



**Desarrollo de un Site Survey de la Red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de Geoposicionamiento en el cantón Quito.**

Chasi Laica, Jonathan Alexander y Gutiérrez Pallo, José Antonio

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Ing. Lara Cueva, Román Alcides PhD.

18 de Julio de 2022



### TESIS FINAL BORRADOR2\_CHASI\_GUTIERREZ.pdf

Scanned on: 15:6 July 13, 2022 UTC



Firmado digitalmente por:  
**ROMAN  
ALCIDES LARA**



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	380
Words with Minor Changes	385
Paraphrased Words	318
Omitted Words	1551



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **"Desarrollo de un Site Survey de la red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de Geoposicionamiento en el cantón Quito"** fue realizado por los señores **Jonathan Alexander Chasi Laica con ID L00368443** y **José Antonio Gutiérrez Pallo con ID L00366117**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 15 de julio de 2022.**



**Ing. Lara Cueva, Román Alcides PhD.**

**C.I.: 1713988218**



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Chasi Laica Jonathan Alexander con C.C 0503986598 y Gutiérrez Pallo José Antonio con C.C 1720823846**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Desarrollo de un Site Survey de la red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de Geoposicionamiento en el cantón Quito"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 15 de julio de 2022**

**Chasi Laica Jonathan Alexander**

NC.C.: 0503986598

**Gutiérrez Pallo José Antonio**

C.C: 1720823846



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Autorización de Publicación**

Nosotros **Chasi Laica Jonathan Alexander** con C.C 0503986598 y **Gutiérrez Pallo José Antonio** con C.C 1720823846, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Desarrollo de un Site Survey de la red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de Geoposicionamiento en el cantón Quito"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 15 de julio de 2022**

**Chasi Laica Jonathan Alexander**

C.C.: 0503986598

**Gutiérrez Pallo José Antonio**

C.C: 1720823846

## **Dedicatoria**

Este presente trabajo está dedicado en primer lugar a mi hermana Andrea Chasi por su ayuda incondicionalmente en todo aspecto durante este camino, a mis padres Fausto Chasi y Mónica Laica quienes siempre estuvieron pendientes apoyándome semana tras semana en este periodo universitario. A mi hermano Xavier Chasi que siempre me alegraba hasta en los días más difíciles que pase en la universidad.

Chasi Laica, Jonathan Alexander.

## Dedicatoria

En primer lugar, este trabajo dedico a Dios quien es el pilar fundamental de nuestras vidas, él que nos brinda cada amanecer salud y vida para lograr los objetivos que uno se propone, ya que sin Dios nada de esto fuese posible.

A mis padres Rosario del Carmen Pallo Zúñiga y José Antonio Gutiérrez Moncayo, por ser mis mentores en cada paso de la vida, por ser mi guía en cada momento y por siempre brindarme el amor incondicional.

A mi hermana Diana Stefanía Gutierrez Pallo, siendo ella mi ejemplo a seguir la que me ha enseñado que todo lo que uno se propone lo puede lograr.

A mi abuelito José Pallo, que es una alegría en mi vida, que gracias a sus historias y experiencias que ha pasado durante su vida he crecido como persona.

A mi tía Jenny Paulina Pallo Zúñiga, quien ha sido para mí como mi segunda madre por brindarme siempre una sonrisa en cualquier momento de la vida y a su vez a toda mi familia que me ha demostrado el cariño y amor.

En especial este trabajo se lo dedico a mi abuelita Hipatia de Las Mercedes Zúñiga Almeida, que ha sido mi ángel desde el cielo, que me ha brindado fuerzas cada día para lograr este objetivo.

Gutiérrez Pallo, José Antonio.

## **Agradecimiento**

Agradezco al Departamento de Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones por todo el conocimiento, aprendizaje y experiencia adquirida en esta etapa académica de mi vida.

A mi tutor el Ing. Román Lara quien nos supo guiar dándonos tutorías, asesoramiento y consejos en el desarrollo de este trabajo de investigación hasta el último momento.

Finalmente, a José Gutiérrez con quien empezamos esta ruta juntos desde el primer día en el Universidad hasta el último, ha sido un excelente compañero y amigo para terminar este proceso.

Chasi Laica, Jonathan Alexander.

## Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cumplir todos los objetivos trazados hasta ahora, por brindarme salud y vida, por darme un nuevo amanecer y permitirme admirar toda su creación, gracias por todas sus bendiciones en cada tramo de esta carrera y de toda la vida.

Agradezco a mis padres por su amor y comprensión en cada etapa de mi vida, por la educación que me han dado a lo largo de su vida, por ser el eje de mi vida ya que sin ellos nada de esto lo habría logrado, por ser la luz de mi vida, por cada día inculcarme valores, gracias a ellos soy una persona con valores y virtudes, de igual forma a mi hermana por siempre enseñarme que se puede lograr lo que se propone, que uno es fuerte ante las adversidades, que en momentos difíciles siempre es bueno darse un respiro para continuar con más fuerza.

A mis mejores amigos Byron Caisa, Ronny Jinez, Christian Pozo, amigos que sin importar nada están y con su alegría y cariño esta vida es más feliz. El logro de uno es el logro de todos.

A mi enamorada Michelle Rocha, la mujer que me supo guiar en cada momento, ella que me ayuda a crecer como persona, una mujer incondicional que está en todo momento, la que me ha dado esas fuerzas necesarias cuando he decaído anímicamente, la que agradezco a Dios por haberla puesto en mi camino.

A mis amigos que fui haciendo en este camino de la vida universitaria, pero en especial a mi mejor amigo de la Universidad Jonathan Chasi quien logramos este objetivo con dedicación y esfuerzo todo se puede lograr, y desde un inicio siempre fue así con mi amigo.

Finalmente, agradezco especialmente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, al Ingeniero Román Alcides Lara Cueva quien han sido el mentor para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Gutiérrez Pallo, José Antonio

## Tabla de Contenido

Análisis Copyleaks .....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimiento .....	8
Agradecimiento .....	9
Tabla de Contenido .....	10
Índice de Tablas .....	14
Índice de Figuras .....	15
Resumen.....	18
Abstract .....	19
Capítulo I.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes .....	20
Justificación e Importancia .....	23
Alcance .....	24
Objetivos.....	25
<i>Objetivo General</i> .....	25

<i>Objetivos Específicos</i> .....	25
Descripción general del proyecto .....	25
Capítulo II.....	27
Marco Teórico .....	27
Internet de las cosas (IoT).....	27
Red LPWAN.....	28
LoRa .....	30
Clases de nodos .....	32
NB- IoT .....	33
Sigfox.....	36
Arquitectura de la red.....	41
Capacidad de la red .....	42
Comparación de Tecnologías IoT. ....	43
<i>Site Survey</i> .....	43
<i>ThingSpeak</i> .....	44
MongoDB.....	46
Dispositivos.....	48
<i>Sipy</i> .....	48
<i>Pytrack</i> .....	49
<i>Estación Base Sigfox</i> .....	50
HTTP .....	52
Lenguajes de programación.....	52

<i>HTML y CSS</i> .....	52
<i>Javascript</i> .....	53
Capítulo III.....	55
Desarrollo e Implementación .....	55
Configuración de los dispositivos .....	55
Programación del dispositivo .....	57
Puntos para el mapa de cobertura .....	60
Arquitectura de red.....	81
Configuración del canal en <i>ThingSpeak</i> .....	82
Conexión entre Sigfox y <i>ThingSpeak</i> .....	84
Página Web .....	87
Capítulo VI .....	89
Pruebas y Resultados .....	89
Mapa de cobertura.....	89
Límites de la cobertura de la red Sigfox .....	97
Precisión del prototipo de Geoposicionamiento.....	98
Precisión respecto al radio de medición .....	104
Calidad del enlace.....	106
Página Web. ....	107
Capitulo V.....	113
Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuros .....	113
Conclusiones .....	113

Recomendaciones y Trabajos Futuros .....	115
Referencias .....	117
Apéndices .....	120

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Siete zonas geográficas basadas en la RC</i> .....	37
<b>Tabla 2</b> <i>Indicador de la calidad del enlace (LQI) para RC-1, RC-3, RC-5, RC-6 y RC-7.</i> .....	39
<b>Tabla 3</b> <i>Indicador de la calidad del enlace (LQI) para RC-2 y RC-4.</i> .....	39
<b>Tabla 4</b> <i>Comparación de tecnologías IoT</i> .....	43
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones técnicas de Sipy</i> .....	48
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones técnicas de Pytrack</i> .....	49
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones técnicas Radio Base Sigfox</i> .....	51
<b>Tabla 8</b> <i>Límites de la cobertura de la tecnología Sigfox en el cantón Quito.</i> .....	97
<b>Tabla 9</b> <i>Puntos de geoposicionamiento del prototipo, GPS Xiaomi Note 10S y distancia entre prototipos</i> .....	98
<b>Tabla 10</b> <i>Precisión del dispositivo dentro del radio de medición</i> .....	104

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Tecnologías inalámbricas</i> .....	29
<b>Figura 2</b> <i>Estructura tecnología LoRa</i> .....	31
<b>Figura 3</b> <i>Arquitectura LoRaWan</i> .....	32
<b>Figura 4</b> <i>Arquitectura NB-IoT</i> .....	34
<b>Figura 5</b> <i>Enlace descendente NB-IoT</i> .....	35
<b>Figura 6</b> <i>Disponibilidad geográfica de la red Sigfox</i> .....	38
<b>Figura 7</b> <i>Método de recepción cooperativa red Sigfox</i> .....	40
<b>Figura 8</b> <i>Arquitectura de la red Sigfox</i> .....	41
<b>Figura 9</b> <i>Tramas de enlace ascendente y descendente de la red Sigfox</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Esquema de procesos de ThingSpeak</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Modulo Sipy</i> .....	48
<b>Figura 12</b> <i>Módulo de extensión Pytrack</i> .....	49
<b>Figura 13</b> <i>Partes de la Radio Base de Sigfox</i> .....	50
<b>Figura 14</b> <i>Registro de los dispositivos en la plataforma Pybytes</i> .....	56
<b>Figura 15</b> <i>Información del dispositivo en el Backend de Sigfox</i> .....	56
<b>Figura 16</b> <i>Diagrama de bloques</i> .....	57
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama de Flujo de para obtener los puntos de coordenadas</i> .....	58
<b>Figura 18</b> <i>Diagrama de flujo para el envío de datos</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Mapa de cobertura de la red Sigfox en el Ecuador</i> .....	60
<b>Figura 20</b> <i>Cobertura en el cantón Quito de la red Sigfox</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Primer mapa de coordenadas del cantón Quito</i> .....	62
<b>Figura 22</b> <i>Segundo mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	65
<b>Figura 23</b> <i>Tercer mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	67
<b>Figura 24</b> <i>Cuarto mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	69

<b>Figura 25</b> <i>Quinto mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	70
<b>Figura 26</b> <i>Sexto mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	71
<b>Figura 27</b> <i>Séptimo mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	73
<b>Figura 28</b> <i>Octavo mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	74
<b>Figura 29</b> <i>Noveno mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	75
<b>Figura 30</b> <i>Décimo mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	77
<b>Figura 31</b> <i>Décimo primer mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	78
<b>Figura 32</b> <i>Décimo segundo mapa de coordenadas en el cantón Quito</i> .....	79
<b>Figura 33</b> <i>Décimo tercer mapa de coordenadas parte del sector Valle de los Chillos</i> .....	80
<b>Figura 34</b> <i>Décimo cuarto mapa de coordenadas sector Universidad de las Fuerzas Armadas</i> .....	81
<b>Figura 35</b> <i>Arquitectura conexión Sigfox y ThingSpeak</i> .....	82
<b>Figura 36</b> <i>Configuración canal de ThingSpeak</i> .....	83
<b>Figura 37</b> <i>Charts de los parámetros enviados en ThingSpeak</i> .....	84
<b>Figura 38</b> <i>API generado para la conexión entre Sigfox y ThingSpeak</i> .....	85
<b>Figura 39</b> <i>Configuración callback de Sigfox</i> .....	85
<b>Figura 40</b> <i>URL para conexión de ThingSpeak con Sigfox</i> .....	86
<b>Figura 41</b> <i>URL con cambios para la conexión entre ThingSpeak y Sigfox</i> .....	86
<b>Figura 42</b> <i>Diagrama de bloques de las partes de la página web</i> .....	88
<b>Figura 43</b> <i>Mapa de cobertura de la red Sigfox en el cantón Quito</i> .....	89
<b>Figura 44</b> <i>Mapa de cobertura zona Norte</i> .....	90
<b>Figura 45</b> <i>Mapa de cobertura zona Centro-Norte</i> .....	91
<b>Figura 46</b> <i>Mapa de cobertura zona Centro</i> .....	91
<b>Figura 47</b> <i>Mapa de cobertura zona Centro-Sur</i> .....	93
<b>Figura 48</b> <i>Mapa de cobertura zona Sur</i> .....	93

<b>Figura 49</b> <i>Mapa de cobertura zona valle</i> .....	95
<b>Figura 50</b> <i>Mapa de calor de la intensidad de la red Sigfox en Quito</i> .....	96
<b>Figura 51</b> <i>Densidad de probabilidad de la distancia entre ambos equipos de trabajo</i> .....	102
<b>Figura 52</b> <i>Frecuencia de las mediciones del dispositivo dentro del radio de 80m</i> .....	104
<b>Figura 53</b> <i>Calidad del enlace en toda la base de datos</i> .....	106
<b>Figura 54</b> <i>Primer contenedor de la página web</i> .....	107
<b>Figura 55</b> <i>Segundo contenedor de la página web</i> .....	108
<b>Figura 56</b> <i>Tercer contenedor de la página web</i> .....	108
<b>Figura 57</b> <i>Cuarto contenedor de la página web</i> .....	109
<b>Figura 58</b> <i>Quinto contenedor de la página web</i> .....	111
<b>Figura 59</b> <i>Sexto contenedor de la página web</i> .....	112

## Resumen

Las redes LPWAN (*LPWAN*, del inglés *Low Power Wide Area Network*) permiten la conectividad de dispositivos de IoT (IoT, del inglés *Internet of Things*), las principales tecnologías de IoT en el Ecuador son NB-IoT, LoRa y Sigfox. El objetivo de la tecnología Sigfox es conectar una gran cantidad de dispositivos para la transmisión de datos, de tal forma que se puedan cubrir las necesidades de las personas o empresas para que puedan implementar diferentes aplicaciones con esta tecnología. En toda red inalámbrica existe lugares donde existe zonas sin cobertura y esto no es la excepción en las redes LPWAN, por esta razón este proyecto es el desarrollo de un *Site Survey* de esta red mediante un prototipo de geoposicionamiento, en el que se realiza un levantamiento de la información que nos servirá para poder tener un mapa de cobertura a partir de los niveles de RSSI (RSSI, del inglés, *Received Signal Strength Indicator*) de esta red en el cantón Quito.

La toma de mediciones se realizó alrededor de todo el cantón Quito donde se obtuvo un mapa de aproximadamente 800 paradas, con una resolución entre paradas de 200m, el radio de medición alrededor de la parada es de 80m, para tener una base de datos de aproximadamente 5000 mediciones realizadas, por medio de la base de datos Mongo DB se pudo obtener un mapa de calor y un mapa de cobertura a partir de los niveles de RSSI con ello se pudo obtener un mapa de cobertura de baja resolución.

El mapa de cobertura de la tecnología Sigfox que se encuentra en su página web no es confiable porque se realizó mediciones también en sectores de Latacunga y Machachi donde no existe cobertura a pesar que en el mapa indica que, si hay, pero este a su vez funcionó como guía para el desarrollo del proyecto de investigación y se obtuvo como resultado que la tecnología Sigfox tiene una buena calidad de enlace en el cantón Quito con 3507 datos de los 5174 datos que se tiene en la base de datos generada por el prototipo de geoposicionamiento.

*Palabras claves:* Sigfox, Cobertura, IoT, Geoposicionamiento, LPWAN.

## Abstract

LPWAN networks (LPWAN, Low Power Wide Area Network) allow connectivity of IoT devices (IoT, Internet of Things), the main IoT technologies in Ecuador are NB-IoT, LoRa and Sigfox. The objective of Sigfox technology is to connect a large number of devices for data transmission, so that the needs of people or companies can be covered so that they can implement different applications with this technology. In any wireless network there are places where there are areas without coverage and this is no exception in LPWAN networks, for this reason this project is the development of a Site Survey of this network through a prototype of geopositioning, in which a survey of the information that will serve us to have a coverage map from the levels of RSSI (RSSI, Received Signal Strength Indicator) of this network in the canton of Quito is performed.

The measurements were taken around the entire Quito canton where a map of approximately 800 stops was obtained, with a resolution between stops of 200m, the measurement radius around the stop is 80m, to have a database of approximately 5000 measurements made, through the Mongo DB database we could obtain a heat map and a coverage map from the RSSI levels with this we could obtain a coverage map of low resolution.

The coverage map of the Sigfox technology found on its web page is not reliable because measurements were also taken in sectors of Latacunga and Machachi where there is no coverage even though the map indicates that there is, but this in turn served as a guide for the development of the research project and the result was that the Sigfox technology has a good link quality in the Quito canton with 3507 data of the 5174 data in the database generated by the geopositioning prototype.

*Keywords:* Sigfox, Coverage, IoT, Geopositioning, LPWAN.

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

El avance de la tecnología va en auge con el pasar de los años, la Internet permite la conectividad entre todo el mundo, lo cual hace 20 años quizás nadie hubiese imaginado, esto viene de la mano con varias necesidades las cuales son desde comunicarse con alguna persona en cualquier lugar del mundo, hasta realizar las tareas cotidianas del ser humano automáticamente, mediante una programación previa, donde los dispositivos que realizan esta acción se encuentran interconectados por Internet.

Muchas tecnologías han aparecido en este último tiempo como lo es *Machine Learning*, la Inteligencia Artificial, las redes Inalámbricas 5G, entre otros.

Las personas cada vez realizan más tareas y permanecen más tiempo ocupadas, esto lleva a que las tareas cotidianas no sean de gran importancia y con la tecnología estas actividades pueden ser solventadas de una manera práctica mediante las aplicaciones del Internet de las Cosas (*IoT*, del inglés *Internet of Things*).

El IoT es el conjunto de dispositivos y sensores electrónicos interconectados entre sí que se encargan de medir, recopilar y enviar datos a un servidor centralizado o a la nube, tal y como informa la Oficina de Seguridad del Internauta, en este sentido las aplicaciones de IoT necesitan estar conectados a la red todo el tiempo posible, de tal forma que los sensores puedan enviar o recibir una señal de la red y cumplir la actividad para la que fueron diseñados.

