

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Título del trabajo

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y  
OPTIMIZACIÓN DE LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS  
SÓLIDOS PARA EL CAMPUS DE LA ESPOL.”**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELEMÁTICA**

Presentado por:

JUAN JOSEPH GUERRERO GARCÍA  
GABRIEL JOSUE LIMONES OBANDO

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de materia integradora a mis padres, Heriberto Mariano Limones Vega, Jacinta Raquel Obando Ponce, mi hermano Erick Misael Limones Obando y la Ing. Adriana Elisa Collaguazo Jaramillo por ser un pilar fundamental en mi formación como futuro profesional.

Gabriel Josué Limones Obando.

## DEDICATORIA

Gracias a Dios. A mis padres, Consuelo García y Wilson Guerrero, que siempre han estado a mi lado.

A mis familiares y amigos que han confiado en mí. Y en especial al Ing. Gabriel Astudillo que ha hecho posible la realización de nuestro proyecto

Juan Joseph Guerrero García.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, amigos y profesores por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mi formación como hijo, compañero y estudiante.

Gabriel Josué Limones Obando.

Juan Joseph Guerrero García.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Gabriel Josué Limones Obando* y *Juan Joseph Guerrero García* damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Gabriel Josué Limones  
Obando

Juan Joseph Guerrero  
García

# EVALUADORES

---

**PhD. Gabriel Antonio Astudillo Brocel**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**PhD. José Eduardo Córdova García**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Tecnologías en vanguardia con dispositivos y redes orientados a Internet de las cosas (IoT) son cada vez más frecuentes. La viabilidad para realizar proyectos IoT requieren un análisis exhaustivo sobre el consumo de energía, la disponibilidad de los dispositivos en cuanto a cobertura y la factibilidad de la carga y descarga de los datos. Se propone el diseño e implementación de un prototipo IoT con su estructura Arduino para el control y optimización de la ruta de recolección de los desechos sólidos en el Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), para un análisis de estudio del esquema LoRa/LoRaWAN.

The Thing Network (TTN) una comunidad abierta para el desarrollo de prototipos IoT, presenta algunas herramientas para la administración y registro de datos en la nube. A pesar de ser ello, se desarrolló una plataforma web para el monitoreo y visualización de los datos obtenidos, dicha plataforma presenta la ubicación de los nodos en los contenedores de desechos sólidos, gráficas estadísticas de los datos presentes en contenedor, así como el reporte de todos los datos obtenidos.

El documento presenta pruebas concretas realizadas con Arduino The Thing Uno, sensor ultrasónico HC-SR04, que en conjunto enviarán los datos a la nube de TTN para ser recopilados por un intermediador Node-Red, donde finalmente serán presentadas a nuestra plataforma web.

**Palabras Clave:** *LoRa, LoRaWAN, TTN, Node-Red, Arduino*

## **ABSTRACT**

*Cutting-edge technologies with devices and networks oriented to the Internet of Things (IoT) are becoming more frequent. The feasibility to carry out IoT projects requires a thorough analysis of the energy consumption, the availability of the devices in terms of coverage and the feasibility of uplink and downlink. It is proposed the design and implementation of an IoT prototype with its Arduino structure for the control and optimization of the solid waste collection route in the Gustavo Galindo Campus of the Polytechnic School of the Litoral (ESPOL), for a study analysis of the LoRa / LoRaWAN scheme.*

*The Thing Network (TTN), an open community for the development of IoT prototypes, presents some tools for managing and recording data in the cloud. In spite of this, a web platform was developed to monitor and visualize the data obtained, this platform presents the location of the nodes in the solid waste containers, statistical graphs of the data present in the container, as well as the report of the all the data obtained.*

*The document presents specific tests carried out with Arduino The Thing Uno, an ultrasonic sensor HC-SR04, which together will send the data to the TTN cloud to be compiled by a Node-Network intermediary, where they will finally be presented to our web platform.*

**Keywords:** *LoRa, LoRaWAN, TTN, Node-Red, Arduino*



# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	9
1. Introducción .....	9
1.1 Descripción del problema .....	9
1.2 Justificación del problema .....	10
1.3 Objetivos .....	10
1.3.1 Objetivo General .....	10
1.3.2 Objetivos Específicos.....	10
1.4 Marco teórico.....	10
1.4.1 Comunicación Inalámbrica LPWAN .....	11
1.4.2 LoRa y LoRaWAN.....	12
1.4.3 Arquitectura MQTT publicador/suscriptor .....	13
CAPÍTULO 2.....	16
2. Metodología .....	16
2.1 Criterio tecnológico.....	16
2.2 Restricciones y alcance del prototipo .....	17
2.3 Hardware utilizado para el prototipado .....	17
2.3.1 Sensor ultrasónico.....	17
2.3.2 The Things UNO .....	18

2.3.3 Bateria LiPo.....	19
2.4 Software utilizado para el prototipado .....	20
2.4.1 The Things Network (TTN) .....	20
2.4.2 Node-RED .....	21
2.4.3 Amazon Web Services (AWS) .....	22
2.5 Implementación del Prototipo .....	22
2.5.1 Modulo Electrónico .....	23
2.5.2 Flujo de Datos.....	25
2.5.3 Plataforma web para la visualización de los contenedores.....	25
2.6 Descripción del ambiente para la experimentación .....	26
2.7 Descripción del Procedimiento para la experimentación .....	27
CAPÍTULO 3.....	29
3. Resultados y Análisis.....	29
3.1 Consumo de energía .....	29
3.2 Intensidad de la señal con LoRa, LoRaWAN .....	30
3.3 Sensado del Contenedor.....	33
3.4 Almacenamiento en The Things Network.....	35
3.5 Extracción y Almacenamiento de Datos .....	35
3.6 Visualización de Información.....	36
3.6.1 Geolocalización.....	36
3.6.2 Gráficas de consumo de energía y sensado de contenedores. ....	36
3.6.3 Reportes .....	37
CAPÍTULO 4.....	38
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	38
4.1 Conclusiones.....	38
4.2 Recomendaciones.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

## ABREVIATURAS

ABP	Activation by Personalization
AES	Advance Encryption Standard
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IoT	Internet of Things
MAC	Media Access Network
M2M	Machine to machine
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
LoRa	Low Range
LoRaWAN	Low Range Wide Area Network
LPWAN	Low-Power Wide Area Network
OTTA	Over-the-Air Activation
TTN	The Thing Network
WiFi	Wireless Fidelity
WPAN	Wireless Personal Area Network

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mAh	Miliamperios
mm	Milímetro
ms	Milisegundos
km	Kilómetro
MHz	Mega Hertz
$\mu$ S	Microsegundos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Topología Estrella.....	11
Figura 1.2 Funcionamiento con los agentes principales MQTT [13].....	14
Figura 1.3 Infraestructura de MQTT [13] .....	15
Figura 2.1 Sensor Ultrasónico HC-SR04 [24].....	18
Figura 2.2 The Things Uno [26].....	19
Figura 2.3 Batería LiPo [29].....	20
Figura 2.4 Plataforma de The Things Network [21] .....	21
Figura 2.5 Plataforma de Node-Red [22].....	22
Figura 2.6 Diagrama General de Comunicación.....	23
Figura 2.7 Conexión Arduino Leonardo y batería LiPo 7.5 V .....	24
Figura 2.8 Conexión Arduino Leonardo y sensor ultrasónico HC-SRC4 .....	24
Figura 2.9 Node-RED conexión de nodos .....	25
Figura 3.1 Gráfica de descarga de batería .....	30
Figura 3.2 Mapa de cobertura TTN Mapper ESPOL .....	31
Figura 3.3 Lista de Paquetes plataforma TTN.....	35
Figura 3.4 Node-RED extracción de paquetes .....	35
Figura 3.5 Tabla de sensado del contenedor .....	36
Figura 3.6 Geolocalización .....	36
Figura 3.7 Estadísticas .....	37
Figura 3.8 Reportería .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de HC-SR04 [24].....	18
Tabla 2.2 Características de The Thing UNO [25].....	19
Tabla 2.3 Características de batería LiPo [30].....	20
Tabla 3.1 Duración de baterías .....	29
Tabla 3.2 Código de Colores TTN Mapper.....	31
Tabla 3.3 Datos obtenidos a través de TTN Mapper .....	31

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) cuenta con la Unidad de Mantenimiento encargada de gestionar un sin número de actividades, de las cuales se centrará únicamente en la recolección de desechos sólidos dentro del Campus Gustavo Galindo. La acumulación de basura, en sectores como los bares y comedores traen como consecuencia la proliferación de animales e insectos lo que conlleva a enfermedades que afectan a la salud y el bienestar de quienes convivimos en la ESPOL e incluso atenta contra el mismo Campus, ya que al ser un Bosque Seco Tropical debe ser tratada como una zona protegida para la ciudad de Guayaquil [1]. La recolección de estos desechos sólidos no la realiza la misma institución, sino que tienen un contrato con la empresa Ultra-Clean. El administrador encargado del actual contrato manifiesta, que el mayor de sus inconvenientes es no poder contar con un control o sistema que permita el monitoreo de las actividades que realiza la empresa, por lo que periódicamente realiza los recorridos con los trabajadores. La pretensión de este proyecto es el diseño y la elaboración de un prototipo y sistema de recolección de residuos inteligente, que facilite a la actual administración la tarea especificada a desarrollar.

### 1.1 Descripción del problema

El desbordamiento de los desechos sólidos en los contenedores son fuentes de enfermedades, infecciones, malos olores y plagas. Actualmente, aunque se realizan recorridos para la recolección de los desechos sólidos, su gestión y control no es la más adecuada.

Actualmente la Unidad de Mantenimiento ESPOL, no lleva un control o monitoreo con respecto a las actividades de recolección de desechos sólidos que realiza la empresa "Ultra-Clean", por lo que periódicamente el administrador realiza recorridos junto con los trabajadores para determinar su desempeño y evaluar la productividad.

En cuanto al personal encargado de realizar la recolección de residuos por parte de la empresa Ultra-Clean, efectúan su recorrido con rutas preestablecidas lo que trae como consecuencia trayectos innecesarios en sectores en las cuales no hay

acumulación de desechos sólidos, generando desperdicio de combustible por parte de ESPOL y exceso de mano de obra por Ultra-Clean.

