cobertura Alta		Está expuesto		Se encuentra en un nivel medio de exposición puesto que esta sobre una topografía es irregular lo que provoca que las aguas que se acumulan en parte superior se traslade y deposite a estos sectores.	Medio

Recreación

Coliseo UNL	Cobertura Media		Está expuesto		Se encuentra en un nivel de exposición medio pero se considera que está en un nivel alto puesto que el terreno es relativamente plano y se encuentra junto al río Malacatos.	Alto
Estadio Reina del Cisne	Cobertura muy alta		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición alto por encontrarse en una topografía regularmente plana, en terrenos bajos de la ciudad, y está junto al río Zamora Huayco.	Alto
Jardín Botánico UNL	Cobertura Media		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición alto por encontrarse en una topografía regularmente plana y está junto al río Malacatos.	Alto

Parque de Bellavista	Cobertura baja		Está expuesto		Se encuentra en un nivel medio de exposición puesto que esta sobre una topografía es irregular lo que provoca que las aguas que se acumulan en parte superior se traslade y deposite a estos sectores.	Medio
Complejo Deportivo ciudad de Loja	Cobertura Media		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y está junto al río Malacatos.	Medio

Movilidad (puentes)

Puentes (Puerta de la ciudad-Centro Comercial la Pradera)	Funcionalidad Alta		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición medio pero sin embargo por encontrarse en una topografía regularmente plana y esta sobre al río Malacatos, se considera que esta en un nivel alto.	Alto
Puente Universidad Nacional de Loja (UNL)	Funcionalidad Alta		Está expuesto		Se encuentran en un nivel de exposición medio, sin embargo por encontrarse en un sector que durante estaciones lluviosas presenta acumulamientos en demasía de materiales considera que esta en nivel de exposición alto.	Alto

Movilidad (Gasolineras)

Estación de Servicio la Argelia	Funcionalidad Alta	Está expuesto		Está expuesto	Se considera que esta en un nivel de exposición bajo por encontrarse en una topografía regular y no permite la acumulación de agua.	Bajo
--	--------------------	---------------	--	---------------	---	------

Estación de Servicio Valdivieso	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se encuentra en un nivel alto de exposición puesto que esta sobre una topografía es irregular lo que provoca que las aguas que se acumulan en parte superior se traslade y deposite en estos sectores.	Alto
Gasolinera Repsol	Funcionalidad Media	Está expuesto			Se encuentran en un nivel de exposición medio, sin embargo por encontrarse en un sector de topografía con pendientes moderadas a altas se considera que esta en un nivel de exposición alto.	Alto
Estación de Servicio Jaramillo	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se encuentra en un nivel de exposición alto puesto en las zonas aledañas se evidenció inundaciones en temporadas de lluvias pasadas.	Alto
Gasolinera	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se encuentra en un nivel de exposición medio puesto en las zonas aledañas se evidenció inundaciones en temporadas de lluvias pasadas.	Medio
Gasolinera 24 de Mayo	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y en terrenos bajos de la ciudad.	Medio
Gasolinera Abendaño	Funcionalidad Media		Está expuesto		Se considera que esta en un nivel de exposición medio por encontrarse en una topografía regularmente plana y en terrenos bajos de la ciudad.	Medio

Estación Primax	Funcionalidad Alta		Está expuesto		Se encuentran en un nivel de exposición medio, sin embargo por encontrarse en un sector de topografía irregular lo que provoca que las aguas se acumulen aquí por lo que se considera que esta en un nivel de exposición alto.	Alto
Gasolinera Unión Macará	Funcionalidad Media		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos.	Medio
Estación de Servicio Plaza Gas	Funcionalidad Media	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que la topografía es plana y los terrenos son bajos	Alto

Patrimonial

Iglesia La Catedral	Cobertura y funcionalidad Alta		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos.	Medio
Iglesia Santo Domingo	Cobertura Alta		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos.	Medio
Iglesia San Sebastián	Cobertura Media	Está expuesto			Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos y se ha evidenciado inundaciones en temporadas de lluvias.	Alto

Museo del Banco Central	Cobertura Baja		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos.	Medio
Templo San Francisco	Cobertura baja		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente plana y los terrenos son bajos.	Medio

Cementerio

Cementerio el Retorno	Cobertura baja			Está expuesto	Está en un nivel de exposición bajo puesto que la topografía es muy escarpada.	Bajo
Cementerio Municipal	Cobertura Alta	Está expuesto			Se encuentran en un nivel de exposición Alto por encontrarse en un sector de topografía irregular lo que provoca que las aguas de terrenos altos se trasladen hacia aquí.	Alto
Cementerio	Cobertura baja		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que está en una topografía que permite que las aguas acumuladas en sus partes superiores se trasladen a estas zonas.	Bajo

Industrias

Invernadero, Facultades y Planta de Lácteos Universidad Técnica Particular de Loja	Cobertura Media		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía es relativamente irregular con zonas de fácil acumulación de agua en caso de una inundación.	Medio
---	-----------------	--	---------------	--	--	-------

EXPOAUTO	Cobertura baja	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que la topografía presenta pendientes moderadas con zonas propensas a inundación.	Alto
MARESA	Cobertura baja		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía presenta pendientes moderadas con zonas propensas a la acumulación de agua.	Medio
CESA				Está expuesto	Está en un nivel de exposición bajo sin embargo puesto que la topografía es relativamente plana se lo considera en un nivel medio de exposición.	Medio
CAFRILOSA	Cobertura Media	Está expuesto			Se encuentran en un nivel de exposición Alto por encontrarse en un sector de topografía irregular lo que provoca que las aguas de terrenos altos se trasladen hacia aquí.	Alto
LOJA GAS	Cobertura Media			Está expuesto	Está en un nivel de exposición bajo, porque la topografía lo permite así.	Bajo
LOJA LAC	Cobertura baja		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía presenta pendientes moderadas	Medio
Industria Lojana de Especerías	Cobertura Alta		Está expuesto		Está en un nivel de exposición medio puesto que la topografía presenta pendientes moderadas	Medio
Planta de Embutidos INAPESA	Cobertura Alta	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que la topografía presenta pendientes moderadas con zonas propensas a acumulación de agua.	Alto

COCA COLA EBC	Cobertura Alta			Está expuesto	Se encuentran en un nivel de exposición bajo, sin embargo por encontrarse en un sector de topografía plana y estar junto al río Zamora se considera que está en un nivel de exposición medio.	Medio
ILESA	Cobertura baja	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que la topografía presenta pendientes moderadas con zonas propensas a acumulación de agua.	Alto
NOVIMUEBLE	Cobertura baja	Está expuesto			Está en un nivel de exposición alto puesto que la topografía presenta pendientes es plana y está ubicada en terrenos bajos de la ciudad.	Alto
Terminal Terrestre						
Terminal Terrestre Reina del Cisne	Un funcionalidad y cobertura muy amplia			Está expuesto	Está en un nivel de exposición medio sin embargo puesto que en el sector donde la topografía es plana, en terrenos bajos y presenta ya con anterioridad problemas de inundación se considera que esta en un nivel de exposición Alta	Medio