Las redes usadas para estos dispositivos son las redes de área amplia y de baja potencia (*LPWAN*, del inglés *Low Power Wide Area Network*) que permite la conectividad de una gran cantidad de dispositivos sin que la red colapse, las más usadas son NB-IoT, LoRa (LoRa, del inglés *Long Range*) y Sigfox.

La herramienta de *Site Survey* es una alternativa para la realización de estudios de sitio a bajo costo, en distintos campos de trabajo se realiza este tipo de estudios en donde se hace un levantamiento de la información dependiendo del objetivo que tiene el *Site Survey*, un ejemplo es en la implementación de una red WiFi, en donde se analiza varios parámetros que son importantes para determinar la colocación apropiada de los dispositivos inalámbricos con el objetivo de tener una red eficiente, evitando interferencias y reduciendo las zonas de cobertura conflictivas.

La primera fase de un proyecto en toda empresa es la realización de un *Site Survey*, donde se debe detallar puntos necesarios para la realización del mismo, en un caso específico de la empresa Digitec S.A en el proyecto “Ampliación de la Red de Sincronismo de la CNT EP” lo primero en tener en cuenta es el lugar con coordenadas, las personas a cargo y la fecha de realización, después los objetivos del Survey y la información del sitio como puede ser los horarios y requerimiento de acceso, ubicación del equipo.

Es necesario indicar la información de energía y el sistema de tierra según el requerimiento de los equipos, detallar los servicios existentes y los nuevos a implementar, el recorrido de cables de energía, tierra y RF (RF, del inglés *Radio Frequency*), diagramas del sitio con la ubicación exacta donde se implementará el nuevo equipo, un resumen de los materiales necesarios para la implementación y por último un registro fotográfico del sitio para empezar a realizar el proyecto (Digitec, 2022).

La empresa Microchip en el manual técnico de sus equipos siempre realizan un *Site Survey* para que el cliente conozca las especificaciones técnicas del sitio antes de realizar la instalación, estas pueden ser, el lugar de trabajo disponga de una fuente de alimentación específica para el funcionamiento del equipo, la existencia de una conexión a tierra, las conexiones deben estar protegidas por fusibles de un amperaje específico como por ejemplo de 5A y por otro lado las especificaciones físicas, por ejemplo, el caso que el equipo se coloque en un rack, este debe ser de un tamaño específico y dejando unidades de rack separados de otro

equipo para poder disipar el calor. En general es muy importante realizar este tipo de estudios antes de cualquier implementación (Microchip, 2020).

En el trabajo “*Site Survey* para la implementación de una red Wi-Fi” se realiza como una alternativa a la implementación de una red Wi-Fi en las instalaciones de la facultad de Ingeniería, con el mismo se determinará la colocación apropiada de los dispositivos inalámbricos con el objetivo de obtener la red deseada, evitando interferencias, reduciendo zonas de cobertura conflictivas, evitando que los dispositivos se desconecten y perjudiquen a la red completa.

A base de la información que desarrollaron en la investigación, se concluyó que realizaron la medición de tres puntos de acceso, ubicándose en un punto en la grilla de la herramienta *Ekahau HeatMapper*, se tiene como referencia la ubicación actual y como resultado se obtiene la cobertura que tiene cada punto de acceso (Medrano, Castillo, Tejerina, & Gonzales, 2017).

En el trabajo “Evaluación del Área de Solapamiento en Redes Wi-Fi Empleando Modelos de Propagación para Interiores y Realizando Mediciones en el Sitio” es un estudio de tres modelos diferentes de propagación, además se describe la realización de un *Site Survey*. La simulación de los modelos y la representación gráfica que se realizaron en el área cubierta por los *Access Points* del campus principal de Politecnico di Torino. Este trabajo se realizó como parte de un proyecto de diseño de redes energéticamente eficientes.

En base a la información proporcionada se evidencia claramente que el Modelo de Propagación Multipared es el modelo más adecuado, utilizando este modelo, se puede predecir con bastante precisión tanto la forma del mapa de cobertura, los niveles de potencia y el porcentaje de solapamiento para un lugar determinado (Tipantuña, Kallas, Meo, & Ajmone, 2014).

## Justificación e Importancia

La pandemia aceleró mucho la conectividad al Internet en el Ecuador, tanto en sectores urbanos como rurales, esto permitió que el ámbito digital avance entre unos 5 a 10 años, aumentó la demanda de conexión a Internet tanto de hogares como de empresas, para obtener servicios de conectividad, *IoT*, *Big Data*, *Data Center*, *Cloud Computing*, etc (Astudillo, 2021) .

En Ecuador ya existen aplicaciones de IoT en diferentes industrias, como en el sector de salud, donde existen relojes conectados con el teléfono, la empresa Claro también ofrece aplicaciones para monitorear el vehículo, existen relojes de geolocalización para niños, la incorporación del IoT afecta en todas las actividades diarias de las personas, todo esto ayuda a automatizar proceso y recursos en la industria. El Gobierno del Ecuador en la presentación de “Ecuador Digital” presentó la idea de llegar al 98% de conectividad y servicios de telecomunicaciones, de esa manera cubrir todas las zonas rurales (MINTEL, 2021).

Las redes inalámbricas como Wi-Fi o 3G/4G no son las únicas tecnologías disponibles para dar conectividad a dispositivos IoT, existen todas las generaciones de redes LPWAN que están diseñadas expresamente para atender millones de conexiones simultáneas de dispositivos de muy baja potencia de transmisión, consumo eléctrico y relativamente bajos en anchos de banda en áreas metropolitanas. Estas tecnologías en muchos países se aprovechan para crear todo tipo de soluciones para atender problemas locales y globales (Montes & Camacho, 2018).

Las aplicaciones de consumo en LPWAN todavía son incipientes, por lo que no se usan ampliamente. Sin embargo, Sigfox gana impulso en Europa, “IoT Central” informa sobre un aumento del 6% en adopción durante el último año. Las aplicaciones actuales son principalmente industriales y están en transición hacia “ciudades inteligentes”, donde las empresas de servicios públicos y los servicios están encontrando más casos de uso (Altium, 2020).

El problema que en la actualidad se tiene en el desarrollo de aplicaciones IoT en el país, es la baja demanda de las mismas ya que las redes tradicionales actualmente no soportan una gran cantidad de dispositivos ya que estos ocasionan un colapso de la red, la incursión de estas nuevas tecnologías como lo es Sigfox es permitir al usuario desarrollar varias aplicaciones IoT donde se encuentren conectados varios dispositivos IoT sin que haya problemas en la red, sin embargo es necesario realizar un *Site Survey* de la red Sigfox para garantizar la conectividad de la red porque en toda red inalámbrica existe lugares con zonas de cobertura conflictivas.

Por esta razón este proyecto de investigación busca garantizar que el usuario tenga conectividad dependiendo del lugar en donde se implemente las aplicaciones y de esta manera evitar que exista una mala conexión, la cual ocasionaría que la aplicación no sea funcional.

### **Alcance**

En este proyecto de investigación se desarrolla un *Site Survey* de la tecnología Sigfox en el cantón Quito, enfocado para la creación de nuevos proyectos tecnológicos que abarquen esta nueva tecnología en el país, como lo ha sido LoRa. Para este desarrollo de *Site Survey* los prototipos de geolocalización se conectan con las estaciones base de Sigfox, se genera un mapa de paradas por todo el cantón Quito, las paradas son puntos de geoposicionamiento que tienen latitud y longitud, tienen una resolución de 200 metros entre parada y parada, se genera una base de datos de aproximadamente 5000 mensajes los cuales garantizan el desarrollo de un mapa de cobertura de baja resolución de la tecnología Sigfox en el cantón Quito.

El proyecto se desarrolla por medio de código fuente con lenguaje de *MicroPython* para la lectura de geo-posición de los prototipos, al momento de estar en la posición requerida envía un mensaje al *Backend* de Sigfox, a este mismo llegan los datos en formato hexadecimal y mediante un *Callback* se logran conectar con un servicio de plataforma de análisis IoT como lo es *Thingspeak*, una vez almacenada en esta plataforma los datos enviados por los prototipos

se enlaza con la base de datos en este caso es MongoDB, en donde se puede visualizar cada una de las mediciones importantes por medio de cuadros de gráfico (*Charts*).

Con la finalidad de realizar el proyecto de investigación previo a la titulación, se proponen los siguientes objetivos.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Desarrollar un *Site Survey* de la red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de geoposicionamiento en el cantón Quito.

### ***Objetivos Específicos***

- Estudiar sobre el estado del arte de la tecnología Sigfox y sus beneficios hacia el IoT.
- Monitorizar el funcionamiento del prototipo mediante la plataforma de Sigfox, de forma que se puedan evitar datos erróneos por parte de la conectividad.
- Medir los valores de RSSI obtenidos del prototipo en los lugares donde se presente cobertura de la red.
- Obtener los puntos de coordenadas del prototipo de geoposicionamiento para el diseño de la cobertura de la tecnología Sigfox.
- Generar una base de datos a partir de las medidas realizadas por el prototipo.
- Comprobar la precisión del prototipo del geoposicionamiento que otorgaría el prototipo conectado a la red con respecto a la ubicación fija en distintos puntos ubicados en el cantón Quito.
- Diseñar una página web para la visualización de los resultados obtenidos.

## **Descripción general del proyecto**

La organización del proyecto de investigación se presenta de la siguiente manera:

En el primer capítulo se encuentra una descripción general del trabajo de investigación como los antecedentes, justificación e importancia, el alcance, objetivos.

En el segundo capítulo se desarrolla el Estado de Arte, al detallar conceptos tales como IoT, redes LPWAN (LoRa, NB-IoT, Sigfox), *Site Survey*, *ThingSpeak*, MongoDB, lenguajes de programación, Dispositivos utilizados en el proyecto de investigación de modo que se tenga fundamentos para comprender de mejor manera el capítulo de implementación.

En el tercer capítulo se explica el desarrollo e implementación del presente proyecto de investigación, en donde se detalla la caracterización de los módulos empleados y se describe las conexiones entre las plataformas para el almacenaje y visualización de los datos obtenidos como también el desarrollo de la página web que se elabora para mejorar la visualización de los resultados.

En el cuarto capítulo se detallan las pruebas realizadas por los prototipos de monitorización en todo el cantón Quito y se efectúa un análisis de los resultados obtenidos.

En el último capítulo se proporciona las conclusiones y recomendaciones, a la vez que se presenta posibles trabajos futuros que sigan con la línea de investigación.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Internet de las cosas (IoT)

El IoT engloba una red de objetos físicos, los cuales tienen incorporados sensores y son monitoreados con el objetivo de conectar e intercambiar datos con otros diferentes dispositivos mediante la Internet. La característica principal de estos objetos es que son objetos domésticos del uso cotidiano, hasta herramientas industriales sofisticadas. En la actualidad existen se provee que para el año 2025 existan 22 mil millones de objetos conectado a la red. En los últimos años se ha convertido en una de las tecnologías más importantes del siglo XXI, con la ayuda de la informática de bajo coste, la nube, *Big Data* y las tecnologías móviles, las cosas pueden compartir y recopilar información con una mínima intervención humana, estos objetos pueden grabar, supervisar y ajustar cada interacción entre las cosas conectadas (ORACLE, 2020).

La unión y el avance de varias tecnologías hicieron posible que el IoT evolucionara, algunas de las características más relevantes son:

- **Conectividad:** el crecimiento del volumen de datos necesarios para el IoT solo es posible con una conexión a Internet y a la nube suficientemente robusta de forma que se puedan enviar y recibir datos complejos y voluminosos.
- **Tecnología de sensores:** el precio de los sensores para IoT ha caído más de un 70% desde el 2004, esto se debe al aumento en la demanda de mejoras, funcionalidad y diversidad de los sensores usados para el IoT.
- **Inteligencia Artificial y *Machine Learning*:** estas tecnologías ayudan a las empresas en el procesamiento de grandes cantidades de datos del IoT, también analizarlos y aprender de ellos.

- **Computación en la nube:** los servicios en la nube para el IoT pueden proporcionar capacidades de procesamiento y almacenamiento de gran capacidad, allanando el camino para que los dispositivos de IoT recopilen y transmitan conjuntos de datos cada vez más grandes al igual que complejos. Las soluciones de nube privada también permiten a las empresas administrar grandes cantidades y tipos de datos de IoT mientras mantienen la seguridad de los sistemas cerrados.
- **Edge computing:** descentraliza la potencia de procesamiento de un sistema acercándolo a la fuente de datos. Esto se hace mediante la integración de sistemas informáticos locales, así como la creación de capacidades de procesamiento en los propios dispositivos de IoT. Estos datos procesados conducen a una acción inmediata en el sitio web y luego se envían periódicamente, en un formato más estructurado a un sistema central donde la analítica y el procesamiento son avanzados (SAP, 2021).

### **Red LPWAN.**

Las redes LPWAN son un protocolo de transmisión de datos inalámbrico que hoy se considera uno de los protocolos principales para el despliegue de dispositivos de IoT. Los estándares finales para el IoT aún no se han determinado, de hecho, los protocolos están en pleno desarrollo y varios proyectos tienen como objetivo establecer estándares (Rosa, 2021).

Este sistema de red es una alternativa real y efectiva a la comunicación de datos móviles que ya se ha implementado en telemetría, pero solo para volúmenes de datos bajos como el IoT (que no es apto para video o audio). Cubre grandes áreas de manera efectiva y se presenta como una buena alternativa a las tecnologías de comunicación móvil actuales (SINELEC, 2021).

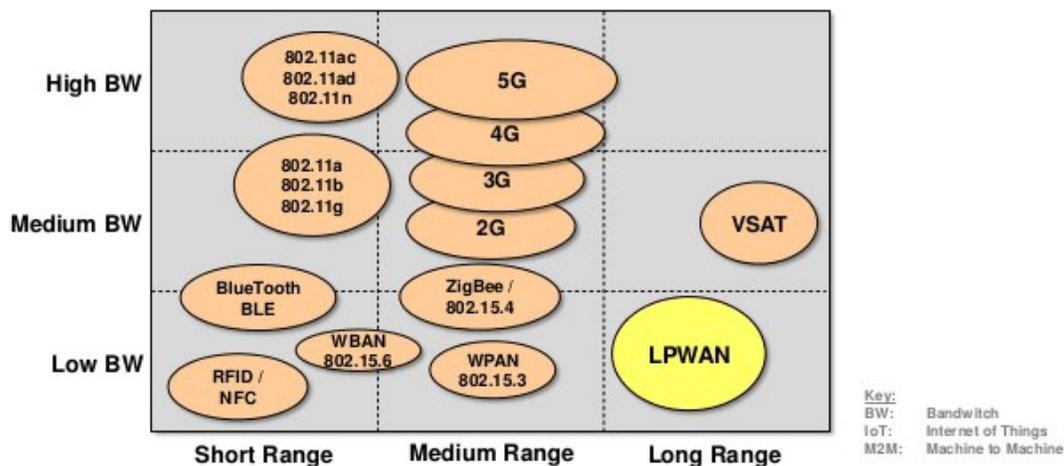
Las redes LPWAN tienen tres características principales, las cuales hacen coincidir en el requerimiento de IoT:

- **Alcance Geográfico:** Está diseñado para transmitir datos de forma inalámbrica entre dispositivos que están separados por kilómetros, no por metros.
- **Cantidad de Data transmitida:** La idea de LPWAN es adaptarse a la transmisión intermitente de pequeñas cantidades de datos.
- **Bajo consumo energético:** El protocolo se basa en el uso de dispositivos con baterías que permiten trabajar años en lugar de semanas y meses.

Estas características también distinguen a LPWAN de otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi (Wi-Fi, del inglés, *Wireless Fidelity*), *Bluetooth*, 3GPP (3GPP, del inglés, *Third Generation Partnership Project*) y Zigbee (Rosa, 2021).

**Figura 1**

*Tecnologías inalámbricas*



Nota. La figura 1 representa el espacio regido por cada una de las tecnologías inalámbricas en términos de ancho de banda y alcance físico. Tomado de Egli, Overview of emerging technologies for low power wide area networks in internet of things and m2m scenarios, 2015.

Es importante mencionar que los dispositivos que se conectan con una red LPWAN trabajan en la banda de frecuencia ISM (ISM, del inglés *Industrial, Scientific and Medical*), estas

varían según la zona geográfica donde se implemente, como se observa en la figura 1 tienen un largo alcance por lo que son óptimas para los dispositivos de IoT, esta banda de frecuencia representa el espectro reservado internacionalmente para usos no comerciales relacionados con la industria, la ciencia y los servicios médicos. Este ancho de banda reservado es importante ya que se puede utilizar sin pagar una licencia por su utilización, siempre que se respeten los límites de los niveles de potencia de transmisión (Rosa, 2021).

- Banda ISM 868MHz (Europa, África, Asia, Oceanía): Frecuencias: de 863 a 869,9MHz. 140, 80 ó 40 canales separación 50kHz o 100kHz.
- Banda ISM 902MHz (América): Frecuencias: de 902 a 928MHz. 255 canales separación 100kHz.
- Banda ISM 902MHz e ISM 960MHz (Japón): frecuencias 916.7 a 923.5MHz. Separación 100kHz.

## LoRa

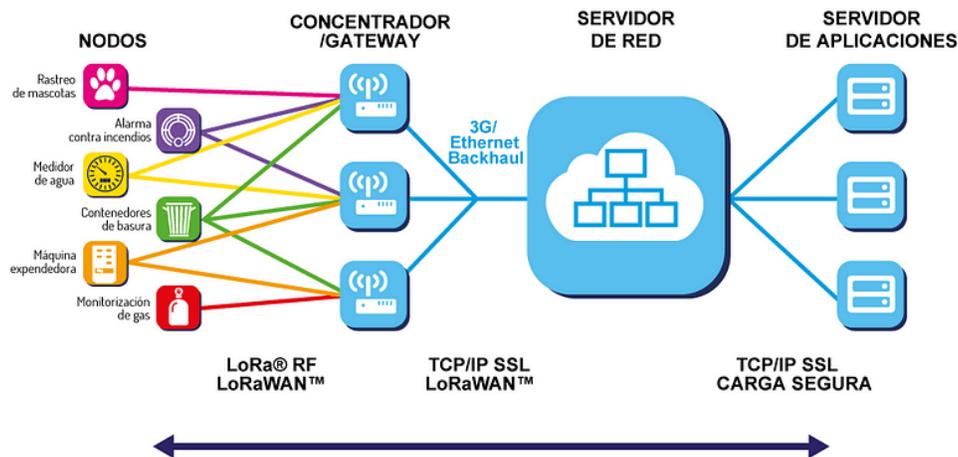
LoRa es un protocolo inalámbrico de baja velocidad y larga distancia, que nos permite conectar sensores y otros dispositivos, utilizando un bajo consumo de energía, esto hace que la batería funcione durante muchos años, por todas estas razones, es ideal para IoT, para la precisión de la comunicación se ha desarrollado una arquitectura de red denominada LoRaWAN (LoRaWAN, del inglés, *Long Range Wide Area Networks*) que es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa, la cual está compuesta por *Gateways*, que son transmisores inalámbricos en el segmento de red y se comunican directamente con todos los sensores, servidores de red, aplicaciones, seguridad, etc (Yubero, 2020).