## **1.2 Justificación del problema**

El propósito de este proyecto es optimizar la recolección y evitar el desbordamiento de los contenedores de basura, implementando un aplicativo que ayude en el monitoreo de los contenedores distribuidos dentro del Campus Gustavo Galindo. A su vez que genere reportes y alertas de los sectores que generan la mayor acumulación de desechos para obtener un control y monitoreo a tiempo real.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de contenedor inteligente e implementar una plataforma web que monitoree el nivel de los desechos sólidos en los contenedores distribuidos en el Campus Gustavo Galindo.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un dispositivo que cense el nivel de saturación de los contenedores y genere alertas.
- Desarrollar una plataforma web que visualice el estado de los contenedores.
- Levantar una comunicación de baja frecuencia de transmisión entre el dispositivo y el aplicativo, guardando la información censada en una Base de Datos.

## **1.4 Marco teórico**

El concepto IoT, se basa en incorporar una gran variedad de objetos de forma digital catalogándolo como objetos inteligentes los cuales recolectan información del entorno en tiempo real, de esta manera la información obtenida, es almacenada en una base de datos [2], en donde son analizados y gestionados para de esta manera tomar decisiones en base a los datos adquiridos, mejorando nuestras actividades cotidianas de forma inmediata.

Para la comunicación de las tecnologías IoT, se busca una red que cumpla cierto tipo de requerimientos como, un bajo costo en implementación, bajo consumo de energía y que abarque extensas áreas geográficas [3], pero ya que hemos venido heredando redes

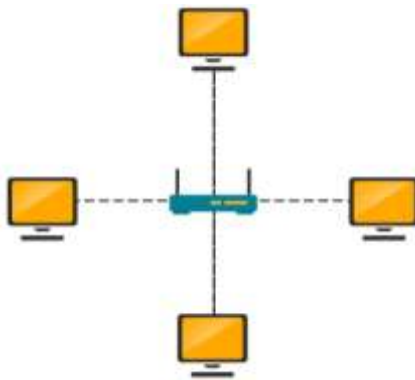


como “Wireless Personal Area Network” (WPAN), “Wireless Local Area Network” (WLAN) y redes móviles (3G/4G) que se caracterizan por tener áreas de cobertura más cortas y un mayor consumo de energía, estas no resultan apropiadas para el desarrollo de IoT.

Sin embargo, se cuenta con “Low-Power Wide-Area Network” (LPWAN), una red de telecomunicaciones inalámbrica que ofrece mejores características que las redes tradicionales para el desarrollo de tecnologías IoT [4]. Las redes LPWAN están pensadas para redes de sensores operados con baterías, brindándoles una comunicación de gran alcance para dispositivos localizados en áreas geográficas extensas, una baja potencia a expensas de una baja velocidad en la transmisión de datos y mayor latencia.

#### 1.4.1 Comunicación Inalámbrica LPWAN

Esta comunicación guarda cierta similitud con las redes móviles debido a su gran alcance y su topología de red en estrella, tal como se muestra en la Figura 1.1. Se posee básicamente un concentrador el cual sirve de puerta de enlace hacia Internet, para los nodos periféricos que están enlazados directamente hacia él. Permite que los dispositivos finales puedan conectarse en ambientes hostiles y de difícil acceso en donde otras tecnologías de comunicación inalámbrica suelen ser ineficaces [5].



**Figura 1.1 Topología Estrella**

Sigfox es una de las primeras empresas en proveer una característica particular a las implementaciones de dispositivos IoT en una red inalámbrica de bajo consumo energético. Proporciona una transmisión ultra-narrow-band (UNB) basada en IEEE 802.15.4 [6]. Sigfox implementa y opera gateways con un funcionamiento similar al de operadores celulares con la diferencia que al utilizar UNB emplea canales específicamente estrechos teniendo capacidad de alcanzar grandes distancias y operar una red de sensores gestionada en la nube. Estos dispositivos pueden comunicarse con

una topología estrella alcanzando una baja tasa de datos (100 bits/s) y ancho de banda de 100 Hz/canal proporcionando un nivel de baja potencia.

La red celular también posee una cobertura para dispositivos IoT, la estandarización comenzó con 3rd Generation Partnership Project (3GPP) [7]. En base a esta se llegó a desarrollarse nuevos tipos de redes como “Machine Type Communication” (eMTC), “The Narrow Band IoT” (NB-IoT) y de cobertura extendida (EC-GSM). eMTC promete 1Mbps de carga y descarga de datos y opera en la banda de LTE haciendo uso 1,4 MHz [8]. NB-IoT se reduce a aplicaciones de bajo rendimiento y tolerantes a fallos con una velocidad de datos no menos de 10 Kbps, con un ancho de banda 200 KHz [8]. EC-GSM red GSM optimizada para IoT, con un rango de carga y descarga de datos entre 70 y 240 Kbps [9]. A diferencia de eMTC y NB-IoT, EC-GSM no ha seguido creciendo. Gracias a eMTC y NB-IoT, operadores móviles han desarrollado dispositivos compatibles con Cat-M1 y Cat-NB1 con características similares a eMTC a NB-IoT respectivamente, pero con orientación para ser comercializadas.

Existen otras empresas a cargo del desarrollo de redes LPWAN en dispositivos IoT como Ingenu, Simple Genius, Waviot y LinkLabs que ya poseen un despliegue e implementaciones de dispositivos IoT en desarrollo [10].

#### **1.4.2 LoRa y LoRaWAN**

“Low Range” (LoRa) es un esquema de comunicación inalámbrica de largo alcance orientado para el uso de dispositivos que necesitan ser energizados durante largos periodos de tiempo por medio de una batería. LoRa está conformada por dos capas, la capa física que utiliza modulación basada en un esquema “Chirp Spread Spectrum” (CSS) patentada por Semtech, trabaja en las bandas “Industrial, Scientific and Medical” (ISM) de 433, 868 o 915 MHz, dependiendo de la región [11]; y capa control de acceso al medio (MAC) que usa el protocolo LoRaWAN construido para el uso de comunicación del esquema de modulación LoRa, encargado de suministrar el control de acceso al medio a cada nodo, logrando que se comunique con la estación base [12].

LoRaWAN posee su propia arquitectura de red, formada por 3 componentes necesarios para el despliegue de la misma:

- Gateway: dispositivo intermediario encargado de enviar los paquetes provenientes de los dispositivos finales hacia el servidor.

- Dispositivos finales: sensores o actuadores de bajo consumo de energía conectados a través de una interfaz de radio, a uno o más gateway.
- Servidor: Encargado de decodificar y guardar los paquetes recibidos por el gateway.

### 1.4.3 Arquitectura MQTT publicador/suscriptor

Los servicios que se pueden montar sobre una infraestructura LPWAN como la que implementaría LoRa y LoRaWAN son soportadas por “Message Queue Telemetry Transport” (MQTT).

MQTT es un protocolo simple y ligero, que funciona sobre la capa de transporte TCP/IP para la transferencia de mensajería instantánea. El objetivo de su diseño es garantizar la confiabilidad de los paquetes enviados en entornos difíciles, con bajo niveles de ancho de banda y recursos limitados. Posee una arquitectura de publicador/suscriptor, albergando una gran cantidad de dispositivos remotos en un solo servidor [13].

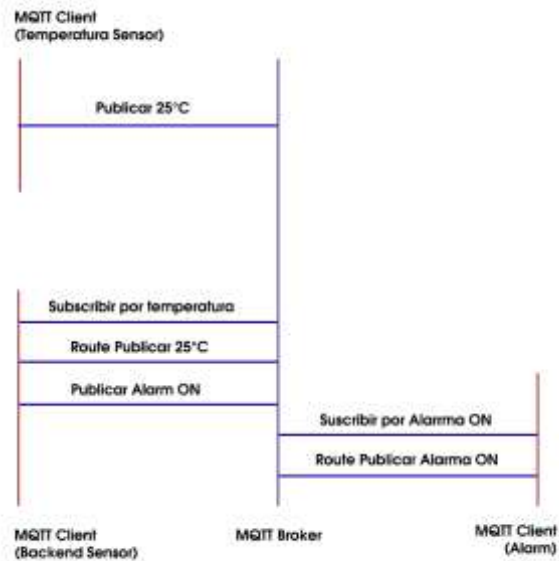
Para remarcar la diferencia, por ejemplo, en “Representational State Transfer” (REST) que trabaja sobre HTTP y hace uso del patrón cliente-servidor, se posee un sistema sincrónico que requiere que se conozcan los estados de los agentes que interactúan en todo momento.

El protocolo MQTT pueden publicar y suscribir el mensaje de forma asincrónica. La publicación y la suscripción se lo realizan a un agente central llamado MQTT Broker. El MQTT Broker realiza la función de filtrado y entrega del mensaje publicado, para los intereses de los suscriptores o grupo de suscriptores. Finalmente, decide que suscriptor recibirá que mensaje en función del filtrado de los mensajes.

A su vez en este entorno interactúa el llamado MQTT Cliente, el cual puede ser cualquier dispositivo, desde un microcontrolador hasta un servidor, que ejecuta los métodos de MQTT conectadas a través de la red.

La Figura 1.2 demuestra la interacción del protocolo MQTT con los agentes ya especificados anteriormente. Hay que recalcar que los mensajes que contienen un suscriptor y un publicador varían. El mensaje del publicador contiene el “payload” (carga útil que será publicado) y un tema (*topic*). El payload contiene la información actual a transmitir en un formato que puede ser binario, textual, en formato de transferencia de

texto JSON o XML. El mensaje del Suscriptor contiene una lista de los temas el cual está interesado. Por lo que, el suscriptor, puede enrolarse a uno o más temas de interés.



**Figura 1.2 Funcionamiento con los agentes principales MQTT [13]**

Este funcionamiento a más de la capacidad de filtrado de mensaje y la disponibilidad en la entrega, plantea su ejecución en áreas de comunicación máquina a máquina (M2M) [13].

La Figura 1.3 demuestra cómo es implementado MQTT en lugar de REST a nivel de infraestructura. Como antes se mencionó, MQTT Cliente y MQTT Broker son los agentes en este ambiente. El MQTT Broker es el componente principal entre el suscriptor y el publicador teniendo en cuenta la administración de los mensajes que son publicados y suscritos por el MQTT Cliente. El MQTT Cliente mantendrá el registro de todos los suscriptores y decidirá qué suscriptor obtendrá el mensaje publicado. Tomará la decisión basada en el filtrado basado en temas del mensaje

El protocolo MQTT definitivamente realiza un papel importante en la realización de prototipos IoT con la capacidad de trabajar con dispositivos de baja potencia e implementándolo para la automatización y despliegue de sistemas de sensores y controladores.

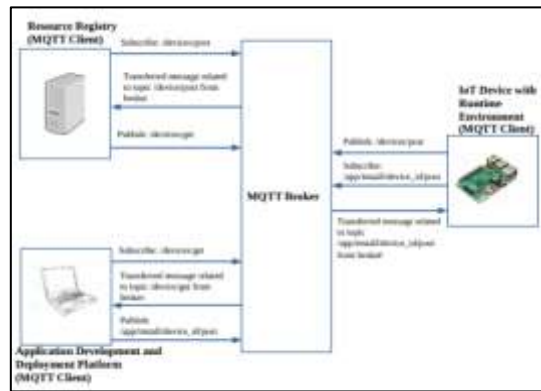


Figura 1.3 Infraestructura de MQTT [13]

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Criterio tecnológico

La tecnología inalámbrica para el desarrollo de este proyecto es una red LPWAN la cual está diseñada para redes de áreas extensas y bajo consumo de energía ideal para dispositivos alimentados por baterías [14]. El Laboratorio Pedro Carló de ESPOL cuenta con un gateway LoRa el cual está disponible para el desarrollo de tecnologías IoT. Se descartó el uso de tecnologías como “Wireless Fidelity” (WiFi), al estar orientada para altas tasas de transferencias de datos no es funcional para aplicaciones de censado autónomo, por su alto consumo de recursos energéticos, lo que conlleva al sobrecalentamiento y disminución de la vida útil de la batería. WiFi posee fallas al establecer conectividad propiciadas por diversos agentes tales como el clima y cierto tipo de materiales que obstaculizan la señal. Limitando la cobertura de recepción, por lo tanto, no es una alternativa viable para nuestra problemática. ZigBee es una tecnología inalámbrica desarrollada para interiores, teniendo un alcance alrededor de 10 a 100 metros, en comparación con LoRa que tiene una cobertura de 2 a 5 km en zonas urbanas y 15 km áreas suburbanas [15]. El ahorro de energía por parte de ZigBee es menor en relación con LoRa. Debido que LoRa ofrece mayores ventajas en cuanto a cobertura y consumo de energía, lo convierte en la mejor opción para desarrollar nuestro prototipo.

El dispositivo debe funcionar de manera autónoma integrándole una batería, para que no dependa de una fuente de alimentación externa, ya que está orientado a trabajar en áreas abiertas. Se optó por 2 posibles soluciones: baterías LiPo o banco de baterías alcalinas. Al analizar las dos posibles soluciones se descartó el uso del banco de baterías, aunque es más económico, es desfavorable en la parte del diseño, ya que abarca mayor espacio y peso dentro del prototipado. Se pensó en el uso de baterías de 9V para optimizar espacio y reducir el peso, no obstante, la carga que esta suministra no abastece con todas las funcionalidades que realiza el microcontrolador lo que provoca que se descargue de forma inmediata. Aunque las baterías LiPo poseen un costo elevado brindan mayores beneficios en cuanto al suministro de energía, durabilidad y al presentar un tamaño más compacto [16].

Este trabajo se enfoca en resolver la problemática que cubre los distintos puntos de recolección de los desechos a lo largo de todo el Campus. Por lo tanto, el diseño y la resolución de buscar la mejor ruta, no se la profundizará. Esto es debido a la complejidad y el desarrollo matemático amplio que se necesita. Por poner un ejemplo, podemos abordar conceptos como los algoritmos de Greedy o Dijkstra que tratan de eliminar rutas ya sea usando conjeturas heurísticas [17] o considerando el costo de la mejor ruta desde una fuente hacia un nodo.

## **2.2 Restricciones y alcance del prototipo**

- El dispositivo está alimentado con una batería LiPo, que suministra constantemente energía permitiendo que este funcione de manera autónoma sin la necesidad de una fuente externa.
- El prototipo cuenta con un sensor ultrasónico HC-SR04 que mide el nivel de saturación de los contenedores. Este sensor sobresale por su tamaño compacto, bajo consumo de energía, gran precisión y bajo precio [18].
- La comunicación inalámbrica que utilizará es LPWAN con la tecnología de modulación LoRa, esto se realiza con un chip LoRa integrado en el microcontrolador Arduino Leonardo [19] encargado de enviar los datos hacia el gateway.
- El área de cobertura es limitada al contar con un único gateway LoRa.
- Los datos que enviamos son almacenados en la plataforma TTN [20], sin embargo, al ser open-source el almacenamiento es limitado y permanecen por un corto periodo de tiempo, la solución es usar Node-RED [21] una herramienta que nos permite obtener los datos censados y guardarlos en una base de datos local.
- Debido a la disponibilidad de tiempo no se desarrollará un aplicativo móvil para los recolectores, únicamente se implementará la plataforma web para la Unidad de Mantenimiento ESPOL.
- No es objetivo de este proyecto escoger la metodología más adecuada para afrontar la problemática de la mejor ruta.

## **2.3 Hardware utilizado para el prototipado**

### **2.3.1 Sensor ultrasónico**

El HC-SR04 es un sensor que permite medir distancias en la que se localizan los objetos emitiendo un impulso acústico que se propaga a la velocidad del sonido, de

alta frecuencia y corta duración. Este rebota con el objeto y retorna al sensor ultrasónico, donde se calcula la distancia, mediante el tiempo que realiza su trayectoria entre el emisor y receptor de la señal [22]. A continuación, se muestra en la Figura 2.1 el sensor HC-SR04.



Figura 2.1 Sensor Ultrasónico HC-SR04 [23]

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Dimensiones del circuito	43 x 20 x 17 mm.
Tensión de alimentación	5 Vcc
Frecuencia de trabajo	40 KHz
Rango máximo	4.5 m.
Rango mínimo	1.7 cm.
Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL)	10 $\mu$ S.
Duración del pulso eco de salida (nivel TTL)	100-25000 $\mu$ S.
Tiempo mínimo de espera entre una medida y otra	20 S

Tabla 2.1 Características de HC-SR04 [23]

### 2.3.2 The Things UNO

Arduino es una plataforma electrónica con hardware y software de código abierto, tiene como objetivo el desarrollo de proyectos en distintas ramas del conocimiento [24]. Arduino Leonardo es una placa electrónica de hardware libre para el desarrollo de dispositivos digitales e interactivos que permitan sensor y controlar



objetos de forma retoma por medio de un microcontrolador basado en ATmega32u4 [19]. The Things UNO está basado en Arduino Leonardo con un módulo Microchip LoRa [25], viene integrado el Protocolo LoRaWAN facilitando la conexión a gran alcance a la puerta de enlace de tecnología LoRa a una baja potencia [26].



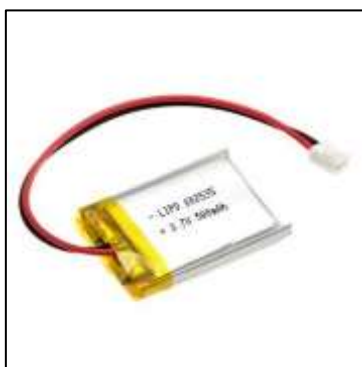
**Figura 2.2 The Things Uno [25]**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Microcontrolador	ATmega32u4
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 - 12 V
Voltaje de entrada (Limite)	6 – 20 V
Pines Digitales I/O	20
Canales PWM	7
Entradas canales analógicas	12
DC Corriente I/O Pin	40 Ma
DC Corriente para 3.3V Pin	50 Ma
Memoria Flash	32 KB (ATmega32u4)
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz

**Tabla 2.2 Características de The Thing UNO [25]**

### 2.3.3 Batería LiPo

Las baterías de Polímero de Litio, conocidas como baterías LiPo, son pilas recargables compuestas por celdas de 3.7 V o 4.2 V, estas celdas se conectan en serie por lo que podemos encontrar baterías 1 hasta 6 celdas [27]. Estas baterías se caracterizan por ser compactas y ligeras, tienen una gran capacidad de almacenar energía y una tasa alta de descarga para alimentar circuitos electrónicos muy robustos [16].



**Figura 2.3 Bateria LiPo [28]**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>		<b>ESPECIFICACIONES</b>
Capacidad Nominal		1500 mAh
Voltaje Nominal		3.7 V
Corriente Carga Estándar		0.2 C <sub>5</sub> A
Corriente Máxima de Carga		1 C <sub>5</sub> A
Voltaje de Corte de Carga		4.2 V
Corriente de Descarga Estándar		0.5 C <sub>5</sub> A
Voltaje de Corte de Descarga		2.75 V
Celda de Voltaje		3.7 – 3.9 V
Impedancia		≤ 35 mΩ
Temperatura de Almacenamiento	≤ 1 mes	-10 ~45 °C
	≤ 3 mes	0 ~30 °C
	≤ 6 mes	20 ± 5 °C
Humedad de Almacenamiento		65 ± 20 % RH

**Tabla 2.3 Características de batería LiPo [29]**

## **2.4 Software utilizado para el prototipado**

### **2.4.1 The Things Network (TTN)**

TTN es una plataforma web que cuenta con una gran cantidad de servicios gratuitos ya que es una comunidad abierta. Su uso más relevante es el despliegue de la tecnología LoRaWAN, que permiten que los nodos (dispositivos finales) puedan comunicarse sin hacer uso de tecnologías comunes como WiFi o 3G. Su diseño permite que dispositivos de baja potencia logren conectividad hacia Internet a través de uno o varios gateway, que a su vez mantienen la estable la comunicación hacia los nodos, para la recepción y el envío de los datos correspondientes hacia la plataforma web de TTN. La plataforma Web permite el uso y la visualización de los datos censados por los nodos, para que, a través de

distintas integraciones el usuario pueda contar con las herramientas suficientes para el despliegue y automatización de su implementación.