Las características de esta red son parecidas a las de cualquier red LPWAN, con características específicas y propias de dicha red:

- **Largo alcance:** LoRa está diseñado para operar en ciudades y puede atravesar edificios y obstáculos. En estas condiciones puede alcanzar los 3 kilómetros y en áreas abiertas puede alcanzar los 20 kilómetros.
- **Baja transferencia de datos:** LoRa no puede transmitir grandes cantidades de datos, puede transmitir menos de 1 kbps.
- **Bajo consumo:** Permite implementar dispositivos con baterías pequeñas sin ningún tipo de interferencia durante muchos años, por lo que estos dispositivos resultan ser económicos y con un costo de mantenimiento bajo.
- **Numerosos dispositivos conectados:** Miles de dispositivos pueden estar conectados a un solo *Gateway*, mucho más que los dispositivos móviles conectados en una red celular, por tal razón al tener múltiples *Gateways* se pueden conectar cientos de miles de dispositivos a un costo muy bajo y enviar información sobre las condiciones que están monitoreando (Yubero, 2020).

**Figura 2**

*Estructura tecnología LoRa*



Nota. La figura 2 representa la estructura de la tecnología LoRa, donde el uso es libre para los usuarios, desarrolladores y empresas que instalen su propia red de IoT. Tomado de Campos, *Gateway LoRaWAN: el elemento clave de la red*, 2020.

La figura 2 indica un diagrama de la implementación de la tecnología LoRa en la aplicación de un dispositivo de IoT.

### Clases de nodos

- **Clase A:** se usa en la mayoría de dispositivos y ofrece un menor consumo, esto debido a que después de enviar datos al portal inicia tiempos (ventanas) en los que solo recibe información, es muy aplicada en los dispositivos que utilizan baterías.
- **Clase B:** posee ventanas fijas por un tiempo el cual es establecido por el portal, es común usarlo en dispositivos con baterías o conectados a la red eléctrica, esto depende de la duración de las ventanas.
- **Clases C:** tiene un mayor consumo porque siempre el dispositivo se encuentra en modo de recepción, se usa en los casos de que el dispositivo se encuentre conectado a la red eléctrica o una fuente externa (Boot & Work Corp. S.L., 2020).

**Figura 3**

### Arquitectura LoRaWAN



Nota. La figura 3 representa la estructura de la jerarquía de capas de la arquitectura LoraWan.

Tomado de Conceptos de actualidad: LoRa y LoRaWAN, 2021.

En la figura 3 podemos observar la división que existe entre LoRa y LoRaWAN, en donde podemos observar las características que tiene en su capa física y en su capa de acceso de la red.

## NB- IoT

El IoT de Banda Angosta (*NB-IoT*, del inglés, *Narrow Band Internet of Things*) fue desarrollada por 3GPP para cubrir las necesidades en comunicaciones.

NB-IoT es conocida como LTE Cat NB1, que es una tecnología de área extensa y baja potencia, desarrollada para conectar varios dispositivos mediante redes celulares existentes.

NB-IoT se desarrolló para admitir la implementación de aplicaciones de IoT.

Es una tecnología de banda estrecha y bajo consumo de energía que se maneja de manera eficiente, segura, confiable y transmite pequeñas cantidades de datos bidireccionales (Paguayo, 2019).

NB-IoT es una tecnología celular, utiliza las bandas de comunicaciones de celulares, la cual opera en diferentes formas, incluye la banda GSM (GSM, del inglés *Global System for Mobile*), comparte de igual forma la banda LTE (LTE, del inglés *Long Term Evolution*) e incluso aprovecha el espectro de frecuencia que existe entre los canales LTE, de esa forma aprovecha al máximo el espectro de comunicaciones (*guard-band*).

La principal diferencia que tiene NB-IoT con las diferentes LPWAN es que fue desarrollada limitada por la arquitectura LTE, por esta razón no puede sufrir por modificaciones en su estructura y arquitectura de la red móvil. NB-IoT al ser una tecnología *Half-Duplex* le permite habilitar la comunicación *uplink* de una manera eficiente (PROFESORUOC, 2018).

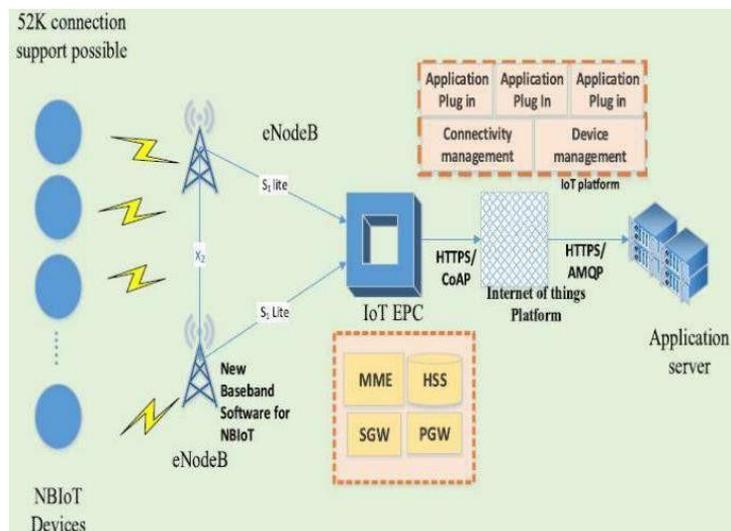
Características NB-IoT:

- Por cada canal existen más de 58000 de dispositivos conectados, esto debido a los limitados requerimientos que esta necesita.
- En HD-FDD (HD-FDD, del inglés *Half-Duplex- Frequency Division Duplex*) opera a un ancho de banda de 180kHz, esto facilita el diseño de todo transmisor porque no se necesita un duplexor que divida la recepción de la transmisión.
- La recepción discontinua extendida genera una prolongación de la vida de la batería y sus modos de funcionamiento ayudan en la preservación de dicha energía.

- Comparado con GPRS (GPRS, del inglés *General Packet Radio Service*) tiene un aumento de cobertura de aproximadamente 20dB en su potencia de transmisión, generalmente en aplicaciones en interiores, esto debido al uso de retransmisiones múltiples junto a una señal a ruido-interferencia SINR (SINR, de inglés *Signal to Interference & Noise Ratio*) renovada.
- Sus modos de despliegue son: *inband*, *standalone* y *modo in-band*.
- Utiliza modulación QPSK.
- Trabajan en bandas licencias, lo que garantiza seguridad en la comunicación (Miranda, 2019).

**Figura 4**

*Arquitectura NB-IoT*



Nota. La figura 4 representa la arquitectura NB-IoT. Tomado de Saiz: Estudio en detalle de NB-IoT: comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico, 2019.

En la figura 4 se indica realiza la conexión esta tecnología hacia sus dispositivos de IoT, NB-IoT proporciona las siguientes señales físicas y canales en el enlace descendente:

- Señal de sincronización primaria de banda estrecha (NPSS)

- Señal de sincronización secundaria de banda estrecha (NSSS)
- Canal de difusión física de banda estrecha (NPBCH)
- Señal de referencia de banda estrecha (NRS)
- Canal de control del enlace descendente físico de banda estrecha (NPDCCH)
- Canal físico de enlace descendente de banda estrecha compartido (NPDSCH)

A diferencia de LTE, estos canales y señales físicas de NB-IoT están principalmente multiplexados en el tiempo. En la figura 5 se ilustra la asignación de las subtramas de NB-IoT a los distintos canales y señales físicas. Cada subtrama NB-IoT abarca un PRB en el dominio de la frecuencia y 1ms en el dominio del tiempo (Wang, y otros, 2017).

**Figura 5**

*Enlace descendente NB-IoT*

	Subframe number									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Even numbered frame	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NSSS
Odd numbered frame	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH

Nota. La figura 5 representa la Multiplexación temporal de los canales y señales físicas del enlace descendente de NB-IoT. Tomado de Wang: A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things, 2017.

NB-IoT incluye los siguientes canales en el enlace ascendente:

- Canal físico de acceso aleatorio de banda estrecha (NPRACH)
- Canal físico compartido de enlace ascendente de banda estrecha (NPUSCH)

NPRACH es un canal de nuevo diseño, ya que el canal físico de acceso aleatorio (PRACH) de LTE heredado utiliza un ancho de banda de 1,08 MHz, más que el ancho de banda del enlace ascendente de NB-IoT. Un preámbulo NPRACH consta de cuatro grupos de símbolos y cada grupo de símbolos comprende un Prefijo Cíclico (CP, del inglés, *Cyclic Prefix*) y cinco símbolos.

Se especifican dos longitudes de CP, 66,67 s y 266,7 s. Cada símbolo, tiene un valor fijo unitario, se modula en una sub-portadora de 3,75 kHz. Sin embargo, el índice de frecuencia del tono cambia de un grupo de símbolos a otro. La forma de onda del preámbulo NPRACH se denomina salto de frecuencia de un solo tono (Wang, y otros, 2017).

### **Sigfox**

Sigfox es una red de área amplia de baja potencia (LPWAN), utiliza una frecuencia no licenciada. Sigfox usa una tecnología *UltraNarrow Band* (UNB) con un total de 192 kHz de ancho de banda y *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) como técnica de modulación. Los dispositivos usan para la conexión de enlace ascendente un ancho de banda de 100 Hz por mensaje y de 100 a 600 bps de velocidad de datos, dependiendo de la región. Dado que Sigfox utiliza UNB, tiene un bajo nivel de ruido, un bajo consumo de energía y una alta sensibilidad del receptor (Nashiruddin & Yusri, 2020).

En la transmisión de datos, Sigfox envía una carga útil y dos réplicas en una frecuencia no sincronizada entre la red y el dispositivo. Cada carga útil tiene 12 bytes de datos y necesita 2,08s en tiempo de aire con una tasa de datos de 100 bps. Sigfox opera globalmente, usa la frecuencia ISM con un rango entre 862 MHz y 928 MHz. En esa operación global, Sigfox divide el globo en siete zonas geográficas, y las zonas se clasifican en base a la configuración de radio (RC).

En la tabla 1 se tiene las zonas geográficas basadas en la RC (Nashiruddin & Yusri, 2020).

Características:

- Autonomía: la batería del dispositivo puede durar años debido al bajo consumo de energía.
- Sencillez: la ejecución del dispositivo es rápido pues no necesita una difícil configuración o solicitud de conexión.

- Eficiencia de costo: a partir de los dispositivos para aplicaciones de IoT, hasta la implementación de la propia red está diseñada para que sea lo más rentable que se pueda.
- Complementariedad: la red Sigfox puede ser utilizada como alternativa de WiFi, Bluetooth, GPRS, etc.
- Distancia: varía dependiendo de los obstáculos, pero generalmente va entre 1 a 5 km en zonas urbanas y desde 15 hasta 50 km en zonas rurales.
- Cobertura: tiene disponibilidad de hasta 250.000 dispositivos conectados por antena.
- Seguridad: los mensajes son cifrados y codificados, cada mensaje enviado posee una clave única del dispositivo.

**Tabla 1**

*Siete zonas geográficas basadas en la RC*

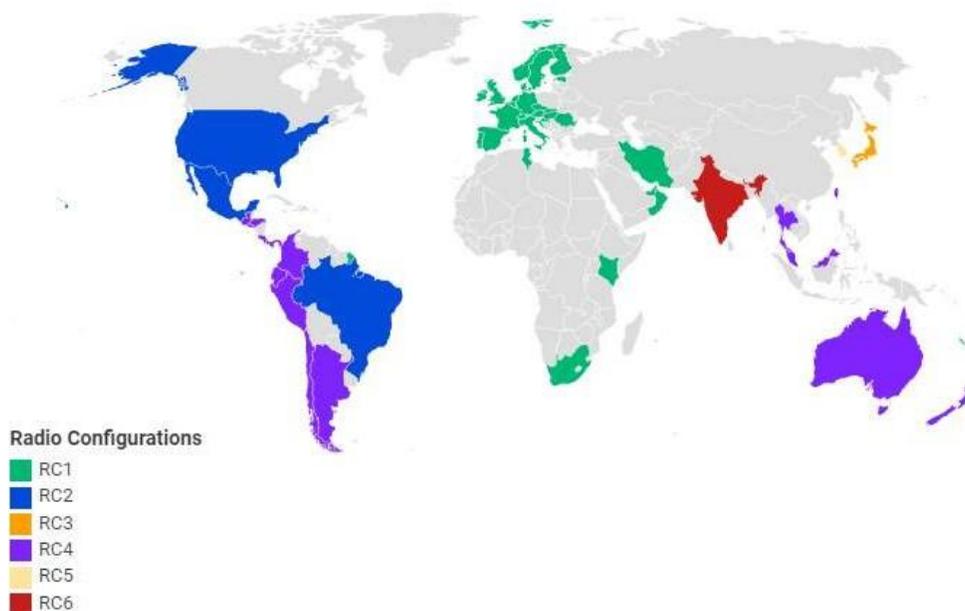
RC-n	Región	Frequency Range (MHz)	EIRP (dBm)	Specifics
RC-1	Europa; Francia de Ultramar; Medio Oriente y África	868.13– 869.525	16	<i>Duty Cycle 1%</i>
RC-2	Brasil, Canadá, México, Puerto Rico, Estados Unidos	902.2-905.2	24	<i>Frequency Hopping</i>
RC-3	Japón	923.2-922.2	16	<i>Listen Before Talk</i>
RC-4	Latinoamérica; Asia Pacífico	920.8-922.3	24	<i>Frequency Hopping</i>
RC-5	Corea del Sur	923.3-922.3	14	<i>Listen Before Talk</i>
RC-6	India	865.2-866.3	16	-
RC-7	Rusia	868.8-869.1	16	<i>Duty Cycle 1%</i>

*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de las zonas geográficas de acuerdo a la RC, (Nashiruddin & Yusri, 2020).

RC gestiona los parámetros de radio que utilizarán los dispositivos operados, estos parámetros puede ser la frecuencia de funcionamiento, la potencia de salida, el mecanismo de acceso al espectro, el rendimiento, como se observa en la tabla 1.

### Figura 6

*Disponibilidad geográfica de la red Sigfox*



Nota. La figura 6 representa la disponibilidad geográfica de la red Sigfox. Tomado de Flores: Sigfox: La red del IoT, 2019.

Existe una diferencia en la regulación, las leyes, y cualquier obstáculo en la operación de la red, por lo tanto, Sigfox proporciona un Indicador de Calidad de Enlace (LQI, del inglés, *Link Quality Indicator*). El LQI permite conocer las siguientes características:

- Indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI, del inglés, Received Signal Strength Indicator) / sensibilidad del receptor.
- El número de estaciones que recibieron un mensaje (redundancia del receptor).
- Zona RC, por la diferencia entre RCs.

Los parámetros RC de la tabla 1 describen las características de la señal transmitida, por lo que el LQI se divide en dos para todos los RC. La Tabla 2 muestra el LQI para RC-1, RC3 y RC-5.

**Tabla 2**

*Indicador de la calidad del enlace (LQI) para RC-1, RC-3, RC-5, RC-6 y RC-7.*

RSSI	Número de estaciones base	Indicador de calidad del enlace (LQI)
$-122\text{dBm} < \text{RSSI}$	3	Excelente
$-135\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -122\text{dBm}$	3	Bueno
$-122\text{dBm} < \text{RSSI}$	1 o 2	Bueno
$-135\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -122\text{dBm}$	1 o 2	Promedio
$\text{RSSI} \leq -135\text{dBm}$	Ninguna	Límite

Nota. Esta tabla muestra el indicador de calidad del enlace de acuerdo al número de estaciones bases y el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) para RC-1, RC-3, RC-5, RC-6 y RC-7, (Sigfox, s.f.).

La frecuencia en RC-4 es igual a la frecuencia regulada para los dispositivos de área amplia de baja potencia (LPWA, del inglés *Low Power Wide Area*), que va desde 920MHz a 923 MHz. La Tabla 3 muestra el LQI para RC-2 y RC-4.

**Tabla 3**

*Indicador de la calidad del enlace (LQI) para RC-2 y RC-4.*

RSSI	Número de estaciones base	Indicador de calidad del enlace (LQI)
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	3	Excelente
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	3	Bueno
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	1 o 2	Bueno
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	1 o 2	Promedio
$\text{RSSI} \leq -127 \text{ dBm}$	Ninguna	Límite

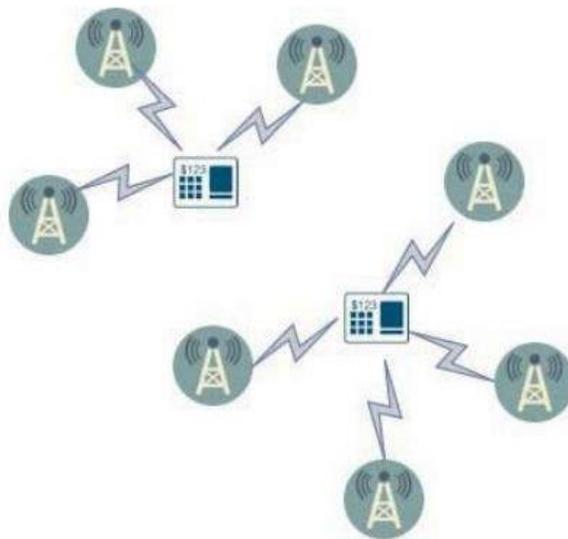
*Nota.* Esta tabla muestra el indicador de calidad del enlace de acuerdo al número de estaciones bases y el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) para RC-2, RC-2 y RC-4, (Sigfox, s.f.).

Sigfox utiliza el método de recepción cooperativa para su funcionamiento. La recepción cooperativa es un método en el que un objeto o un dispositivo no está unido a una sola pasarela. Cualquier puerta de enlace recibe los mensajes que se emiten cerca del dispositivo con una media de tres puertas de enlace.

Esta técnica es más conocida como diversidad espacial, la cual utiliza el método de recepción cooperativa con ello Sigfox puede lograr una alta calidad de servicio (QoS, del inglés, Quality of Service). La figura 7 muestra el funcionamiento de la recepción cooperativa Sigfox (Nashiruddin & Yusri, 2020).

### **Figura 7**

*Método de recepción cooperativa red Sigfox*



*Nota.* La figura 7 representa el método de recepción cooperativa que utiliza la red Sigfox.