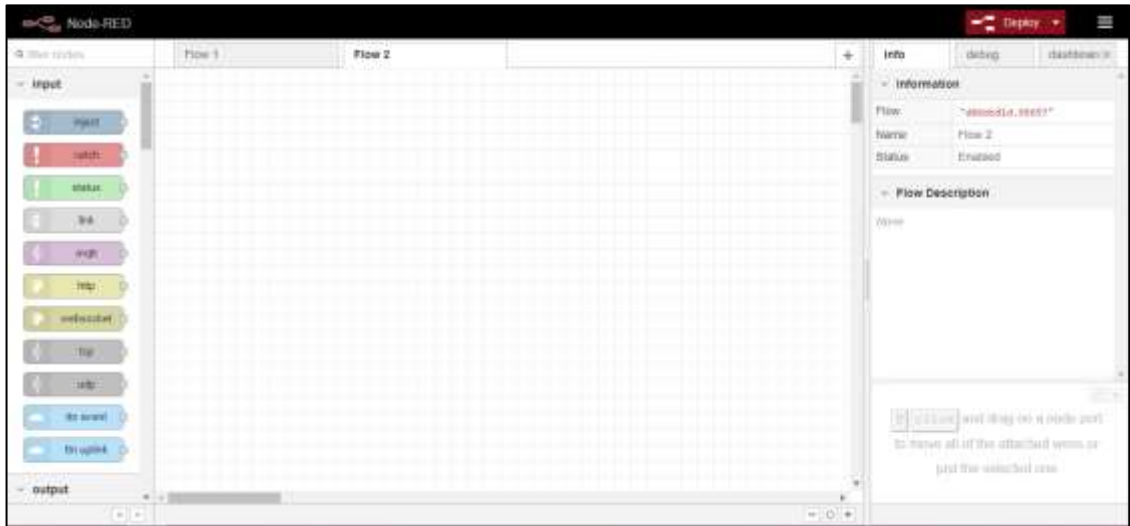
Otra cualidad, es el modo de comunicación de los nodos: “Activation by Personalization” (ABP) y “Over-the-Air Activation” (OTTA). OTTA busca una conectividad más segura, conectándose al gateway cuando el nodo envía los datos de sesión y se lo verifica a través de la llave de encriptación por medio del servidor TTN, esto se renueva cada vez que se deja de enviar los datos en un periodo de tiempo. ABP es una estrategia más simple, ya que no solicita la confirmación del lado del servidor, y se enfoca a que los datos de la sesión establecida sean los correctos.



**Figura 2.4** Plataforma de The Things Network [20]

### **2.4.2 Node-RED**

Node-RED es una herramienta que actúa como mediador entre el hardware y software, permitiendo crear flujos de servicios, mediante el uso de protocolos estándares como MQTT, REST, AMQP entre otros. Node-RED consiste en un entorno gráfico, sencillo y accesible desde una plataforma HTML tal como se muestra en la Figura 2.5 [21]. Se basa en el uso de bloques de código conocidos como nodos, los cuales tienen como función interconectarse entre sí para generar mensajes, representando un flujo de eventos, que desencadenan un proceso que genera un resultado.



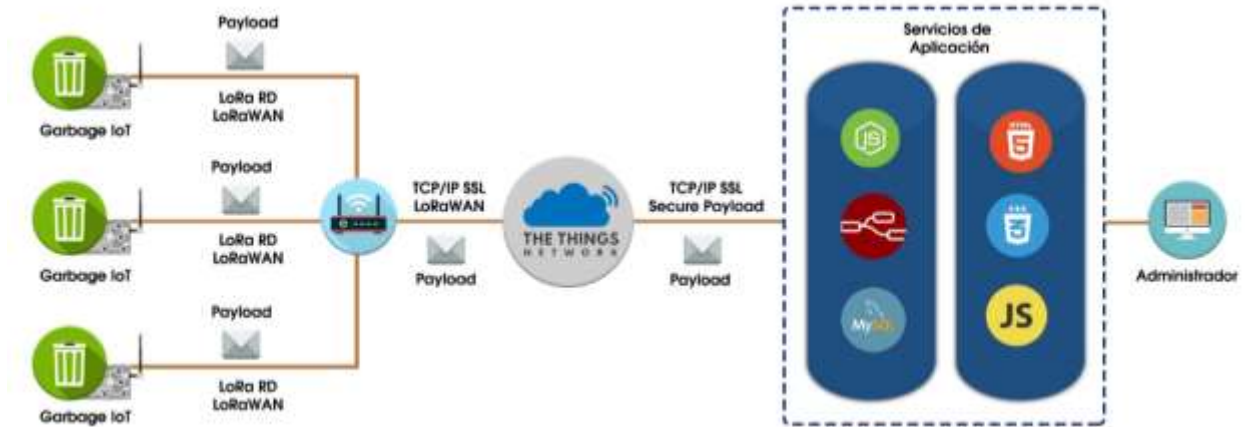
**Figura 2.5** Plataforma de Node-Red [21]

### **2.4.3 Amazon Web Services (AWS)**

AWS es una herramienta de software en la nube que posee algunos servicios a su disponibilidad. El servicio que se hará uso es “Amazon Elastic Compute Cloud” (Amazon EC2). Amazon EC2 proporciona servidores en la nube llamados instancias, con la capacidad de obtener alta disponibilidad y seguridad, escalabilidad si la instancia la requiere e integración con otros servicios de AWS, etc. Las opciones de sistemas operativos son muy amplias, cuentan con distribuciones de Linux y Microsoft Windows Server.

## **2.5 Implementación del Prototipo**

En la Figura 2.6 se visualiza el diagrama de red, dentro del cual interviene algunas de las herramientas antes mencionadas, en la siguiente sección describiremos el funcionamiento e integración del mismo.



**Figura 2.6 Diagrama General de Comunicación**

### 2.5.1 Modulo Electrónico

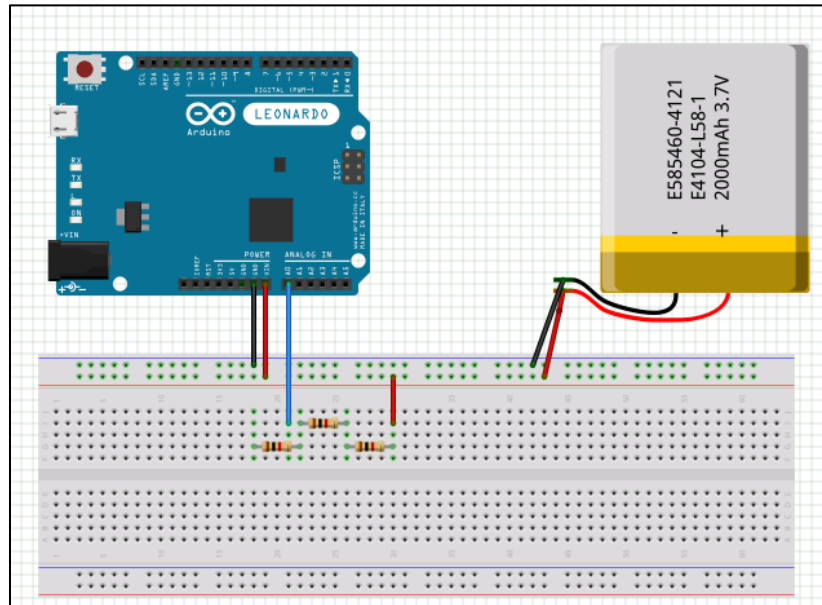
Para el desarrollo de nuestro prototipo se usaron 3 componentes conformados por un microcontrolador The Things UNO, un sensor ultrasónico HC-SRC4 y una batería LiPo.

El prototipo es alimentado por una batería LiPo de 7.4V, antes de conectarlo al microcontrolador es necesario elaborar un divisor de voltaje tal como se muestra en la Figura 2.9. Este divisor de voltaje ayudará a medir, controlar el estado de la batería y regular la carga, ya que las entradas analógicas del microcontrolador soportan hasta 5V [30].. Utilizando la siguiente formula se podrá medir el nivel de la carga de la batería.

$$V = InA \left( \frac{5}{1023} \right)$$

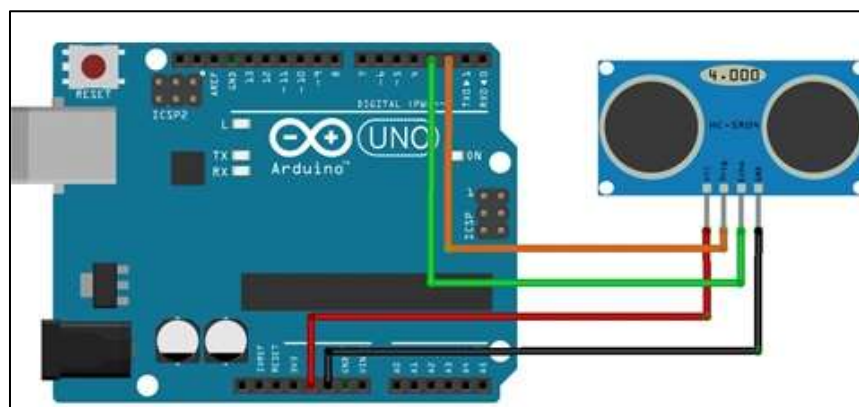
En donde:

- V: Voltaje de batería
- InA: Entrada analógica



**Figura 2.7 Conexión Arduino Leonardo y batería LiPo 7.5 V**

El microcontrolador pone en funcionamiento el sensor ultrasónico HC-SR04, enviando una señal ultrasónica y obteniendo el tiempo que tarda en realizar el recorrido, desde que es emitido hasta que es captado nuevamente por el sensor [31]. El microcontrolador toma dicho valor y realiza los cálculos respectivos con el fin de obtener el nivel de saturación del contenedor. Dentro del Arduino se encuentra configurado el identificador y la ubicación (latitud y longitud) del contenedor, junto con el dato censado se procesa toda esta información y se consolida en un solo payload de 10 bytes, para luego ser enviado al gateway usando el protocolo LoRaWAN. Estos datos son subidos y almacenados en la plataforma TTN. En la Figura 2.10 se muestra la conexión del microcontrolador y el sensor ultrasónico.



**Figura 2.8 Conexión Arduino Leonardo y sensor ultrasónico HC-SR04**

## 2.5.2 Flujo de Datos

Para extraer los datos almacenados en TTN utilizamos la herramienta Node-RED. Los nodos que se utilizaron para realizar la extracción fueron el nodo MQTT el cual establece una comunicación, publicador/suscriptor con TTN, obteniendo la carga útil (*payload*) que el prototipo le provee a dicha plataforma. El payload es enviado al nodo json convirtiéndolo en un objeto. El nodo función (*function*) toma este objeto y ejecuta una función JavaScript encargada de extraer los datos para concatenarlos con un query, este es enviado al nodo MySQL donde se conecta con la base de datos denominada “node-red” y guarda la información en la tabla “node-app”, donde esta almacenado la ubicación, el nivel de llenado de los contenedores, el nivel de la batería, con su respectiva fecha y hora.



Figura 2.9 Node-RED conexión de nodos

## 2.5.3 Plataforma web para la visualización de los contenedores

Se posee una instancia en Amazon EC2, con una distribución de Linux CentOS 7 [32]. Debido a que la estructura del proyecto es mantener un prototipo estable, se ha considerado tener las configuraciones más básicas para la instancia. La instancia posee características de la familia t2.micro [33], con un disco de estado sólido (SSD) de 8GiB.

Con la configuración establecida se procedió a instalar varios servicios como MySQL [34] y Apache [35], necesarios el desarrollo de la plataforma web. Nuestra página cuenta con cuatro pestañas que se describen a continuación:

- Home. - En esta sección se describe un breve resumen del proyecto.
- Garbage. - Muestra la localización de cada contenedor con un respectivo código de colores:
  - Rojo: Contenedor lleno.
  - Amarillo: Contenedor medio lleno
  - Verde: Contenedor vacío.
  - Púrpura: Batería baja.

Adicionalmente se puede visualizar cada uno parámetros enviados por el sensor que hemos mencionado con anterioridad.

- Statistics. – Presenta las gráficas estadísticas del nivel de cada contenedor y de la batería de forma diaria, mensual y anual.
- Report. – El usuario puede generar consultas a la base de datos para elaborar reportes históricos y generar un archivo con extensión “comma-separated values” (CSV).

## 2.6 Descripción del ambiente para la experimentación

El propósito de este experimento es obtener el rango de transmisión de LoRaWAN entre el gateway, ubicado en el laboratorio “Pedro Carló”, con los distintos dispositivos finales que se ubicarán el campus. Además, se analizará el modelo de pérdida de trayectoria para este protocolo.

Para las mediciones de alcance se ha de tomar en cuenta las características de propagación en el ambiente que rodea al campus, en este caso, se cuenta con ambientes forestales, lagunas, elevaciones y zonas planas. No es objetivo de esta experimentación obtener datos de cada uno de los ambientes, debido al cambio brusco de ambiente que se posee. Para establecer una idea, la Figura 2.10 muestra el mapa general del campus Gustavo Galindo. Por lo que los datos obtenidos serán recopilados para una experimentación general de todos los sectores.



**Figura 2.10 Mapa General del campus Gustavo Galindo-ESPOL**

Con respecto a los factores climáticos, las mediciones se realizarán durante el día de 7:30 a 12:00 y en la tarde de 13:30 a 16:00, donde se evaluará el estado de los contenedores para su respectivo monitoreo.



## 2.7 Descripción del Procedimiento para la experimentación

Para la adquisición de datos, se hizo uso de una herramienta de The Thing Network llamada TTN Mapper. Esta, nos provee de un mapa de cobertura real, con los siguientes datos: descripción de fecha y hora del último paquete enviado, RSSI [36], SNR [37], y distancia. La Figura 2.11 muestra un ejemplo de la funcionalidad de TTN Mapper.

Se ha de tomar en cuenta que a través de “Received Signal Strength Indicator” (RSSI), nos permitirá evaluar la intensidad de fuerza de la señal recibida al gateway en dB [36] a medida que nos alejamos del gateway, no es objetivo del RSSI obtener la calidad del mensaje.

Haciendo uso del SNR [37] de la señal podremos obtener su relación con respecto a la distancia. El SNR generalmente su relación se cuantifica en dB [37], con esto podríamos evaluar la intensidad de ruido que existe entre la comunicación del nodo hacia el gateway.

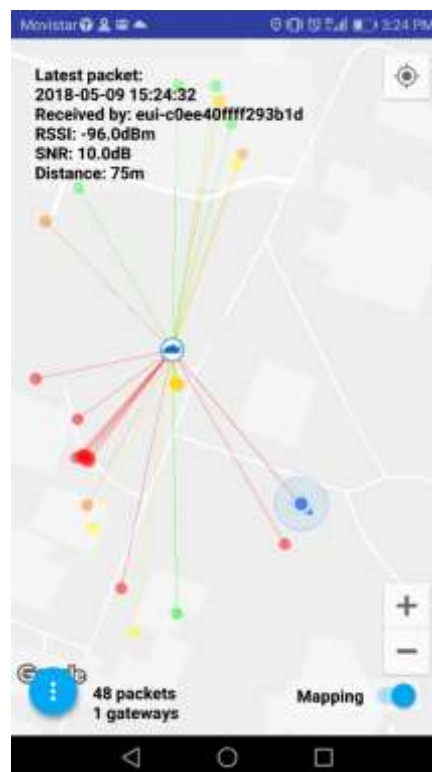


Figura 2.11 Ejemplo de cobertura TTN Mapper

Con respecto al modelo de pérdida de trayectoria que haremos uso, esta es proporcionado a partir de una experimentación llevada a cabo en Oulu, Finlandia que presenta características similares en cuento al ambiente descrito anteriormente y el esquema de modulación LoRa [38]:

$$PL = |RSSI| + SNR + P_{TX} + G_{RX}$$

Donde PL es la pérdida de trayectoria, RSSI es la intensidad de la señal recibida, Ptx es la potencia de la antena de transmisión y Grx es la ganancia de antena receptora.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Consumo de energía

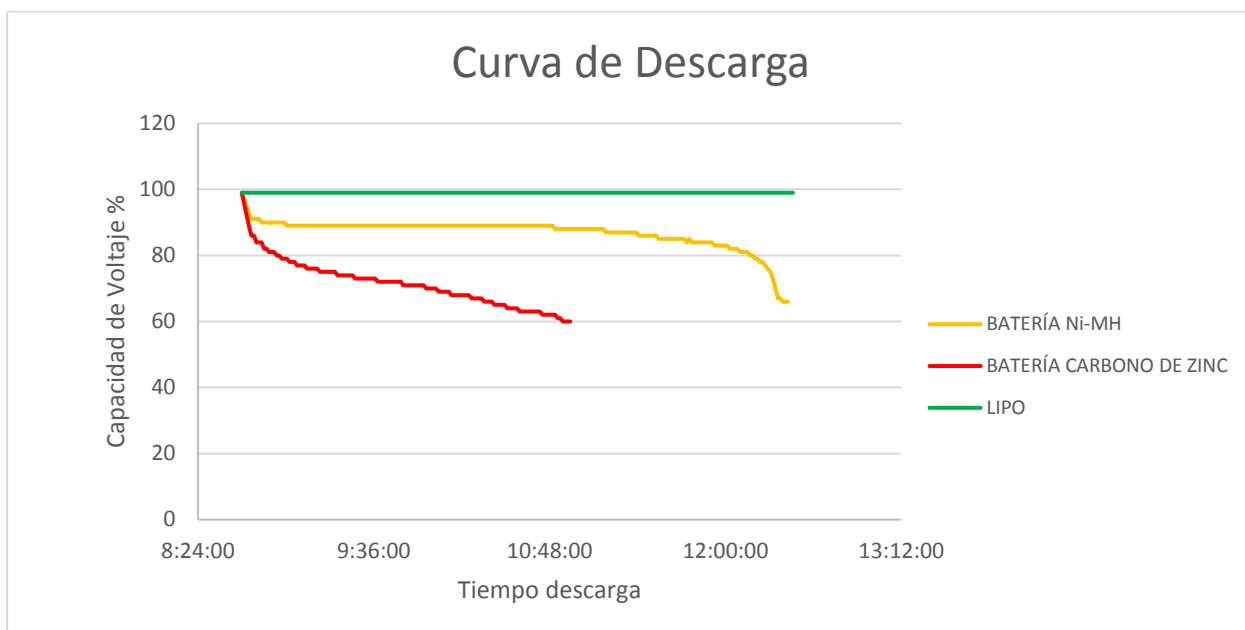
Para el suministro de energía del prototipo, se utilizó una batería LiPo en vez de las baterías convencionales. Aspiramos asegurarnos de que las baterías LiPo tienen un tiempo de vida útil mayor en comparación con otras fuentes de alimentación, por su capacidad de almacenar gran cantidad de energía.

Para verificar la efectividad de la batería LiPo, se realizó el siguiente experimento el cual consiste en conectar tres tipos de baterías que son: batería Ni-MH, batería Carbono de Zinc, batería LiPo. El dispositivo medirá la capacidad de voltaje porcentual y esta medida será enviada, a nuestro servidor, cada minuto para examinar el proceso de descarga en el transcurso de 24 horas. El experimento concluye cuando las baterías ya no sean capaces de suministrar energía a los dispositivos de prueba.

El experimento inicio el 4 de septiembre de 2018, desde las 8:41 AM hasta 12:27 PM. A continuación, se puede observar en la Tabla 3.1 la duración de cada batería y en la Figura 3.1 la curva de descarga a partir de los datos obtenidos. Se visualiza que el nivel de voltaje cae rápidamente en la batería de carbono de zinc, seguido por la batería de Ni-MH. Por lo tanto, la capacidad de ambas baterías es muy baja en comparación con una batería LiPo, siendo esta última, más adecuadas al momento de alimentar dispositivos IoT por su durabilidad.