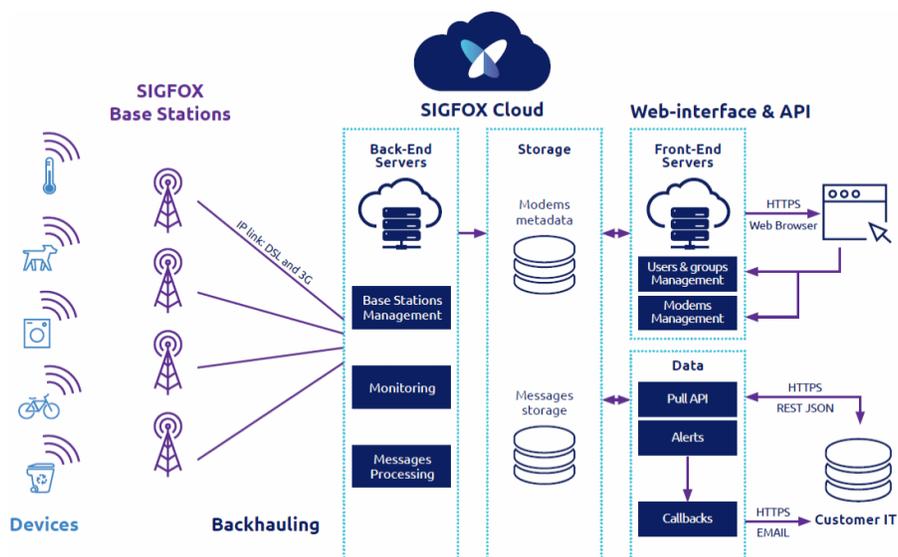
Tomado de Nashiruddin & Yusri: Network Planning for Smart Metering Based on Internet of Things for Dense Urban Scenario, 2020.

## Arquitectura de la red.

Sigfox utiliza una arquitectura de red plana para mantener bajos los gastos de capital y los gastos operativos. Comienza con un sensor, en este caso, un contador inteligente, que recoge y registra el consumo de electricidad, gas o agua. A continuación, los datos se envían a los servidores backend a través de un *Backhaul*. Normalmente, el *Backhaul* utiliza una conexión DSL y 3G o 4G. Si ambas opciones no están disponibles, una conexión por satélite puede ser una alternativa. Los servidores *Backend* se encargan del procesamiento de los mensajes. Hay muchas réplicas de mensajes que se reciben en la red central, pero sólo una que se guarda. Por último, los usuarios pueden acceder al mensaje utilizando un navegador web o incluso sus dispositivos tal y como se observa en la figura 8.

**Figura 8**

*Arquitectura de la red Sigfox.*



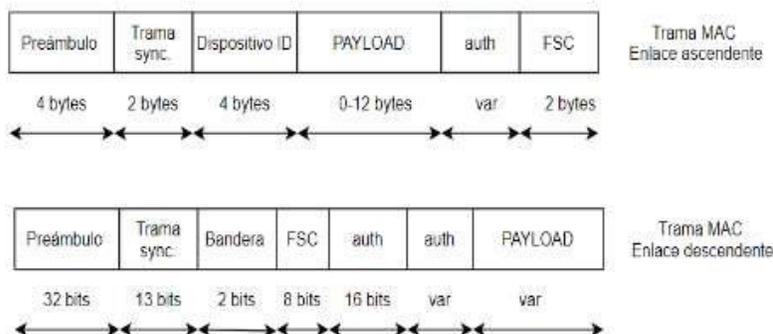
Nota. La figura 8 representa la arquitectura de la red Sigfox. Tomado de Nashiruddin & Yusri: *Network Planning for Smart Metering Based on Internet of Things for Dense Urban Scenario*, 2020.

## Capacidad de la red

La capacidad de la red tiene como objetivo obtener el número de puertas de enlace (*Gateways*) necesarias para cumplir con el requisito de tráfico para que pueda manejar todos los usuarios. En la planificación de la capacidad, el cálculo se basa en el número total de dispositivos y en características como la lectura programada, la lectura bajo demanda y la actualización del firmware. También se consideran algunos aspectos técnicos, como el tamaño máximo de los paquetes, el ancho de banda total, el ancho de banda por mensaje y el límite de mensajes por día. Sigfox tiene un tamaño máximo de paquete de 26 bytes con una carga útil de 12 bytes, 192 kHz de ancho de banda total, 100 Hz de ancho de banda por mensaje, como indica la figura 9, se debe tener en cuenta que solo se tiene 140 mensajes al día en el enlace ascendente y solamente 4 mensajes en el enlace descendente con la diferencia que este es de 8 bytes.

### Figura 9

*Tramas de enlace ascendente y descendente de la red Sigfox*



Nota. La figura 9 representa la estructura de las tramas en el enlace ascendente y descendente de la tecnología Sigfox. Tomado de *Aprendiendo Arduino: Itinerario Formación IoT/Industria 4.0*, 2020.

## Comparación de Tecnologías IoT.

**Tabla 4**

*Comparación de tecnologías IoT*

Características	NB-IoT	LoRa	Sigfox
<b>Modulación</b>	QPSK BPSK	CSS	BPSK
<b>Frecuencia</b>	700 MHz 800 MHz	915 MHz	915 MHz
<b>Ancho de banda</b>	200 kHz	125 kHz	100 Hz
<b>Velocidad de datos</b>	100 kbps	50 kbps	100 - 600 bps
<b>Mensajes al día</b>	ilimitado	ilimitado	140 uplink 4 downlink
<b>Carga útil</b>	62.5 bytes	243 bytes	12 bytes
<b>Distancia</b>	10 km (rural) 1 km(urbano)	20 km (rural) 5 km(urbano)	50 km (rural) 10 km(urbano)

*Nota.* Esta tabla muestra las características entre distintas tecnologías para el IoT, (Orbea & Rosero, 2021).

### **Site Survey**

El *Site Survey* se refiere a la evaluación de campo o sitio de las redes inalámbricas, este es un método eficaz para la detección y superación de los problemas de rendimiento antes de realizar la instalación o una ampliación de la red, generalmente se desarrolla para realizar una reconfiguración de la red o para reubicar puntos de red existentes.

#### **Beneficios de un Site Survey**

- La elaboración de un *Site Survey* ayuda a determinar la cobertura de la señal, su ancho de banda, se puede identificar algunas fuentes de interferencia, puntos muertos y la potencia con la que se puede transmitir y recibir datos.

- Realizar un *Site Survey* permite identificar las áreas de mayor interferencia y las zonas muertas, con este análisis se ayuda a implementar cualquier tecnología o la construcción de cualquier red que tenga el mejor rendimiento para que el objetivo propuesto se cumpla (Cuevas, 2020).

El enfoque que tiene el desarrollar un *Site Survey* es para poder identificar varios parámetros para que la red funcione al 100% los cuales son:

- Algún equipo que ocasiona fallos en la red.
- El área con mayor cobertura y a su vez la de menor cobertura con sus puntos muertos.
- Interferencia ocasionada por equipos, electrodomésticos, infraestructura entre otros.
- Equipos a instalar son los adecuados para el trabajo.

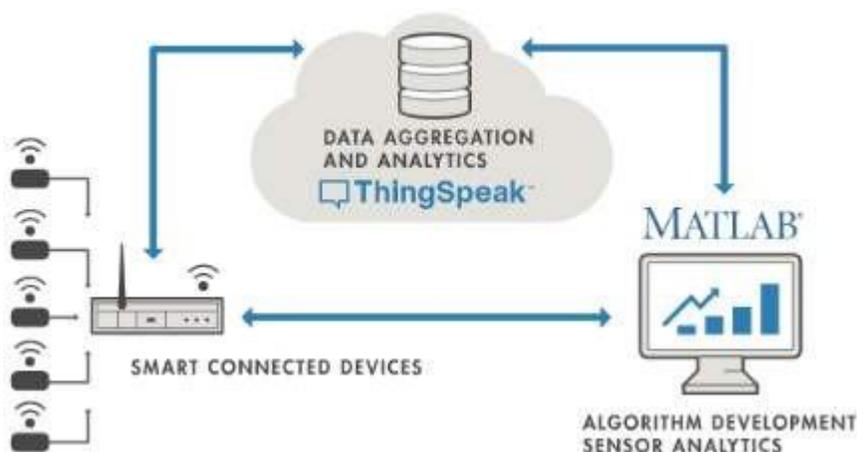
Una vez que se haya logrado realizar el *Site Survey* con su respectivo mapeo territorial, se puede prevenir errores y a su vez disminuir el tiempo de respuesta a un fallo, pero el objetivo que se tiene con realizar un *Site Survey* es recolectar suficiente información para determinar el número y ubicación de los puntos de acceso para proporcionar una cobertura adecuada (Muñoz, 2021).

### ***ThingSpeak***

*ThingSpeak* es una plataforma abierta basada en el análisis de Matlab, el objetivo de esta plataforma es el desarrollar aplicaciones persona-objeto, refiriéndose en la recolección de datos y la visualización de los mismos de forma segura e interactiva utilizando el protocolo HTTP ya sea sobre internet o vía LAN (*Local Area Network*) (Garrido, 2016).

**Figura 10**

*Esquema de procesos de ThingSpeak*



Nota. La figura 10 representa el esquema de procesos que se realiza en la plataforma de *ThingSpeak*, la cual inicia con los dispositivos que se conectan a la plataforma, una vez esos se enlazan con una base de datos generada para luego usar varios algoritmos para visualizar los datos obtenidos. Tomado de *Aprendiendo Arduino: ThingSpeak*, 2018.

*ThingSpeak* es una plataforma basada en *Ruby on Rails 3.0 (RoR)*, este es un *framework* de aplicaciones web de código abierto basado en Ruby, cuya arquitectura está basada en el Modelo Vista Controlador (MVC). Se caracteriza por su simplicidad a la hora de programar aplicaciones del mundo real, escribiendo menos código y con una configuración mucho más sencilla que otros *frameworks*. Otra de las características que hacen de RoR un *framework* perfecto para el desarrollo de aplicaciones es que permite el uso de meta programación, haciendo que su sintaxis sea más legible y llegue a un gran número de usuarios (Garrido, 2016).

## Características principales de *ThingSpeak*

Algunos puntos importantes en la plataforma son:

- **API (Interfaz de programación de aplicaciones)**

Un punto importante a la hora de desarrollar cualquier proyecto es encontrar un API disponible de forma sencilla para que el desarrollador tenga los mecanismos necesarios para el desarrollo de la aplicación. En este caso, *ThingSpeak* dispone de una API la cual está disponible en GitHub para su descarga en un servidor propio. Es totalmente abierta, por lo que también se puede modificar su código fuente original y así contribuir a la comunidad con nuevas características, un principio básico en toda plataforma *Open Source* (Garrido, 2016).

- **Canales**

La forma que tiene esta plataforma de almacenar y publicar los datos es a través de los “*Channels*” (Canales). Su creación es muy simple y en un par de selecciones y rellenando una serie de datos lo tendremos disponible sin mayor complicación. En esta plataforma el objetivo es simplificar el trabajo (Garrido, 2016).

- **Plugins**

Para extender la funcionalidad del sitio también brinda la oportunidad de desarrollar *plugins*. Estos ofrecen la posibilidad de crear aplicaciones de forma nativa en nuestra plataforma *ThingSpeak* que soporta HTML, CSS y JavaScript como lenguajes de programación. Al igual que los canales los plugins pueden ser público o privados según sean nuestras necesidades (Garrido, 2016).

## MongoDB

MongoDB es una potente base de datos de propósito general, flexible y escalable. Combina la capacidad de escalar con la función como índices secundarios, rangos, clasificar, agregaciones e índices geoespaciales (Chodorow, 2013).

MongoDB es una base de datos orientada a documentos. Esto quiere decir que, en lugar de guardar los datos en registros, guarda los datos en documentos. Estos documentos son almacenados en BSON, que es una representación binaria de JSON (Carlos & Pablo, 2014).

Una de las diferencias más importantes con respecto a las bases de datos relacionales, es que no es necesario seguir un esquema. Los documentos de una misma colección poseen un concepto similar a una tabla de una base de datos relacional, ya que pueden tener esquemas diferentes (Carlos & Pablo, 2014).

### **Términos básicos entorno a MongoDB**

- **JSON (*JavaScript Object Notation*)**

JSON es formato compacto de representación de objetos. JSON es un formato independiente del lenguaje, aunque su uso extendido hasta hace poco era en el lenguaje Javascript. Actualmente se usa JSON en grandes cantidades de sistemas para intercambiar información por su simplicidad en comparación con XML. Este formato soporta gran cantidad de tipos de datos, lo que lo hace atractivo para un uso generalizado, y cada vez más lenguajes de programación dan soporte a este formato (Graterol, 2016).

- **Documento**

Un documento es un conjunto de datos estructurados (mas no con un esquema estricto), que contiene pares clave/valor, y se usa BSON (JSON Binario) como formato para almacenar los documentos. Un documento puede ser comparado con una fila o registro en una base de datos relacional (Graterol, 2016).

- **Colección**

Es un conjunto de documentos, similar a una tabla en las bases de datos relacionales (Graterol, 2016).

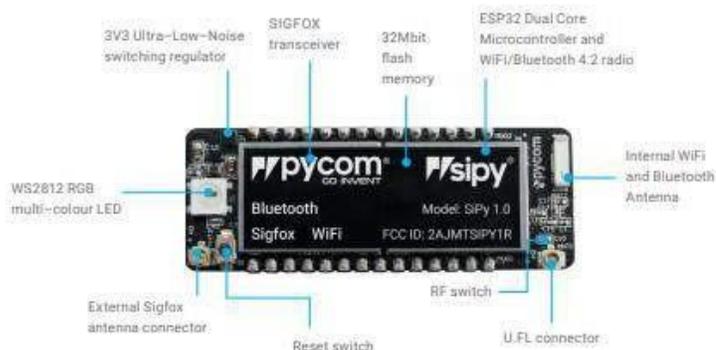
## Dispositivos

### Sipy

El módulo Sipy utiliza *MicroPython* como lenguaje de programación e incluye 12 meses de conectividad gratuita a la red de Sigfox para lo cual es necesario el uso de una antena, además es necesario contar con una tarjeta de expansión para poder hacer uso de los sensores de luz, humedad, temperatura, acelerómetro, GPS y como fuente de energía (Pycom,2020).

**Figura 11**

*Modulo Sipy*



Nota. La figura 11 representa las partes del módulo Sipy (Pycom,2020)

**Tabla 5**

*Especificaciones técnicas de Sipy*

Frecuencia de operación	902MHz a 928MHz
Voltaje de alimentación operativo	3.3v a 5.5v
Temperatura min y máx. de trabajo	-40° a 80°
Velocidad de transmisión	600bps
Potencia de transmisión	22 dBm
Sensibilidad del receptor	-128 dBm

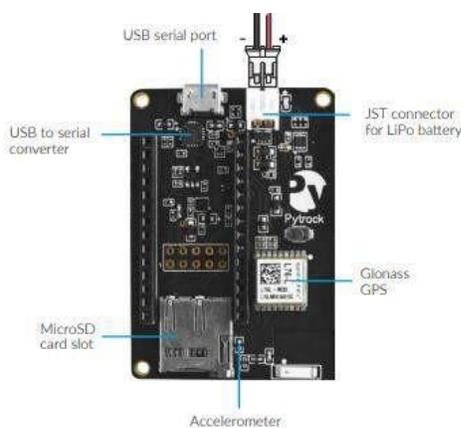
Nota. Esta tabla muestra las especificaciones técnicas del módulo Sipy (Pycom, 2020)

### **Pytrack**

Pytrack es un módulo de expansión de Pycom que cuenta con un acelerómetro, GPS, puerto USB con acceso serial, cargador de batería LiPo y operación de energía ultra baja. Este módulo integra el receptor simultáneo Quectel L76-L que permite trabajar simultáneamente con los sistemas GPS, GLONASS, Galileo y QZSS, además tiene un amplificador de bajo ruido para una mejor sensibilidad (Quectel, 2020).

### **Figura 12**

*Módulo de extensión Pytrack*



Nota. La figura 12 representa las partes del módulo Pytrack (Pycom,2020)

### **Tabla 6**

*Especificaciones técnicas de Pytrack*

Frecuencia de operación	902MHz a 928MHz
Voltaje de alimentación operativo	3.3v a 5.5v
Temperatura min y máx. de trabajo	-40° C a 80° C
Velocidad de transmisión	600bps
Sensibilidad "Adquisición"	-149 dBm
Sensibilidad "Seguimiento"	-157 dBm
Sensibilidad "Readquisición"	-161 dBm

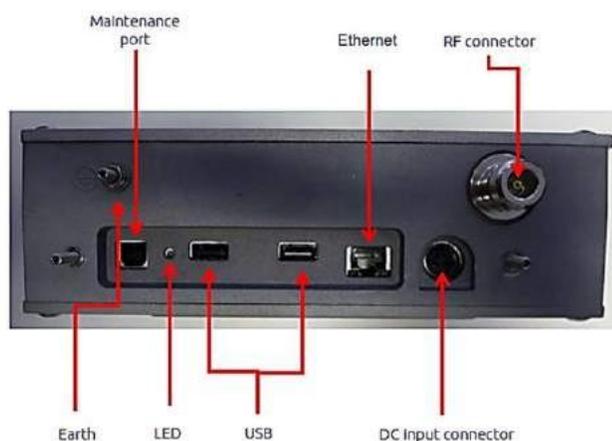
Nota. Esta tabla 6 muestra las especificaciones técnicas del módulo Pytrack (Pycom, 2020)

### ***Estación Base Sigfox***

Las estaciones de base Sigfox operan en un ancho de banda de frecuencia específico utilizado por los terminales Sigfox en la recepción de información, también pueden transmitir información para hacer una o multidifusión a estos terminales en el caso de ser necesario. Las características de la antena dependen de la banda de frecuencias de funcionamiento y de la ganancia, altura, etc.

### **Figura 13**

*Partes de la Radio Base de Sigfox*



Nota. La figura muestra las partes de la Radio Base de Sigfox instalada en el país (ANTOINE, 2016).

Sigfox proporciona el Transceptor de la Estación Base (SBS-T, del inglés Base Station Transceiver) versión 3 y el correspondiente interruptor/amplificador de bajo ruido de antena (LNA, del inglés, Low Noise Amplifier). Este componente integra un amplificador de bajo ruido en modo de recepción y un conmutador que omite esta etapa en el modo de transmisión (ANTOINE, 2016).

Esta característica del dispositivo depende también de las bandas de frecuencia de funcionamiento aplicables en la región donde sea instalada. La serie de SBS-T versión 3 son unidades transceptoras de rango ultra amplio y alta linealidad, cuentan con una radio de primera clase, un innovador procesamiento definido por software de primera clase y un

innovador procesamiento definido por software, para su uso en sistemas de banda ultra estrecha.

El SBS-T versión 3 puede tener una frecuencia de recepción preestablecida en función de la normativa de radio aplicable en la región. Esta elección se realiza mediante una configuración de software específica (ANTOINE, 2016).

**Tabla 7**

*Especificaciones técnicas Radio Base Sigfox*

<b>RADIO CHARACTERISTICS</b>		
	SBS-T3-868	SBS-T3-902
<b>Standard</b>	Sigfox Ultra Narrow Band Protocol for M2M and IoT	
<b>Operating frequency range</b>	865 to 870 MHz	902 to 928 MHz
<b>Receiver Sensitivity</b>	Typical -142dBm @ 100Mbps	Typical -134dBm @ 600Mbps
<b>Data Rate and Modulation</b>	100 bps D-BPSK(UL) and GFSK(DL)	600 bps D-BPSK(UL) and GFSK(DL)
<b>Transmit Power</b>	Max 30 dBm in conducted mode, SW configurable as per local regulations	
<b>Pre-amplifier/filter</b>	NF 3.5dB G>20dB/ rejection 30dB @ +-10MHz	
<b>Antenna Connector</b>	Typo N Female	
<b>INTERFACES</b>		
<b>Ethernet</b>	1 x RJ45 (10/100BaseT)	
<b>USB port</b>	2 x USB 2.0 female type A (optional for secondary 3G key backhauling)	
<b>Maintenance port</b>	USB 2.0 female type B (for maintenance only)	
<b>POWER</b>		
<b>Power Consumption</b>	30W typical (Rx mode), 60W max peak (in Tx mode)	
<b>Powe supply</b>	10...14 VDC/6A max Optional 100-240VAC 50Hz-60Hz Optional 48 VDC	
<b>MECHANICAL &amp; ENVIRONMENTAL</b>		
<b>Product dimensions</b>	199 x 150 x68 mm (7.89 x 5.91 z 2.68 in)	
<b>Product weight</b>	2.15kg (4.74 lb)	
<b>Operating temperature</b>	199 x 150 x68 mm (7.89 x 5.91 z 2.68 in)	
<b>Storage temperature</b>	-40°C to +85°C	
<b>COMPLIANCE</b>		
<b>Safety</b>	EN 60950-1, IEC 60950-1 EN 60950-22, IEC 60950-22	
<b>Radio</b>	EN 300 220-2; EN 300 220-1	FCC part 15.247; ARIB STD-T108

## HTTP

HTTP son las siglas de *Hypertext Transfer Protocol* (en español Protocolo de transferencia de hipertexto) es un protocolo sin estado de la capa de aplicación para sistemas de información de hipertexto distribuidos y colaborativos (Fisteus, 2020).

HTTP se basa en el envío de mensajes sobre el protocolo de transporte TCP:

- El cliente envía un mensaje de petición a un servidor, solicitando realizar una acción sobre un recurso determinado habitualmente obtener el recurso (Fisteus, 2020).
- El servidor envía un mensaje de respuesta a la petición del cliente habitualmente incluyendo el recurso solicitado (Fisteus, 2020).

### Métodos HTTP

Los principales métodos HTTP son *GET*, *POST*, *PUT*.

- *GET*: El método más usado, *GET* obtiene cualquier tipo de información identificada en el fichero al que realizamos la petición, además la respuesta que obtenemos del servidor (código fuente de dicho archivo) es interpretada por nuestro navegador (Fisteus, 2020).
- *POST*: Es usado para pedir que el servidor acepte información enviada desde el cliente. Lo que pase de ahí en adelante es ya tarea de la aplicación (Fisteus, 2020).
- *PUT*: El contrario de *GET* por así decirlo, si *GET* lee el source del archivo, *PUT* permite modificarlo y sobrescribir el código original (Fisteus, 2020).

### Lenguajes de programación

#### *HTML y CSS*

HTML y CSS son dos lenguajes que se necesita para la creación de un sitio web, en estos dos lenguajes se debe dar instrucciones al ordenador. No basta con escribir el texto que

se ha incluido en el sitio (como lo haría en un procesador de textos), también se debe indicar dónde colocar este texto, insertar imágenes, crear enlaces entre páginas, etc (Rafael, 2016).

HTML (*HyperText Markup Language*): apareció por primera vez en 1991 en el lanzamiento de la Web. Su función es la gestión y organización del contenido. Así que en HTML puedes escribir lo que deseas mostrar en la página: texto, enlaces, imágenes ... (Rafael, 2016).

CSS (*Cascading Style Sheets*, también conocidas como hojas de estilo): el objetivo que tiene es gestionar la apariencia de la página Web (diseño, posicionamiento, colores, tamaño de texto ...). Este lenguaje ha complementado el código HTML desde 1996 (Rafael, 2016).

En pocas palabras HTML define el contenido, CCS permite organizar el contenido y definir la presentación: el color, la imagen de fondo, los márgenes, el tamaño del texto. CSS necesita una página HTML para funcionar. Es decir que para lograr la composición de una página Web primero se empieza por la creación del documento HTML seguido del documento CSS.

### ***Javascript***

Javascript es un lenguaje de programación utilizado para crear pequeños programitas encargados de realizar acciones dentro del ámbito de una página web. Con Javascript podemos crear efectos especiales en las páginas y definir interactividades con el usuario. El navegador del cliente es el encargado de interpretar las instrucciones Javascript y ejecutarlas para realizar estos efectos e interactividades, de modo que el mayor recurso, y tal vez el único, con que cuenta este lenguaje es el propio navegador (Angel, 2016).

Entre las acciones típicas que se pueden realizar en Javascript se tiene dos puntos importantes que son:

- Los efectos especiales sobre páginas web, para crear contenidos dinámicos y elementos de la página que tengan movimiento, cambien de color o cualquier otro dinamismo.

- Javascript nos permite ejecutar instrucciones como respuesta a las acciones del usuario, con lo que podemos crear páginas interactivas con programas como calculadoras, agendas, o tablas de cálculo.

Javascript es un lenguaje con muchas posibilidades, permite la programación de pequeños scripts, pero también de programas más grandes, orientados a objetos, con funciones, estructuras de datos complejas, entre otros (Angel, 2016).

## Capítulo III

### Desarrollo e Implementación

El *Site Survey* de la Red LPWAN Sigfox se lo realizó en zonas estratégicas del cantón Quito donde se puedan realizar aplicaciones de IoT, con un dispositivo de geoposicionamiento, implementado con las placas de desarrollo Sipy y Pytrack descritas en el capítulo II, el dispositivo envía las coordenadas de geoposicionamiento y los niveles de RSSI a través de la red Sigfox en distintos puntos detallados en la programación del dispositivo, los datos llegan primero al *Backend* de la misma red, luego se trasladan a la plataforma de análisis de datos *Thingspeak* y por último se envían a la base de datos Mongo DB para visualizarlo en un aplicativo web.

En este proyecto se obtiene un mapa de cobertura de la red en función de la toma de mediciones por parte del prototipo de geoposicionamiento con la finalidad de garantizar el servicio de las aplicaciones IoT que se desarrollarán con la red Sigfox.

#### Configuración de los dispositivos

Los dispositivos que se conectan a la red Sigfox deben ser registrados, para eso se debe ingresar el país donde van a ser ejecutados en este caso es Ecuador, luego se procede a realizar la actualización del *software* de los dos dispositivos Pytrack y Sipy respectivamente de esa forma se obtiene un ID y código de portabilidad único.

Los dispositivos de Pycom tienen el acceso a una plataforma denominada Pybytes, en esta se puede crear una cuenta donde nos detallan la información del dispositivo registrado. Es necesario agregar el dispositivo, la placa de expansión que utiliza y por último habilitar la red a la que se conectará.

En la figura 14 se visualiza la creación del perfil nuevo y el registro del *callback* al *backend* de Sigfox.

Figura 14

Registro de los dispositivos en la plataforma Pybytes

The screenshot displays the 'DISPOSITIVO1' page in the Pybytes platform. It includes a header with the device ID '6a7a27c5-9b2a-49e9-a4a0-9552ca92d2d7', last connection time '4 DAYS AGO', and SIPY ID 'FW-3155775A03'. A navigation menu contains 'DASHBOARD', 'SIGNALS', 'PROVISIONING', 'NOTIFICATIONS', 'PYMAKR™', and 'CONFIGURATION'. The main content area is split into two panels:

- Left Panel: 'ACTIVATE YOUR DEVICE WITH FIRMWARE UPDATER'**
  - Step 1: Install Pycom firmware updater (with links for Windows, MacOS, and Linux versions).
  - Step 2: During firmware update paste this Activation Token to the updater.
  - Message: 'Activation token expired' with a 'GENERATE NEW ACTIVATION TOKEN' button.
  - Footer: 'Detailed steps are described on this documentation page.'
- Right Panel: 'SIGFOX REGISTRATION'** (highlighted with a red border)
  - Header: 'SIGFOX REGISTRATION' with a butterfly icon and 'Device added as Sigfox DevKit'.
  - Two status items:
    - 'Sigfox device was found on Sigfox backend' (green circle).
    - 'Callback was created on Sigfox backend for this Device Type' (green circle).
  - Buttons: 'CHECK SIGFOX STATUS' and 'GO TO DOCS'.

Nota. En la figura se puede ver la activación del nuevo dispositivo y su registro al *Callback* del *Backend* de la red Sigfox.

Para culminar la configuración del dispositivo es necesario crear la cuenta en Sigfox, con esto se puede tener acceso al *Backend*, donde se visualiza la información del dispositivo como se muestra en la figura 15.

Figura 15

Información del dispositivo en el Backend de Sigfox

The screenshot shows the 'Device type 'PYCOM\_DevKit\_1' - Information' page in the Sigfox Backend. A dark purple sidebar on the left contains navigation links: 'INFORMATION', 'LOCATION', 'ASSOCIATED DEVICES', 'DEVICES BEING REGISTERED', 'STATISTICS', 'EVENT CONFIGURATION', 'CALLBACKS', and 'BULK OPERATIONS'. The main content area displays the following details:

- Id:** 5ed2a281e833d907a4c270e9
- Name:** PYCOM\_DevKit\_1
- Description:** DevKit 1 (PYCOM)
- Keep alive:** N/A
- Subscription automatic renewal:**
- Group:** Estudiante\_Espe
- Payload display:** None
- Downlink mode:** CALLBACK
- Contracts:**
  - 1. estudian\_e6b8\_18502 (no token left - geoloc: yes, end date: 2023-09-04)
- Detached contracts:**
  - estudian\_8166\_ef9b
  - renew\_espe
- Contracts History:** (show/hide)
- Alert Email:**
- Downlink data:** From callback (No callback available)
- Creation date:** 2020-05-30 13:14:25
- Created by:** buy.sigfox.com

Nota. En la figura se observa toda la información del dispositivo luego de ser activado.

El diagrama de bloques necesario para realizar toda la comunicación del dispositivo se puede apreciar en la figura 16, siempre funciona por etapas, la primera consiste en conectar el dispositivo hacia la red Sigfox de tal forma que los datos puedan ser enviados hacia el *Backend*, en el *Backend* se crea un *Callback* de tipo *Get*, esto permite enviar los datos directamente hacia *ThinkSpeak*, luego al servidor Mongo DB donde se pueden manejar los datos de tal modo que puedan ser visualizados en una aplicación web.

**Figura 16**

*Diagrama de bloques.*



Nota. La figura se observa el diagrama de bloques que representa las etapas por las que pasa los mensajes entre la conexión del dispositivo hasta llegar a la aplicación web.

### Programación del dispositivo

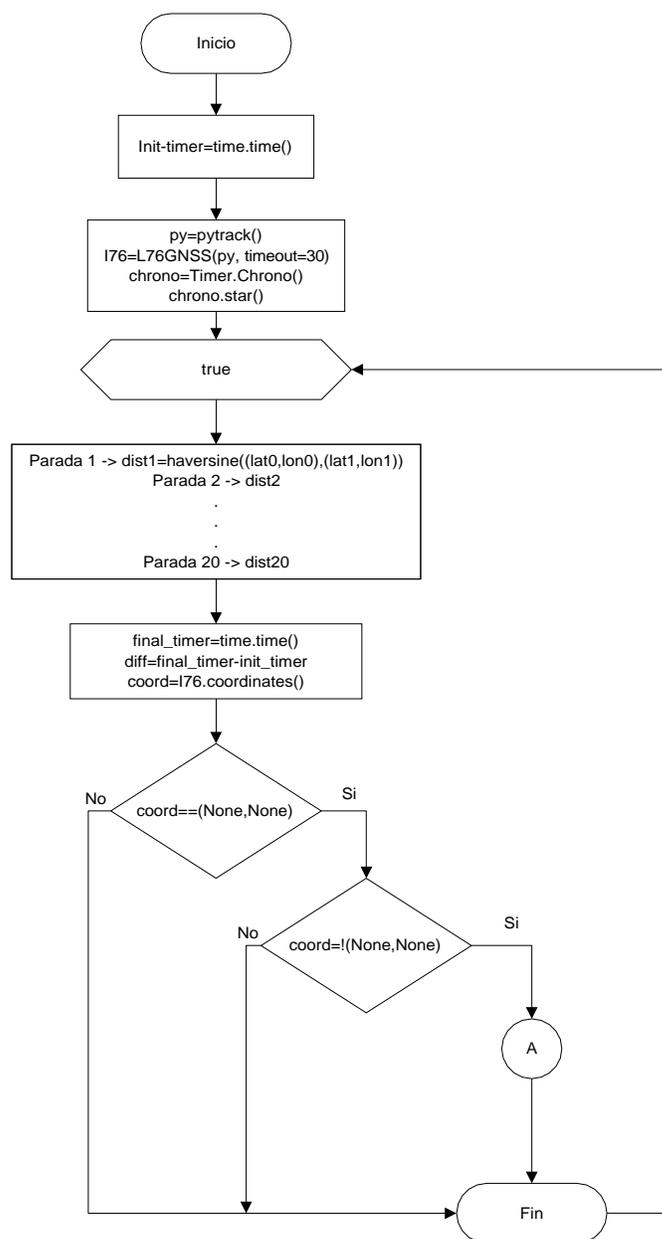
En la generación de la base de datos, la programación del prototipo de geoposicionamiento debe tomar datos en puntos ya establecidos con anticipación. Por esta razón el diagrama de flujo de la figura 17 indica la estructura para obtener los valores de latitud, longitud y el valor del RSSI para ser enviadas hacia el *Backend* de Sigfox.

En el principio del programa se comienza dando un valor a la variable *timer* la cual se encarga de contabilizar la frecuencia en la cual se va a realizar el envío de mensajes, se genera el objeto L76GNSS y después se realiza la comparación entre dos puntos de coordenadas, las coordenadas ingresadas como variables y la coordenada medida por el

dispositivo en tiempo real, esta comparación genera una distancia entre los dos puntos. Se realiza una comparación entre la coordenada fija y un radio específico, de esta forma si el dispositivo ingresa dentro del radio de la coordenada fija en la programación, los datos serán enviados al *Backend* de Sigfox.

**Figura 17**

*Diagrama de Flujo de para obtener los puntos de coordenadas.*

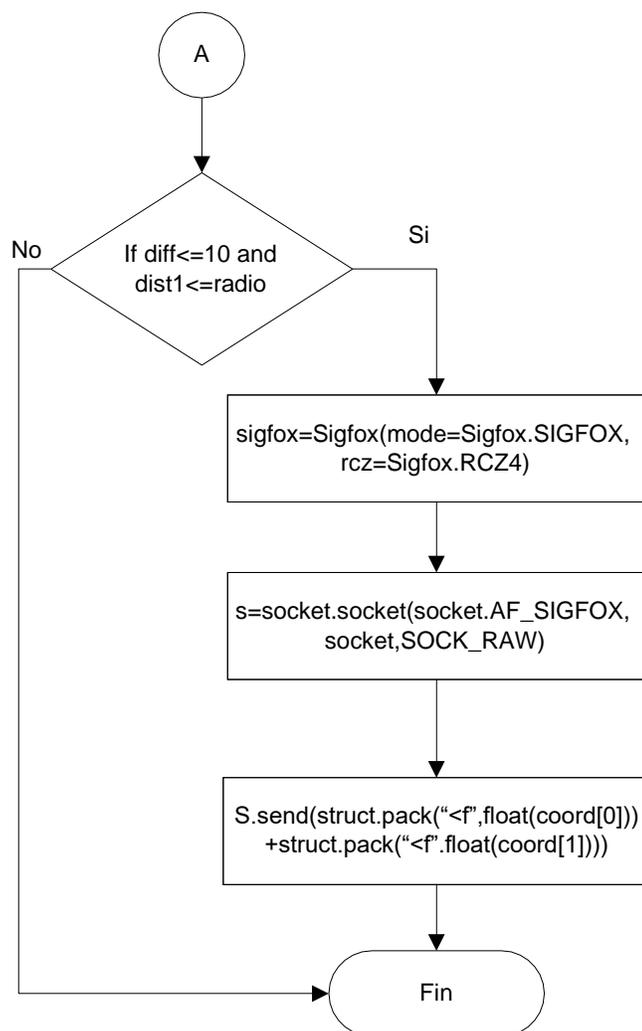


Nota. La figura se observa el diagrama de flujo para obtener los puntos específicos en la generación del mapa de cobertura de la red, donde el subproceso A indica el modo de envío de datos hacia el *Backend*.

En la figura 18 indica la forma en las que se va a enviar los datos hacia el *Backend* de Sigfox y la condición que se debe cumplir para que los datos puedan ser enviados

### Figura 18

Diagrama de flujo para el envío de datos.