Batería	Voltaje inicial	Amperaje	Hora inicio	Hora de deceso	Voltaje final	Duración
LiPo	7.2 V	1500mA	8:41:56	-	7.15 V	-
Ni-MH	8.4 V	200mA	8:41:56	12:27:38	6.80 V	03:45:42
Carbono de Zinc	9 V	-	8:41:56	10:56:26	5.72 V	02:14:30

**Tabla 3.1 Duración de baterías**



**Figura 3.1 Gráfica de descarga de batería**

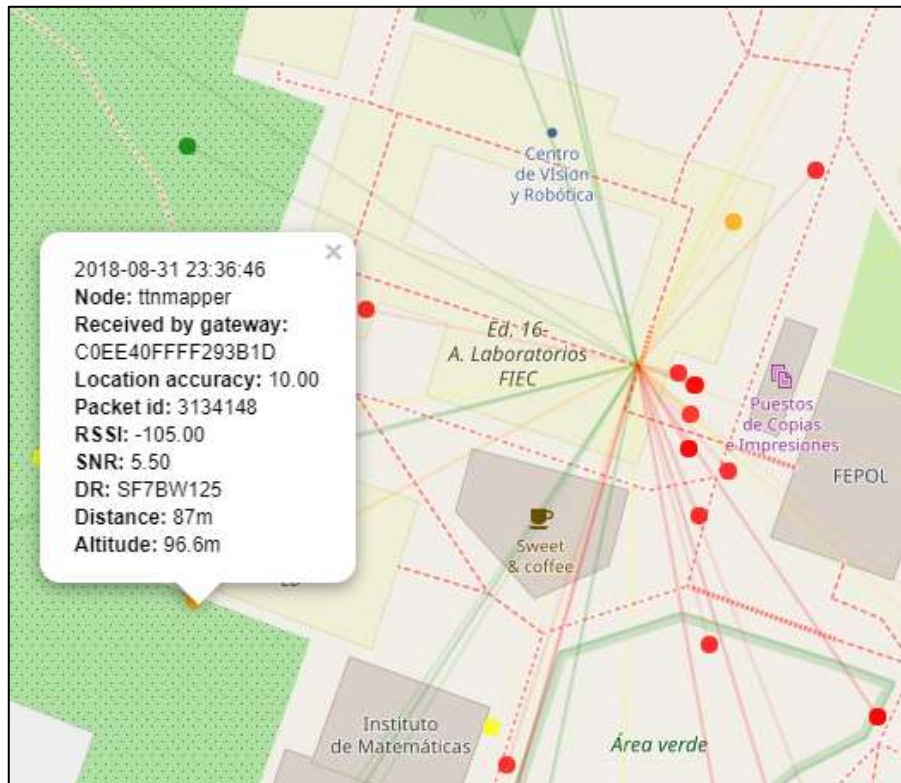
### 3.2 Intensidad de la señal con LoRa, LoRaWAN

Este análisis consta de varias partes. En primer lugar, se desea comprobar que mientras mayor sea la distancia, entre el gateway y el dispositivo final, mejorará los niveles de RSSI. Posteriormente con los datos obtenidos de SNR se desea constatar que dicha intensidad disminuya a medida que nos alejamos del gateway. Luego se procederá a calcular, la pérdida de trayectoria, previamente revisada en el capítulo 2, con dicha ecuación, se analizará si la pérdida de trayectoria es constante dependiendo de los niveles de RSSI y SNR de la señal a partir de la ecuación. A continuación, se presentará el estudio a través de los datos obtenidos haciendo uso de TTN Mapper [37]. Se obtuvieron 40 datos obtenidos desde las 13:00 hasta las 16:00 de la tarde transmitiendo cada 5 minutos el paquete correspondiente hacia el gateway.

La Tabla 3.2, muestra la clasificación por colores de los distintos niveles de RSSI [37]. Se considera que el nivel rojo involucra una intensidad muy baja, la cual puede presentar problemas de cobertura, a diferencia del color azul que representa niveles de coberturas ideales para la comunicación. Como podemos observar la escala se encuentra ordenada, desde niveles no apropiados a niveles ideales.

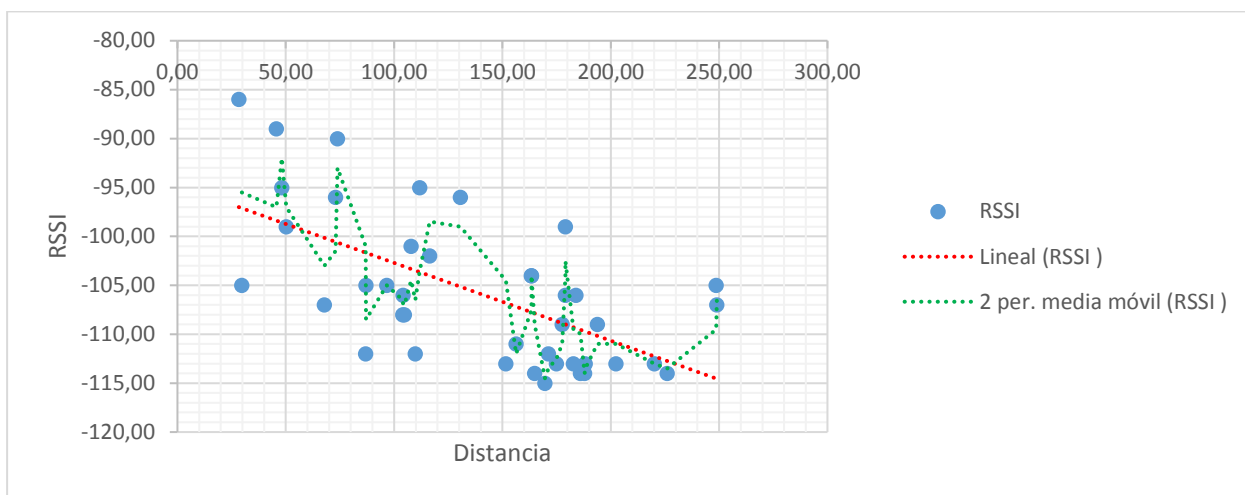
Color	RSSI
Red	>-100 dBm
Orange	-100 - -115
Yellow	-105 - -100
Light Green	-110 - -115
Blue	-115 - -120
Dark Blue	<-120 dBm

**Tabla 3.2 Código de Colores TTN Mapper [37]**



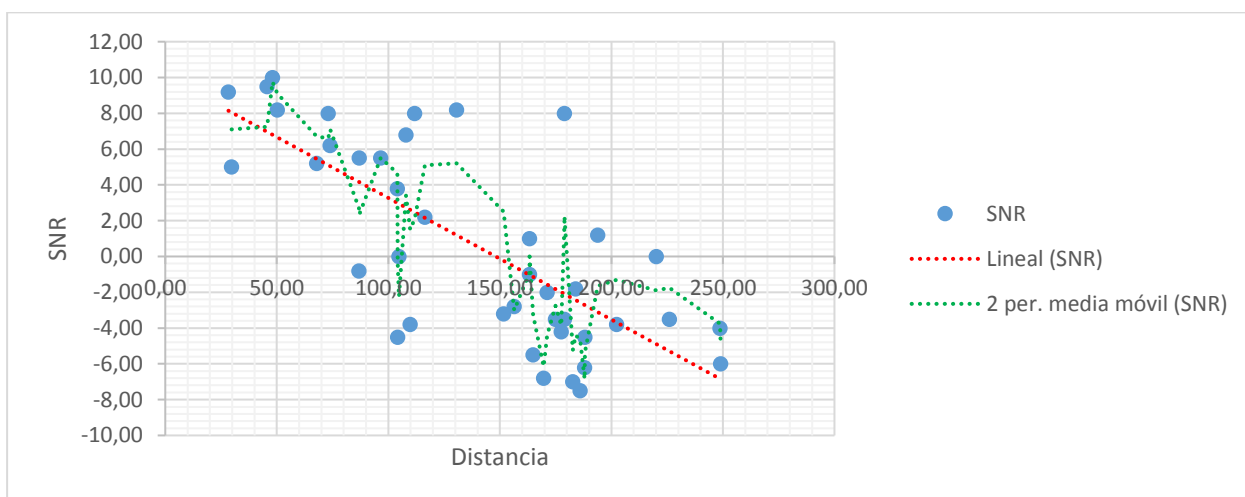
**Figura 3.2 Mapa de cobertura TTN Mapper ESPOL [39]**

La Figura 3.2 muestra el mapa de experimentación [39] que se obtuvo en TTN Mapper en el Campus Gustavo Galindo. De esta figura a simple vista podemos indicar que mientras más alejado estamos del Gateway menor será el nivel de RSSI que se presenta. Esto es respaldado a partir de la Figura 3.3 que describe la relación entre RSSI vs distancia. Por el cual queda demostrado que los niveles de RSSI mejoran cada vez que aumenta la distancia entre el Gateway y el nodo, esto es debido a que LoRa determinará el mejor factor de dispersión o llamado “Spreading Factor” (SF) para poder establecer la comunicación [40].



**Figura 3.3 RSSI vs distancia**

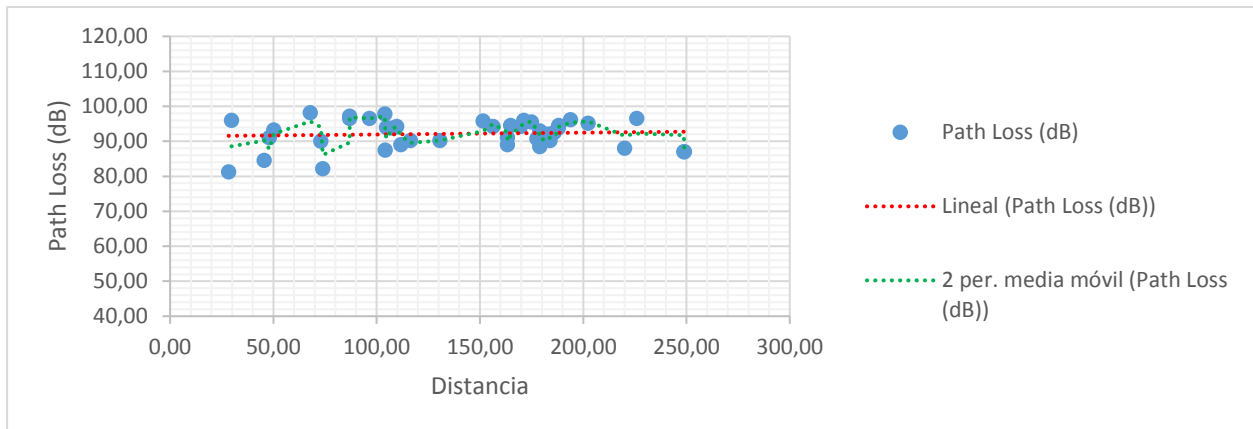
Los valores obtenidos del SNR se muestran a través de la Figura 3.4, el cual nos presenta que mientras mayor sea la distancia, entre el gateway y el dispositivo final, disminuye los valores de SNR, lo cual es comprobado a partir de la regresión lineal entre los puntos datos obtenidos. Se puede indicar que los datos son muy dispersos debido a que dentro de ESPOLE se tiene forestación frondosa y algunas elevaciones pueden dificultar una mejor interacción hacia línea de vista al gateway.