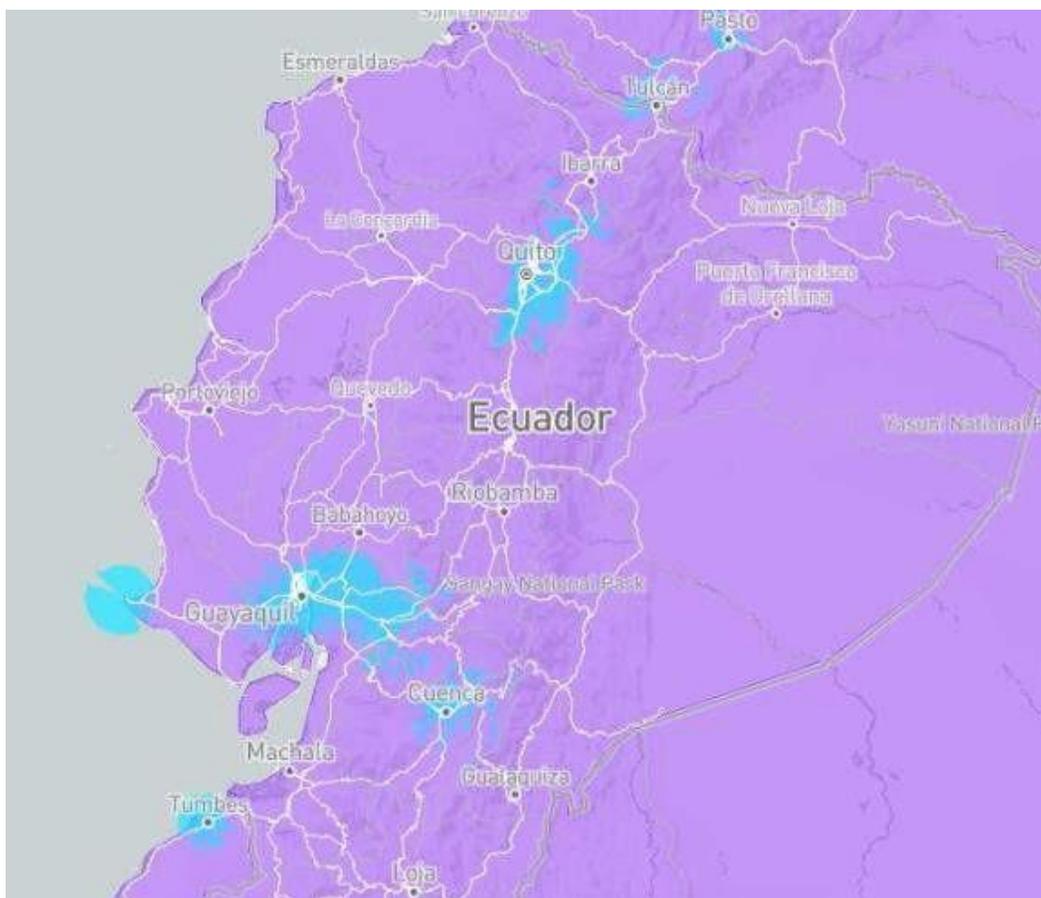
Nota. La figura se observa el diagrama de flujo desde la comparación que se debe cumplir al enviar los mensajes, hasta la forma que los mensajes son enviados al *Backend* de Sigfox.

### Puntos para el mapa de cobertura

La red LPWAN Sigfox en el Ecuador cuenta con un mapa de cobertura general, donde indican las zonas del país en las que se podrían realizar aplicaciones con esta tecnología tal como se observa en la figura 19.

### Figura 19

*Mapa de cobertura de la red Sigfox en el Ecuador.*

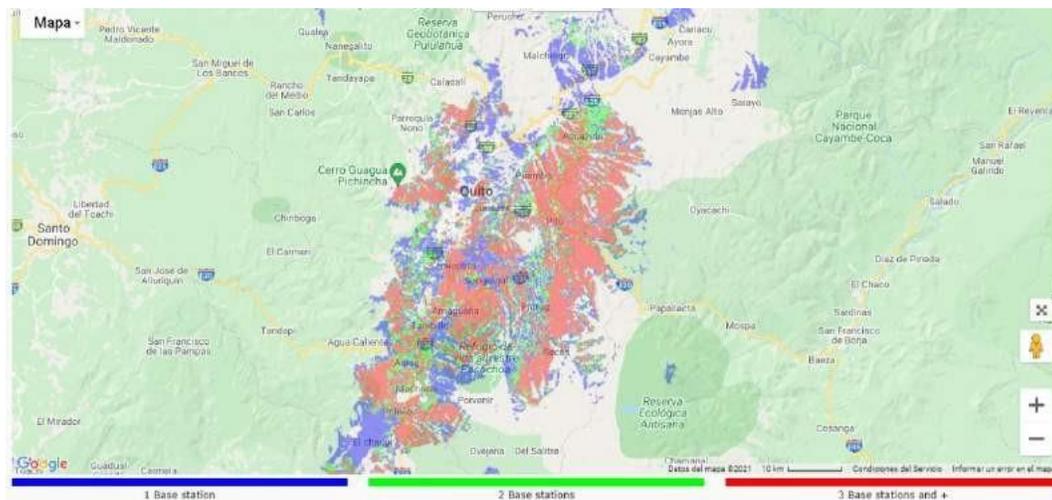


Nota. La figura representa la cobertura de la red LPWAN Sigfox en el Ecuador. (Sigfox Coverage, 2020.)

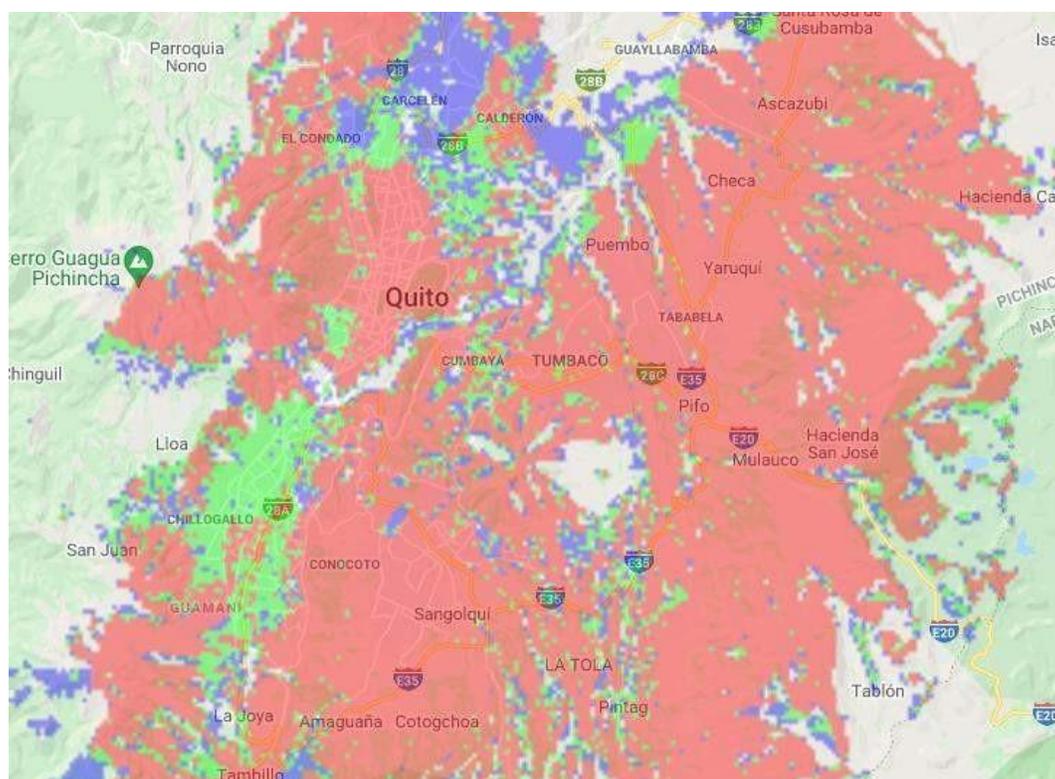
En el cantón Quito la red cuenta con un mapa de cobertura general, donde indica los números estaciones que existen por distintas áreas del cantón, están divididas por tres distintos colores, donde el máximo de estaciones son 3 y el mínimo 1 como se observa en la figura 20.

**Figura 20**

*Cobertura en el cantón Quito de la red Sigfox.*



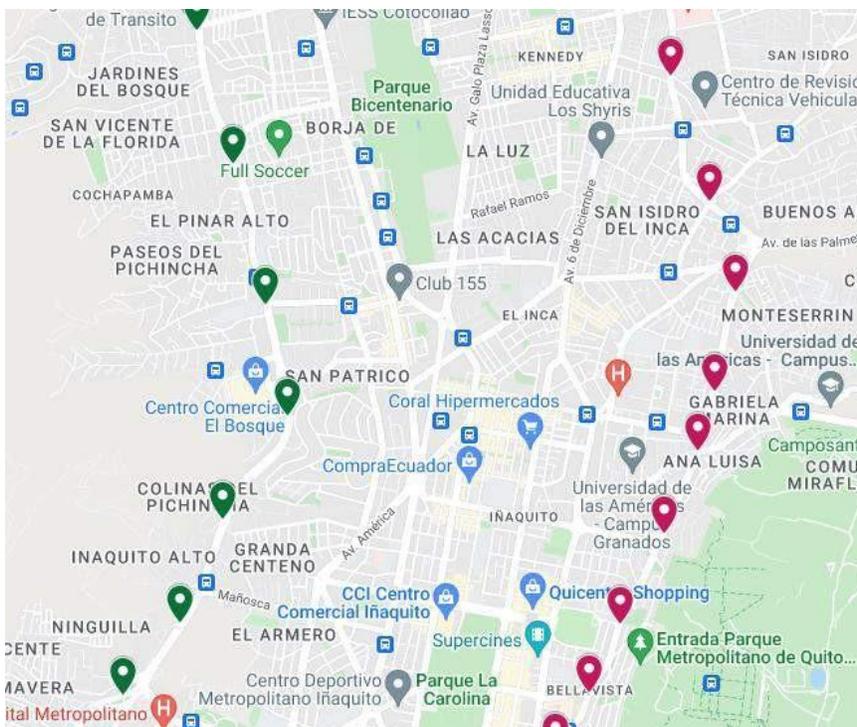
a)



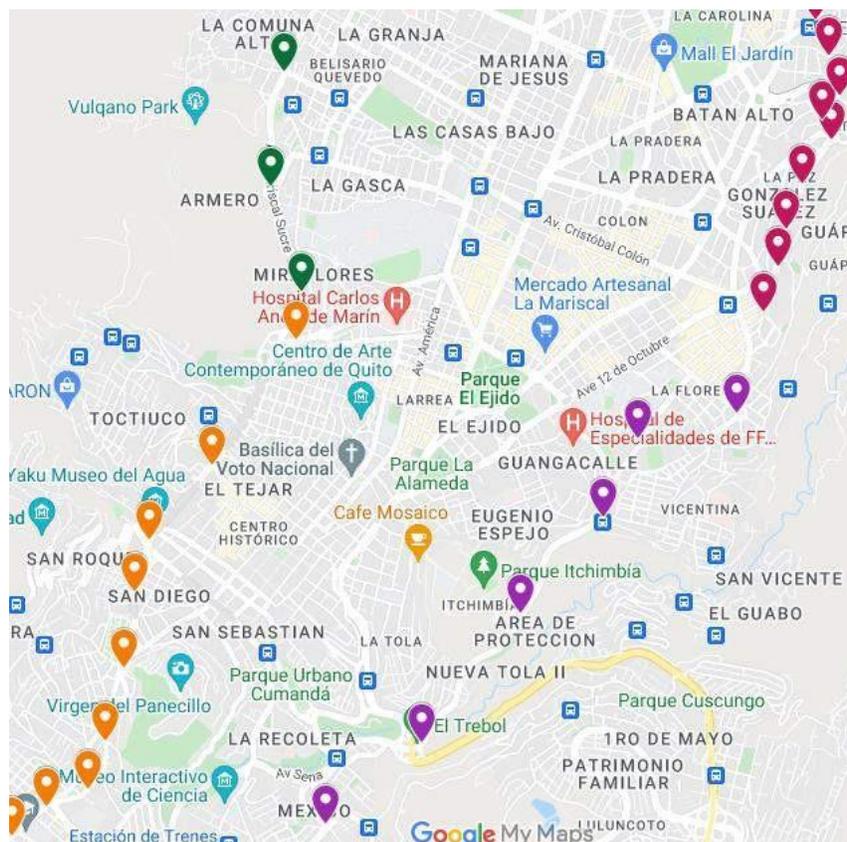
b)

Nota. La figura representa la cobertura de la red LPWAN Sigfox en el cantón Quito Tomado de WDN Ecuador Sigfox Operator for Ecuador: Cobertura, 2020.

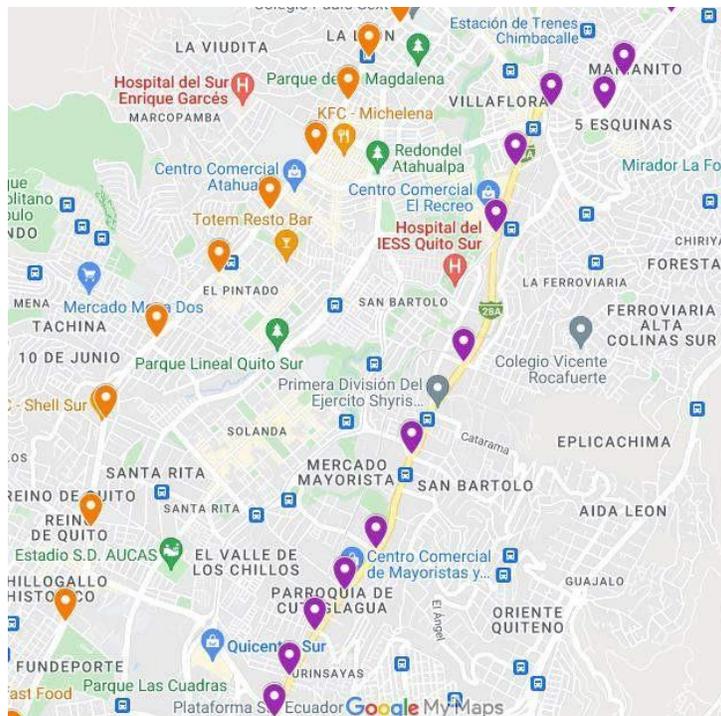




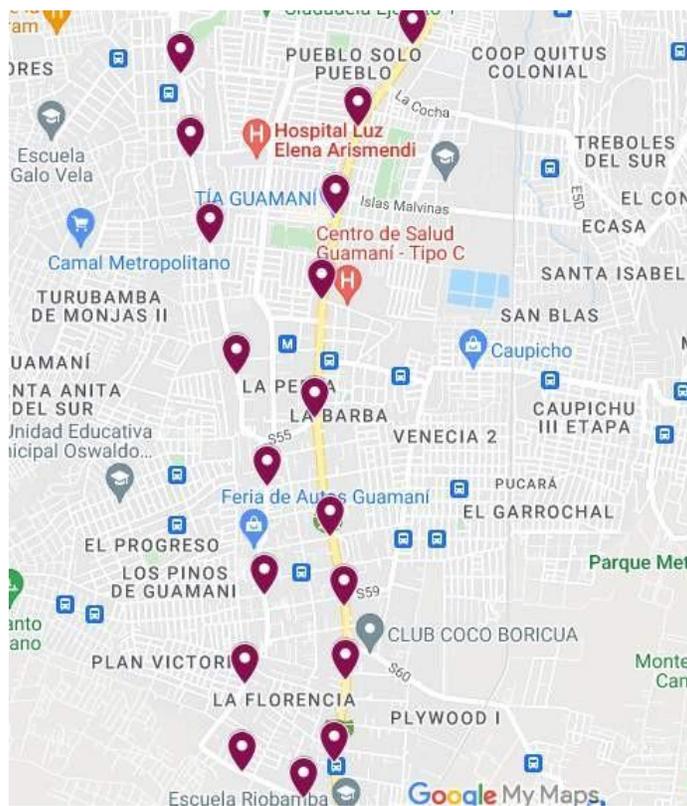
b)



c)



d)

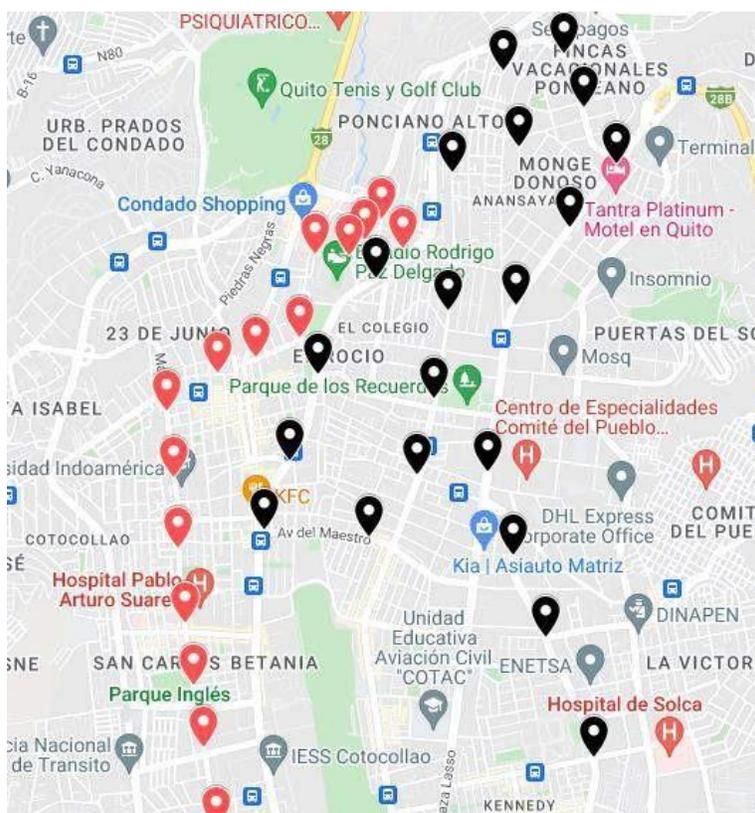


e)

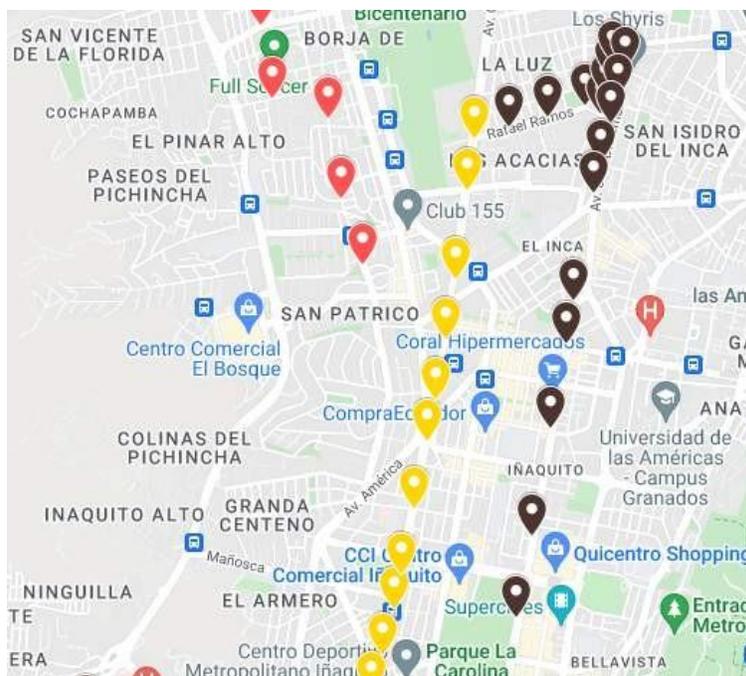
En el segundo mapa de cobertura de la Figura 22 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados desde la parte Norte desde Carcelén hasta el centro histórico, dejando varios lugares vacíos.

### Figura 22

*Segundo mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



a)



b)

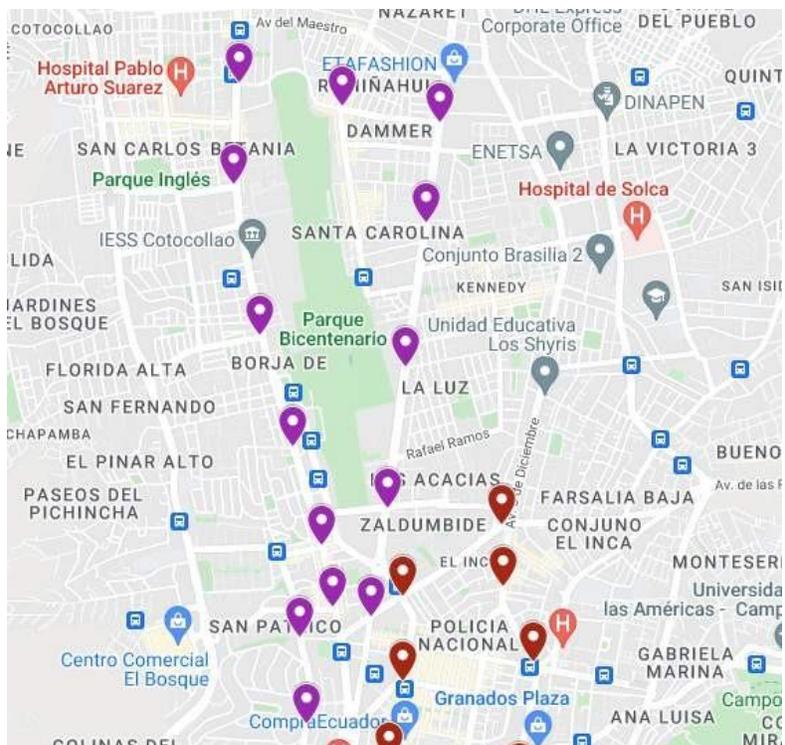


c)

En el tercer mapa de cobertura de la Figura 23 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados de igual manera desde El Rosario hasta el centro histórico, pero la trayectoria que sigue son los espacios en blanco dejados en la anterior Figura.

### Figura 23

*Tercer mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



a)



b)

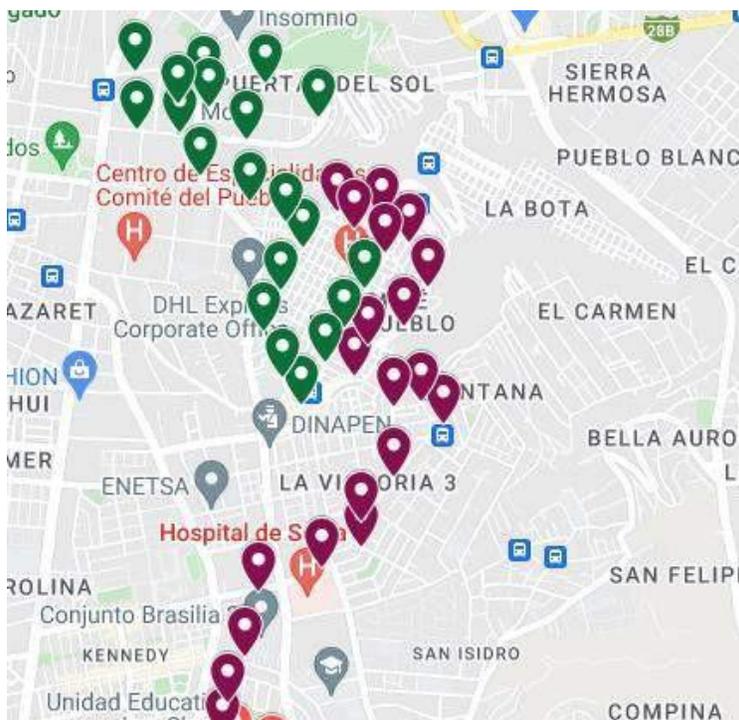


c)

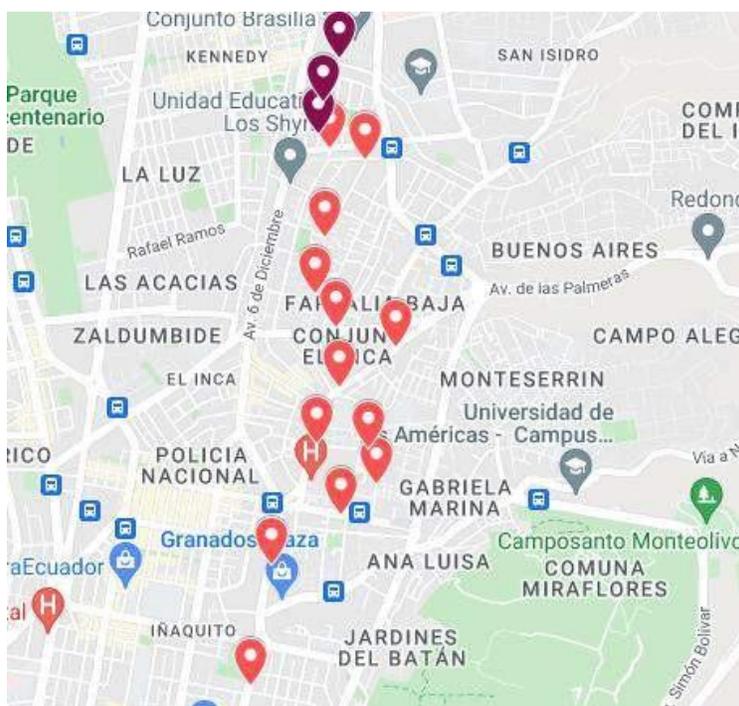
En el cuarto mapa de cobertura de la Figura 24 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados de igual manera desde la parte Comité del Pueblo hasta la Av. Cristóbal Colón cubriendo otros espacios en blanco.

**Figura 24**

*Cuarto mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



a)



b)

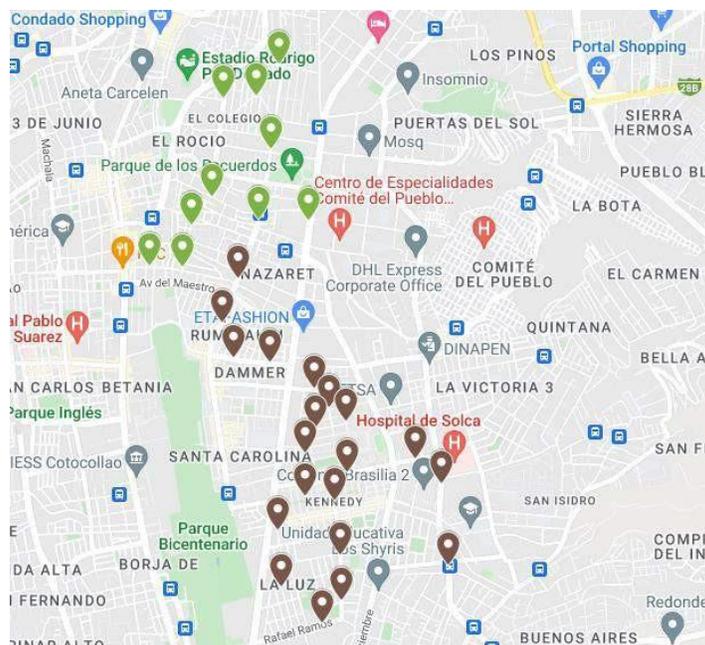


c)

En el quinto mapa de cobertura de la Figura 25 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en lugares que cubran la parte norte del Estadio Rodrigo Paz Delgado hasta la parte este del parque Bicentenario.

### Figura 25

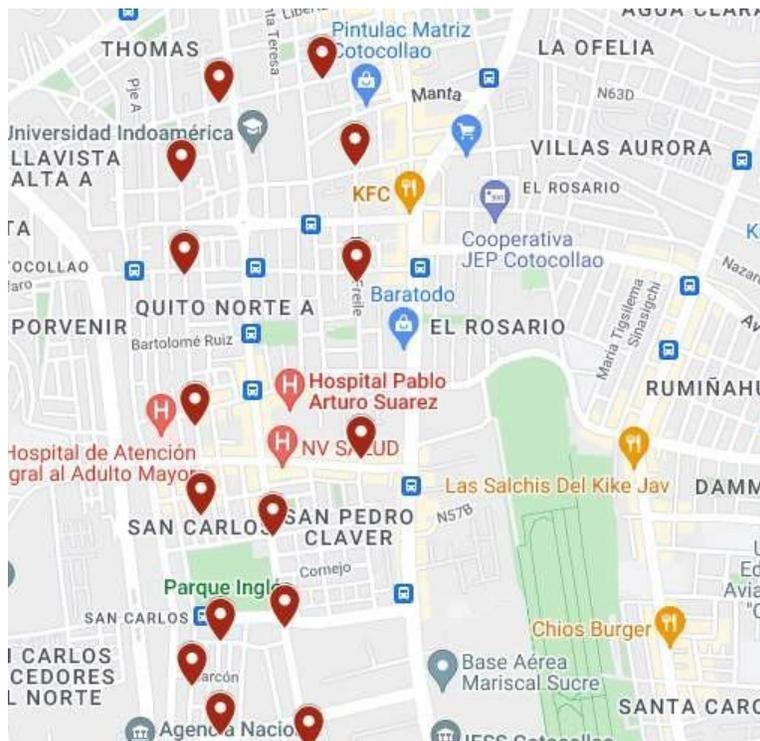
*Quinto mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



En el sexto mapa de cobertura, la Figura 26 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados desde Cotocollao hasta el Centro Comercial “El Bosque” y la Plaza de las Américas.

### Figura 26

*Sexto mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



a)



b)

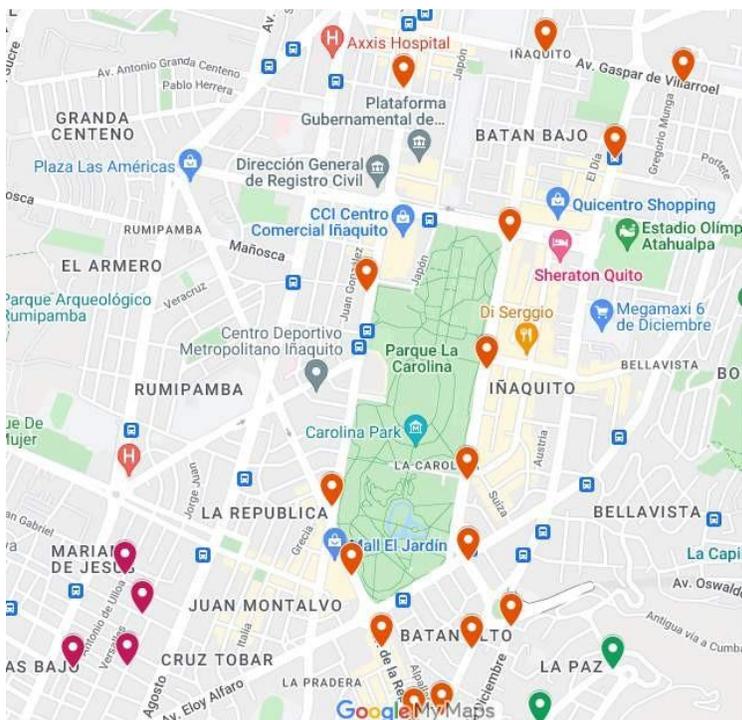


c)

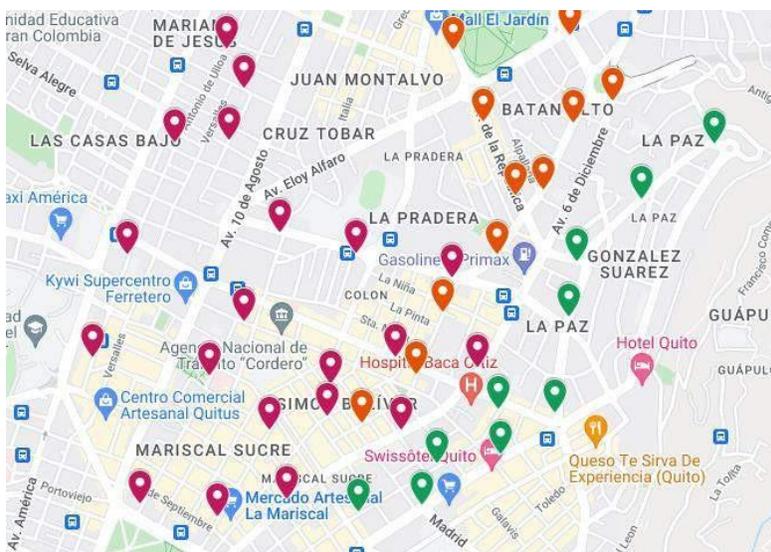
En el séptimo mapa de cobertura, la Figura 27 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados alrededor del parque La Carolina hasta los alrededores del Mercado Artesanal La Mariscal, Mercado Santa Clara y la Av. 6 de diciembre.

Figura 27

Séptimo mapa de coordenadas en el cantón Quito.



a)

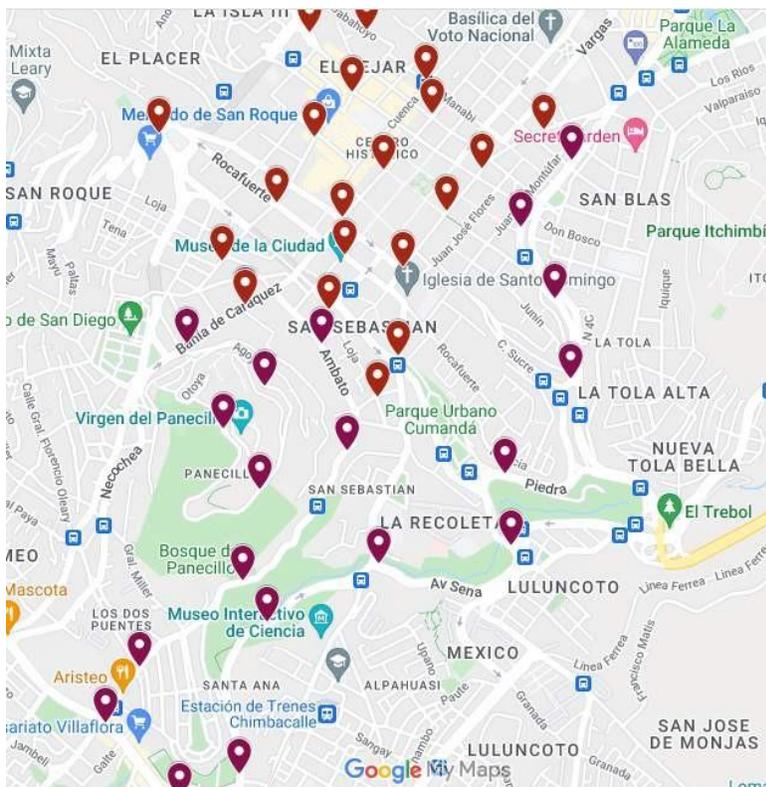


b)

En el octavo mapa de cobertura, la Figura 28 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados desde El Tejar hasta el Comisariato de la Villaflora.

### Figura 28

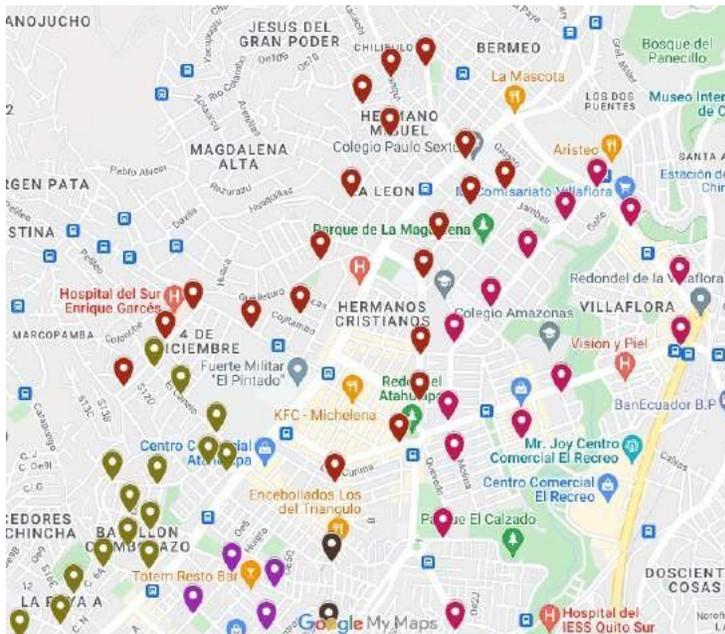
*Octavo mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



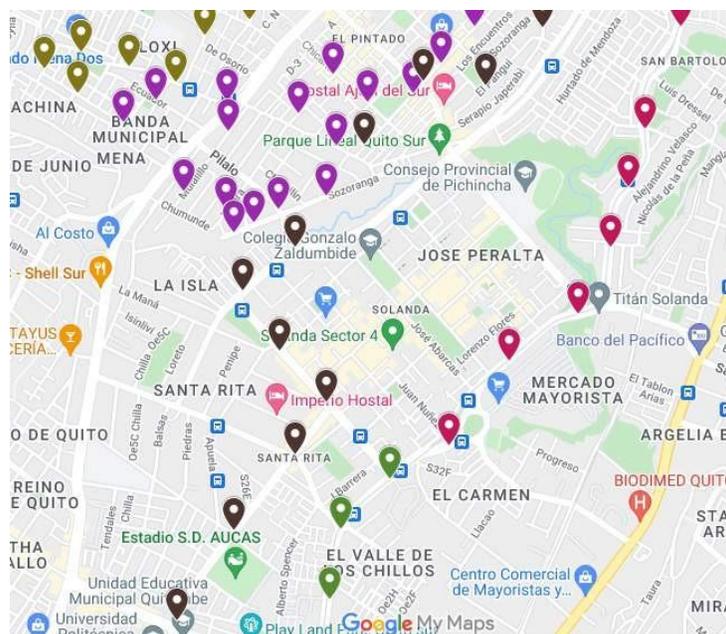
El noveno mapa de cobertura, en la Figura 29 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en la parte Sur del cantón, los puntos que cubre son los alrededores de la Villaflora, San Bartolo, Valle de los Chillos hasta cerca de la Nueva Aurora.