**Figura 3.4 SNR vs distancia**

Por último, se tiene el estudio del modelo de pérdida de trayectoria. Los valores que influyeron directamente a la ecuación planteada en el capítulo anterior son: RSSI y SNR de la señal, debido a que estos cambian constantemente con respecto a la distancia que se tiene entre el gateway y el dispositivo final. Los valores constantes son la Potencia de

transmisión de la antena que es de 14 dBm y la Ganancia de la antena receptora de 2 dBi.



**Figura 3.5 Path Loss vs distancia**

La Figura 3.5 demuestra una intensidad de pérdida de trayectoria constante, cercano a los 91-93 dB en los primeros 250 metros entre el gateway y el dispositivo final. Por el cual la hipótesis planteada es correcta. Hay que tomar en cuenta que muchos de los paquetes se perdieron durante la experimentación. Sin embargo, se podría analizar la eficiencia de la transmisión de paquetes para otro estudio. La pérdida de trayectoria generalmente es muy diferente para entornos distintos, pero el esquema de modulación LoRa junto con su protocolo LoRaWAN demuestran datos muy favorables para la realización de prototipos que requieren de un gateway en común, ya que se provee de un sistema dedicado a la transferencia de paquetes muy pequeños por lo que dado el análisis de la sección 3.1 y en complemento de esta sección, se demuestra la eficiencia y el uso de este conjunto de tecnologías.

### 3.3 Sensado del Contenedor

El dispositivo al ser energizado pone en funcionamiento el microcontrolador junto con el Microchip RN2903 LoRa estableciendo la comunicación inalámbrica hacia el Gateway, tal como se muestra en la Figura 3.6.

```

-- PERSONALIZE
Model: RN2903
Version: 0.9.5
Sending: mac set deveui 0004A30B001B93C0
Sending: mac set adr off
Sending: mac set devaddr 26011300
Sending: mac set nwkskey C4C1F6E60DCDE93B2FB30D2DD64FE07C
Sending: mac set appskey 019E2E03BB459400B831D75A5F9D42FA
Sending: mac set ch status 0 off
Sending: mac set ch status 71 off
Sending: mac set pwridx 5
Sending: mac set retx 7
Sending: mac set dr 3
Sending: mac join abp
Personalize accepted. Status: 0001
-- STATUS
EUI: 0004A30B001B93C0
Battery: 3336
AppEUI: 70B3D57ED000F4CA
DevEUI: 0004A30B001B93C0
Data Rate: 3
RX Delay 1: 1000
RX Delay 2: 2000

```

**Figura 3.6 Conexión entre el dispositivo y el gateway**

Consecuentemente se dio inicio al proceso de medición de la batería y el funcionamiento del sensor ultrasónico, se recolecto el nivel de llenado del contenedor. El microcontrolador armó la estructura del payload junto con los datos preconfigurados y sensado por el dispositivo los cuales fueron:

- Identificador del contenedor
- Nivel del Contendor
- Latitud
- Nivel de Batería
- Longitud

En la Figura 3.7 se muestra el payload armado y listo para ser enviado al gateway.

```

Id Garbage: GAR-101
Nivel Contenedor: 38%
Nivel Bateria: 99%
Latitud: 2145645
Longitud: 79954569
Sending: mac tx uncnf 1 00650000002D00
Successful transmission

```

**Figura 3.7 Payload a enviarse sobre la conexión establecida**



### 3.4 Almacenamiento en The Things Network

Posteriormente los datos fueron enviados y almacenados en la plataforma The Things Network, en donde se creó el aplicativo correspondiente a la actividad. En Figura 3.8 podemos visualizar la lista de los paquetes enviados por el microcontrolador.



time	counter	port	dev id	payload	bateria	distancia	id
14:29:14	72	1	my-uno-pr1	00 65 0A 94 00 3B 00 4C 00 63	99	27.08	"GAR-101"
14:25:36	54	1	my-uno-pr1	00 65 06 4A 00 3B 00 4C 00 63	99	16.1	"GAR-101"
14:24:10	47	1	my-uno-pr1	00 65 07 1E 00 3B 00 4C 00 63	99	18.22	"GAR-101"
14:21:57	36	1	my-uno-pr1	00 65 04 52 00 3B 00 4C 00 63	99	11.06	"GAR-101"
14:21:20	33	1	my-uno-pr1	00 65 05 F5 00 3B 00 4C 00 63	99	15.25	"GAR-101"
14:18:42	20	1	my-uno-pr1	00 65 04 5F 00 3B 00 4C 00 63	99	11.19	"GAR-101"
14:17:41	15	1	my-uno-pr1	00 65 04 63 00 3B 00 4C 00 63	99	11.23	"GAR-101"

Figura 3.8 Lista de Paquetes plataforma TTN

### 3.5 Extracción y Almacenamiento de Datos

Previamente en el capítulo 2 se describió el método de extracción del payload de la plataforma TTN por medio de Node-RED. Se estableció un flujo de datos los cuales procesaron y generaron una conexión con la base de datos. Se comprobó este proceso mediante el uso del nodo debug mostrado en la Figura 3.9.

```
18/7/2018 14:21:21 node: 42bfdd4a.122ba4
INSERT INTO `node_app`(`id`,`distance`,`latitud`,`longitud`,`bateria`) VALUES ('GAR-101','15.25','-2.144659','-79.966776','99') : msg.payload : OkPacket
"[object Object]"

18/7/2018 14:21:57 node: 42bfdd4a.122ba4
INSERT INTO `node_app`(`id`,`distance`,`latitud`,`longitud`,`bateria`) VALUES ('GAR-101','11.06','-2.144659','-79.966776','99') : msg.payload : OkPacket
"[object Object]"

18/7/2018 14:24:11 node: 42bfdd4a.122ba4
INSERT INTO `node_app`(`id`,`distance`,`latitud`,`longitud`,`bateria`) VALUES ('GAR-101','18.22','-2.144659','-79.966776','99') : msg.payload : OkPacket
"[object Object]"
```

Figura 3.9 Node-RED extracción de paquetes

Los datos fueron recibidos y almacenados exitosamente en MySQL como se muestra en la Figura 3.10, de esta manera Node-RED actúa como el intermediario de este proceso.

+ Opciones						
id	date	distance	latitud	longitud	bateria	
GAR-101	2018-07-18 14:21:21	15.25	-2.144659	-79.966774	99	
GAR-101	2018-07-18 14:21:57	11.06	-2.144659	-79.966774	99	
GAR-101	2018-07-18 14:24:11	18.22	-2.144659	-79.966774	99	
GAR-101	2018-07-18 14:25:36	16.1	-2.144659	-79.966774	99	
GAR-101	2018-07-18 14:29:15	27.08	-2.144659	-79.966774	99	

Figura 3.10 Tabla de sensado del contenedor

### 3.6 Visualización de Información.

#### 3.6.1 Geolocalización.

En esta sección la plataforma interactuó con la base de datos y mostró la localización de los contenedores en el mapa, con su respectivo código de colores y se despliega información detallada del contenedor, tal como se muestra Fig. 3.11 de esta forma se puede observar a tiempo real el estado de los contenedores y se puede mejorar las rutas de recolección que realizan los recolectores.

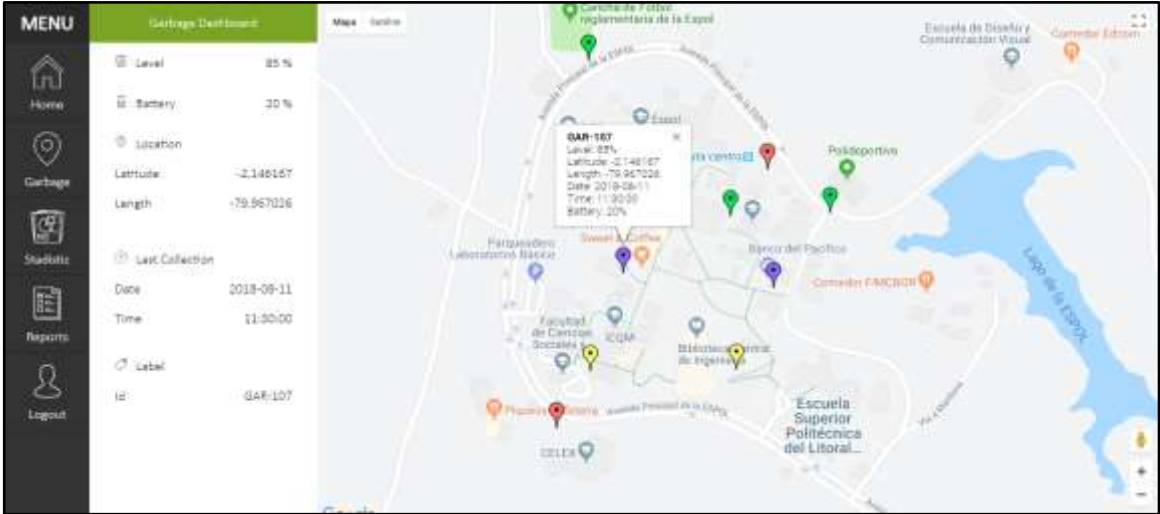


Figura 3.11 Geolocalización

#### 3.6.2 Gráficas de consumo de energía y sensado de contenedores.

Se verifica la funcionalidad con la Figura 3.12 donde se evidencia el nivel de los contenedores y el consumo de la batería de manera anual, mensual y diaria. De esta manera el administrador encargado podrá analizar los horarios en los que

acurren mayor acumulación de desechos y en qué áreas tienden hacer puntos críticos de recolección.



Figura 3.12 Gráfica de consumo de energía y sensado de contenedores

### 3.6.3 Reportes

En la sección de reportes se buscó que el usuario pueda tener acceso a la información almacenada en la base de datos, para poder tener un documento que respalde el trabajo realizado a lo largo del año y sirva como retroalimentación para él y la administración se puede evidenciar todo esto a partir de la Figura 3.13.

ID	Date	Hour	Latitud	Longitud	Referencia
GAR-102	2018-08-11 11:30:00	32	-2.149397	-79.967430	83
GAR-102	2018-08-11 11:30:00	32	-2.145397	-79.967430	85
GAR-103	2018-08-11 11:30:00	35	-2.144817	-79.965187	40
GAR-104	2018-08-11 11:30:00	10	-2.145428	-79.966668	90
GAR-105	2018-08-11 11:30:00	75	-2.146338	-79.962118	40
GAR-106	2018-08-11 11:30:00	35	-2.147437	-79.967445	80
GAR-107	2018-08-11 11:30:00	10	-2.143420	-79.967461	80
GAR-107	2018-08-11 11:30:00	10	-2.143388	-79.964394	80
GAR-107	2018-08-11 11:30:00	35	-2.146167	-79.967025	20
GAR-108	2018-08-11 11:30:00	35	-2.148101	-79.967679	50
GAR-108	2018-08-11 11:30:00	40	-2.147421	-79.968591	50

Figura 3.13 Sección de reportes

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se elaboro un prototipo funcional que permite la lectura del nivel de los contenedores de basura, usando un Microcontrolador The Things UNO, sensor ultrasónico y una batería LiPo.

Se comprobó que las baterías LiPo resultan ser eficientes en la alimentación de dispositivos electrónicos orientados a IoT. Por medio de la experimentación se obtuvieron y analizaron las curvas de descargas de cada batería, de esta forma se concluyó que la batería LiPo posee mayor durabilidad en comparación con las baterías carbonato de zinc y Ni-MH.

Se estableció exitosamente una comunicación inalámbrica entre el prototipo y la base de datos usando la red LPWAN, modulación LoRa y protocolo LoRaWAN.

Se implemento la plataforma web y el diseño del prototipo de alto nivel los cuales fueron presentados al cliente, dando la retroalimentación respectiva.

### 4.2 Recomendaciones

Elaborar un aplicativo móvil para los recolectores de basura, permitiendo únicamente la visualización de los contenedores distribuidos en ESPOL.

Es necesario conectar una antena al gateway que ayude aumentar el rango de cobertura en el campus, debido que este dispositivo utilizado es para interiores y al estar el campus formado por lomas, colinas y arboledas interfieren en la línea de vista entre el nodo transmisor y el gateway.

Utilizar sensores ultrasónicos de tipo industrial, debido que el sensor HC-SR0 utilizado para el prototipado no es el adecuados para las condiciones en las que va a hacer sometido el dispositivo como son líquidos y fluidos emanados por los contenedores de basura.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] «ESPOL,» ESPOL Ecológico, [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/es/espol-ecol%C3%B3gico>. [Último acceso: 02 Agosto 2018].
- [2] Medium Corporation , «Medium,» 14 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://medium.com/omarelgabrys-blog/database-introduction-part-1-4844fada1fb0>. [Último acceso: 8 Agosto 2018].
- [3] Efor, «Efor,» [En línea]. Available: <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>. [Último acceso: 02 Agosto 2018].
- [4] U. Raza, P. Kulkarni y M. Sooriyabandara, «IEEE Xplore Digital Library,» 16 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7815384>. [Último acceso: 15 Junio 2018].
- [5] L. Vangelista, A. Zanella y M. Zorzi, «Researchgate,» Long-range IoT technologies: the dawn of LoRa, 11 Mayo 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/300111853\\_Long-Range\\_IoT\\_Technologies\\_The\\_Dawn\\_of\\_LoRa](https://www.researchgate.net/publication/300111853_Long-Range_IoT_Technologies_The_Dawn_of_LoRa). [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [6] Sigfox, «Sigfox Technologies Overview,» [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>. [Último acceso: 28 Mayo 2018].
- [7] Copyright 2018 GSM Association., «GSMA,» [En línea]. Available: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>. [Último acceso: 29 Mayo 2018].
- [8] Medium, «eMTC y NB-IoT,» 2 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://medium.com/long-term-evolution/phy/home>. [Último acceso: 11 Agosto 2018].
- [9] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez , J. Melià-Seguí y T. Watteyne, «IEEE Communications Magazine,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1607.08011.pdf>. [Último acceso: 20 Julio 2018].

- [10] B. Ray, «The History of LPWAN and a Look at its Future - Medium,» 6 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://medium.com/iotforall/the-history-of-lpwan-and-a-look-at-its-future-48992a52409c>. [Último acceso: 2 Junio 2018].
- [11] A. Augustin, T. Clausen, J. Yi y W. M. Townsley , «MDPI,» A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things, 09 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [12] The Thing Network, «The Thing Network | Aprendiendo Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>. [Último acceso: 28 Mayo 2018].
- [13] M. SRIJAN, «MQTT based communication in IoT,» Finlandia, 2017.
- [14] M. A. Casanova, «Alfa IoT,» 26 Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://www.alfaiot.com/index.php/es/2018/05/26/que-es-lora/>. [Último acceso: 10 Junio 2018].
- [15] B. M. R. V. a. C. G. Lluís Casals, «Modeling the Energy Performance of LoRaWAN,» *Sensors* , p. 1, 2017.
- [16] Erle Robotics, LiPo Batteries, [En línea]. Available: <https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/safety/lipo.html>. [Último acceso: 22 Junio 2018].
- [17] J. A. Pachecho, 1997. [En línea]. Available: <https://www.idescat.cat/sort/questiio/questiio/pdf/21.1.6.Pacheco.pdf>. [Último acceso: 21 Julio 2018].
- [18] ElectroniLAB, «ElectroniLAB,» Sensor de distancia de Ultrasonido HC-SR04, [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>. [Último acceso: 02 08 2018].
- [19] Arduino Products, «Arduino,» Arduino Leonardo, [En línea]. Available: [https://www.arduino.cc/en/Main/Arduino\\_BoardLeonardo](https://www.arduino.cc/en/Main/Arduino_BoardLeonardo). [Último acceso: 02 08 2018].
- [20] The Things Network, «Learn The Things Network,» [En línea]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/>. [Último acceso: 02 Agosto 2018].
- [21] Node-RED, «Node-RED,» [En línea]. Available: <https://nodered.org/>. [Último acceso: 24 Junio 2018].

- [22] «Maril P. Jones & Assoc. Inc.,» [En línea]. Available: [https://www.mpja.com/download/hc-sr04\\_ultrasonic\\_module\\_user\\_guidejohn.pdf](https://www.mpja.com/download/hc-sr04_ultrasonic_module_user_guidejohn.pdf). [Último acceso: 19 Junio 2018].
- [23] hub360, «UltraSonic Sensor,» [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjmqJyK5M7cAhUDnFkKHx8UDOAQjxx6BAgBEAI&url=http%3A%2F%2Fhub360.com.ng%2Fshop-2%2Fultrasonic-sensor%2F&psig=AOvVaw30kHIHXmufwBFi0J9WHk-O&ust=1533313489288671>. [Último acceso: 02 06 2018].
- [24] Arduino, «Arduino cl,» ¿Qué es Arduino?, [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 16 06 2018].
- [25] The Things Network, «The Things UNO,» [En línea]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/uno/>. [Último acceso: 19 06 2018].
- [26] Microchip, «Microchip,» Embedded Wireless: Low-Power Wide-Area Network, [En línea]. Available: <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/low-power-wide-area-networks/lora-technology>. [Último acceso: 19 06 2018].
- [27] ElectroniLab, Polymer Lithium-ion Battery, [En línea]. Available: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/785060-2500mAh\\_specification\\_sheet.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/785060-2500mAh_specification_sheet.pdf). [Último acceso: 21 06 2018].
- [28] Brico Geek, «Bateria Lipo,» [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/baterias-lipo/939-bateria-lipo-500mah.html>. [Último acceso: 02 Agosto 2018].
- [29] Brico Geek, «Batería LiPo 1500mAh / 3.7V,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Batteries/UnionBattery-2000mAh.pdf>. [Último acceso: 02 Agosto 2018].
- [30] Monitorizar batería LiPo con Arduino, 23 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://trasteandoconarduino.blogspot.com/2013/12/monitorizar-bateria-lipo-con-arduino.html>. [Último acceso: 27 Julio 2018].

- [31] C. Veloso, «Como funciona el sensor ultrasónico HC-SR04,» 1 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/04/01/como-funciona-el-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>. [Último acceso: 8 Agosto 2018].
- [32] The CentOS Project, «About CentOS,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.centos.org/about>. [Último acceso: 9 Agosto 2018].
- [33] Amazon Web Services Inc., «Tipos de instancias de Amazon EC2,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/ec2/instance-types/>. [Último acceso: 9 Agosto 2018].
- [34] MySQL, «MySQL :: Developer Zone,» Enero 2018. [En línea]. Available: <https://dev.mysql.com/>.
- [35] The Apache Software Foundation., «The Apache HTTP Server Project,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://httpd.apache.org/>. [Último acceso: 9 Agosto 2018].
- [36] 2018 MetaGeek, LLC. , «Understanding RSSI Levels,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>. [Último acceso: 9 Agosto 2018].
- [37] photonis, «Signal-to-Noise Ratio,» 01 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/signal-to-noise-ratio>. [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [38] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov y A. Roivainen, «On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology,» 2015. [En línea]. Available: [http://cc.oulu.fi/~kmikhayl/site-assets/pdfs/2015\\_ITST.pdf](http://cc.oulu.fi/~kmikhayl/site-assets/pdfs/2015_ITST.pdf). [Último acceso: 29 Agosto 2018].
- [39] TTN Mapper, «TTN Mapper,» The Thing Network, 31 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://ttnmapper.org/experiments/map.php?name=GYE-31Agosto-ESPOL>. [Último acceso: 31 Agosto 2018].
- [40] L. Nordin, «Spreading Factor (SF), Time on Air and (Adaptive) Data Rate,» 01 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://zakelijkforum.kpn.com/lora-forum-16/spreading-factor-sf-time-on-air-and-adaptive-data-rate-10908>. [Último acceso: 20 Agosto 2018].



## ANEXOS

Visita a puntos de recolección

### ANEXO A



### ANEXO B



## ANEXO C