Figura 29

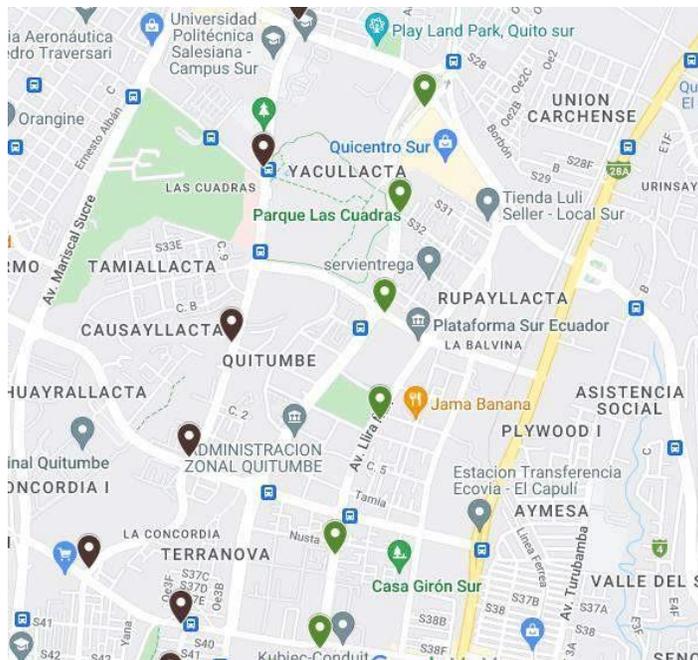
Noveno mapa de coordenadas en el cantón Quito.



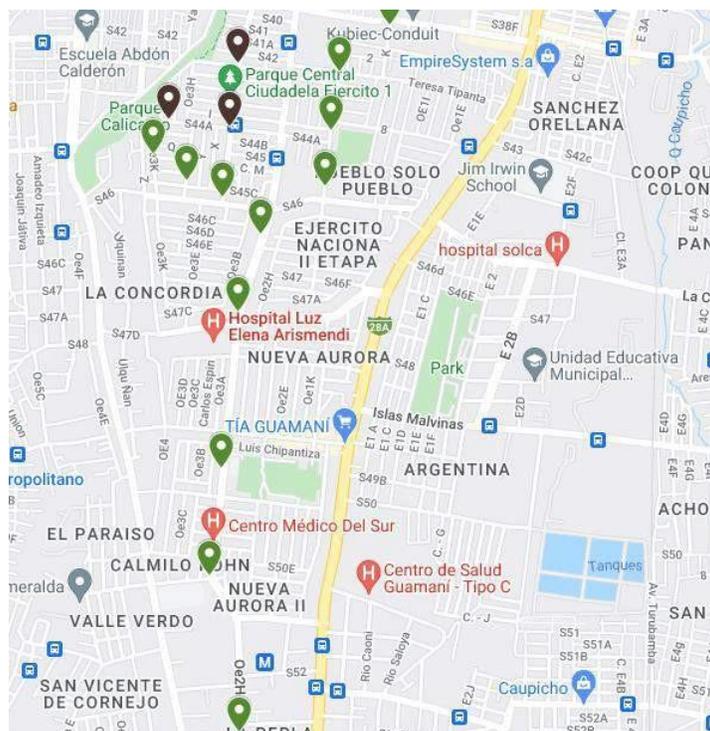
a)



b)



c)

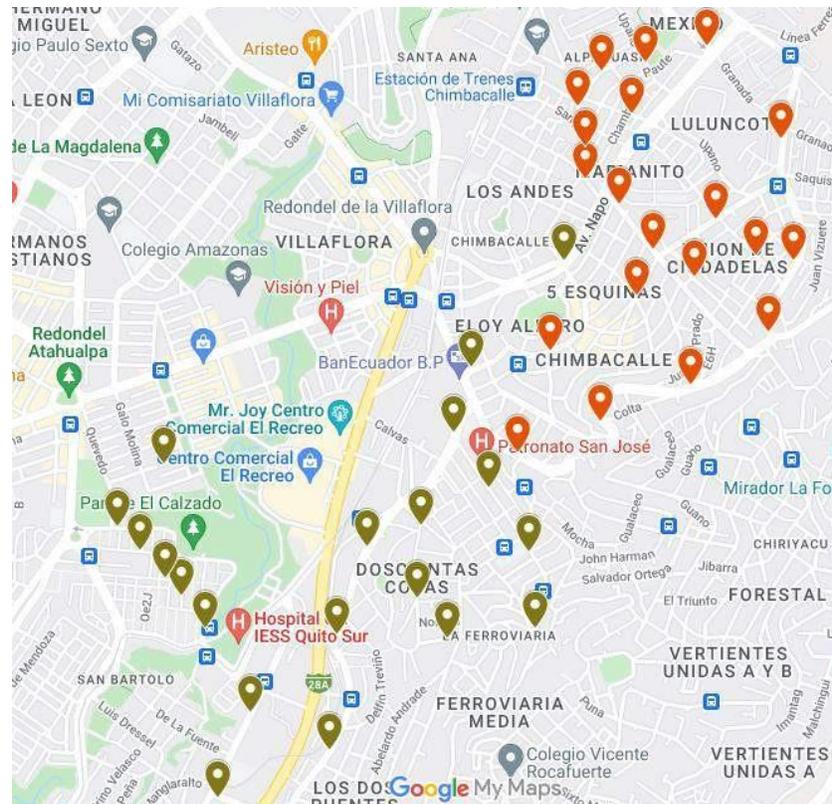


d)

En el décimo mapa de cobertura, en la Figura 30 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en los alrededores del Colegio Montufar hasta el Centro comercial el Recreo y el Hospital IESS Quito Sur.

### Figura 30

*Décimo mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



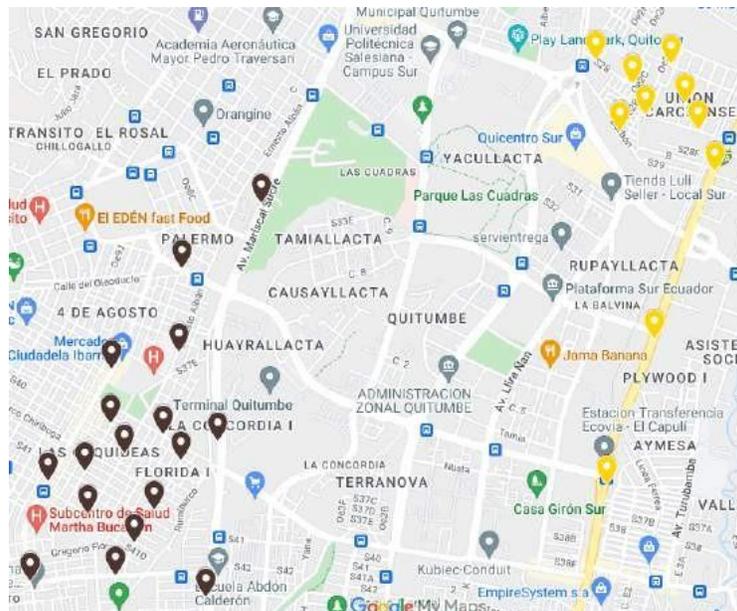
En el décimo primer mapa de cobertura, en la Figura 31 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en los alrededores de San Bartolo, Estado S.D. Aucas y La academia Aeronáutica Mayor Pedro Traversari.



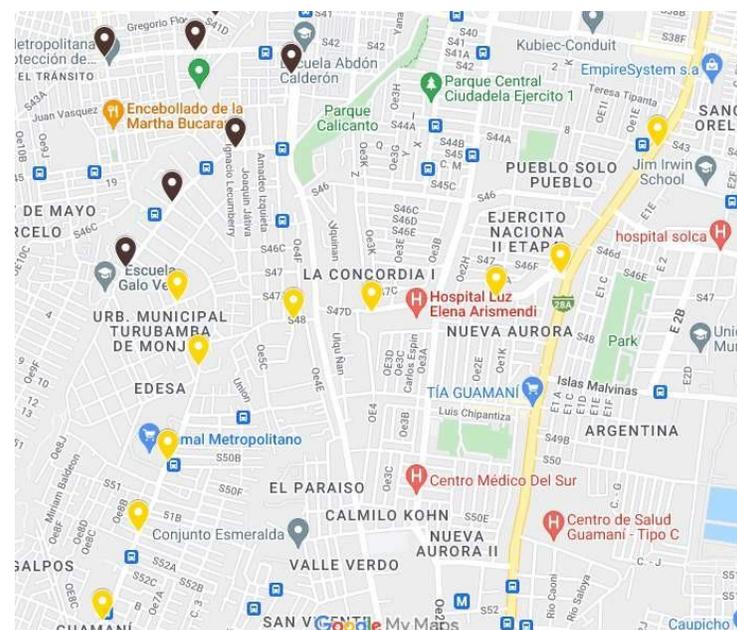
En el décimo segundo mapa de cobertura, en la Figura 32 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en los alrededores del Terminal de Quitumbe, parte de la Av. Pedro Vicente Maldonado, y el Subcentro de Salud Martha Bucaram.

**Figura 32**

*Décimo segundo mapa de coordenadas en el cantón Quito.*



a)



b)

En el décimo tercer mapa de cobertura, en la Figura 33 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados desde el sector del Triángulo en el Valle de los Chillos hasta los alrededores de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

### Figura 33

*Décimo tercer mapa de coordenadas parte del sector Valle de los Chillos.*



En el décimo cuarto mapa de cobertura, en la Figura 34 se pueden observar que los puntos de coordenadas están ubicados en el interior de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

**Figura 34**

*Décimo cuarto mapa de coordenadas sector Universidad de las Fuerzas Armadas.*

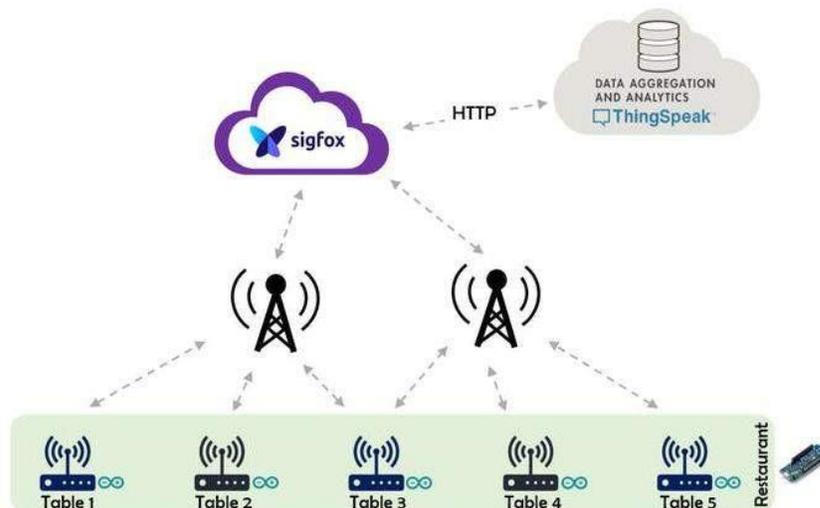


### **Arquitectura de red**

Una vez que los dispositivos se han conectado a la red Sigfox y han enviado los parámetros que se colocaron en la programación a Sigfox *Cloud*, se configura la conexión con *ThingSpeak* para que los datos se envíen a la plataforma y se almacenen, para luego los mismos se conecten con la base de datos de Mongo DB y se visualice de forma gráfica en varios charts los resultados.

Figura 35

Arquitectura conexión Sigfox y ThingSpeak



Nota. En la figura se puede observar la arquitectura que debe seguir para la conexión entre Sigfox y *ThingSpeak*. (Crespo, 2018)

Para implementar la arquitectura presentada en la Figura 35 es necesario el desarrollo de un conector entre *ThingSpeak* y el *Backend* de Sigfox para ello se realiza la configuración de un *Callback* y a su vez la creación de un canal en *ThingSpeak* donde se almacena toda la información recibida por parte de los dispositivos.

### Configuración del canal en *ThingSpeak*

Para la configuración del almacenamiento en *ThingSpeak* es necesario realizar la creación del canal en nuestro caso el canal se llama "SigFox\_GEO", el nombre del canal se debe a que el trabajo de investigación es de Geolocalización y con la tecnología Sigfox, por lo que se crea el canal con los parámetros de latitud, longitud, niveles de RSSI y el Id del dispositivo que envía el mensaje, como se observa en la figura 36.

**Figura 36***Configuración canal de ThingSpeak*

Channel ID	1484745
Name	<input type="text" value="SigFox_GEO"/>
Description	<input type="text" value="Datos de Geolocalizacion HSTR"/>
Field 1	<input type="text" value="Latitud"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	<input type="text" value="Longitud"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	<input type="text" value="rssi"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Field 4	<input type="text" value="ID"/> <input checked="" type="checkbox"/>

Nota. En la figura se tiene la configuración necesaria en *ThingSpeak* del canal.

En este caso en la configuración se tiene un ID de canal este sirve para hacer la conexión con la base de datos Mongo DB, seguido de ello tenemos el nombre del canal y una breve descripción de los datos que se tiene en el trabajo de investigación.

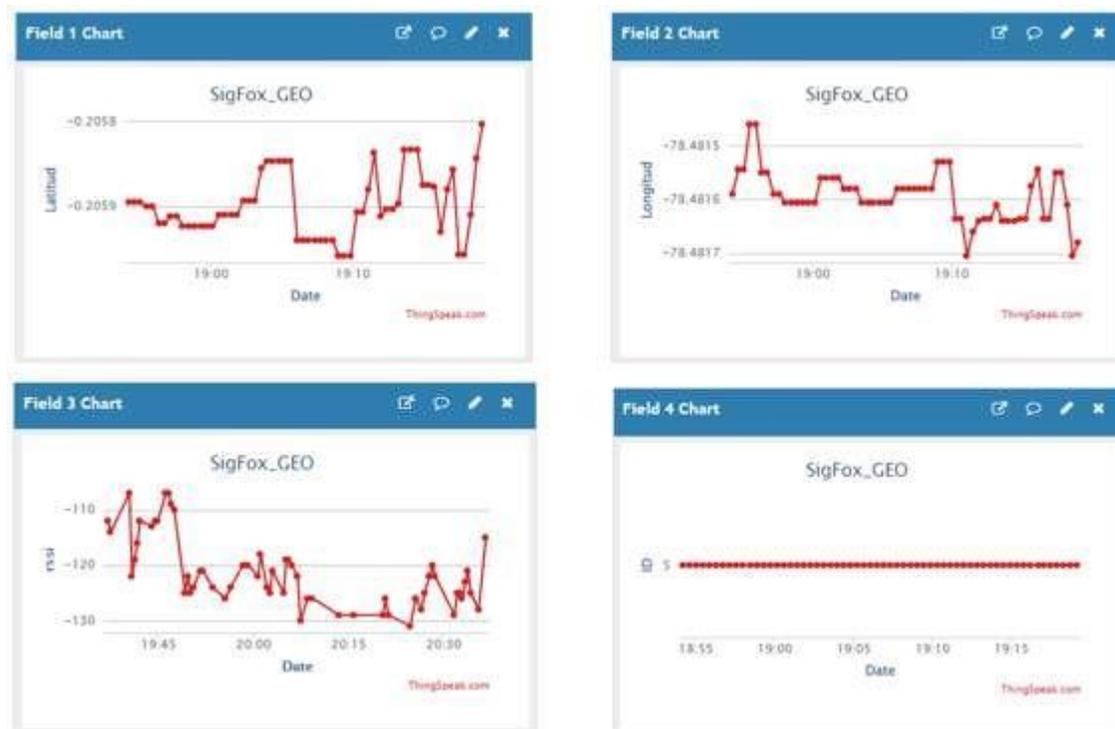
Después se tiene cuatro campos que son los valores que envía los dispositivos al *Backend* de Sigfox y estos a *ThingSpeak* los cuales son: Latitud, Longitud, RSSI, ID.

Para este caso el ID es importante ya que se tiene dos dispositivos que van a trabajar simultáneamente en la toma de datos, por ello para poder identificar que dispositivo envió se requiere el ID.

Una vez creado el canal se procede a crear cuatro cuadros de gráficos (*charts*) tal como se observa en la figura 37, en estos se visualiza una gráfica de Latitud vs Fecha, Longitud vs Fecha, RSSI vs Fecha y por último el Id del dispositivo.

**Figura 37**

Cuadros de gráficos de los parámetros enviados en *ThingSpeak*.



Nota. En la figura se tiene la representación gráfica de los parámetros que envían los dispositivos durante la toma de datos y estos se visualizan en *ThingSpeak*.

### Conexión entre Sigfox y *ThingSpeak*

En la configuración para que los datos que llegan al *Backend* de Sigfox y puedan ser enviados a la plataforma *ThingSpeak* se necesita crear un *Callback* que sea dirigido al canal creado previamente en la plataforma como se observa en la figura 39. Para la conexión vamos a necesitar de un API que entrega el canal creado en la plataforma de *ThingSpeak* este se observa en la figura 38.

## Figura 38

API generado para la conexión entre Sigfox y ThingSpeak.

Write API Key

Key

Read API Keys

Key

Note

Nota. En la figura se tiene dos API Key en el canal creado en la plataforma.

Para nuestro caso como el canal va a ser de escritura se usará el "Write API Key", se debe configurar el *Callback* como se observa en la siguiente figura.

## Figura 39

Configuración *Callback* de Sigfox

**Device type PYCOM\_DevKit\_1 - Callback edition**

Callbacks

Type

Channel

Custom payload config  ?

URL syntax: <http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...>  
 Available variables: device, time, data, seqNumber, deviceTypeid  
 Custom variables: customData#lat, customData#lng

Url pattern  ?

Use HTTP Method

Send SNI  (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

Headers

Nota. La figura representa la configuración del *Callback* en el *Backend* de Sigfox para la conexión entre Sigfox y *ThingSpeak*.

Como se observa en la figura 39 se configura el canal, en la configuración de carga o datos se coloca los dos datos de latitud y longitud estos son de tipo flotante, se selecciona el método HTTP que es GET, el API key que se usa se debe colocar tal como nos indica la plataforma que es lo siguiente:

#### Figura 40

*URL para conexión de ThingSpeak con Sigfox.*

```
GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=G5IN5E3ZNEDFB5YR&field1=0
```

Nota. En la figura se observa el Url que proporciona el canal de *ThingSpeak* para la conexión entre Sigfox y la plataforma mencionada.

En la figura 40 se realiza algunos cambios para que pueda funcionar la conexión y pueda recibir los datos sin ningún error la plataforma entonces para ello se añade todos los campos que deseamos que envíe el dispositivo que son Latitud, Longitud, RSSI, ID. Una vez que añadamos estos campos el Url para conectar quedaría de la siguiente manera:

#### Figura 41

*URL con cambios para la conexión entre ThingSpeak y Sigfox.*

```
https://api.thingspeak.com/update?api_key=G5IN5E3ZNEDFB5YR&field1={custom  
Data#lat}&field2={customData#lng}&field3={rssi}&field4={deviceTypeId}
```

Nota. En la figura tenemos el Url completo para la conexión entre Sigfox y *ThingSpeak*.

Una vez que se añade los cambios al Url como se observa en la figura 41, se completa la configuración del *Callback* para empezar con la conexión entre ambas plataformas.

### **Página Web**

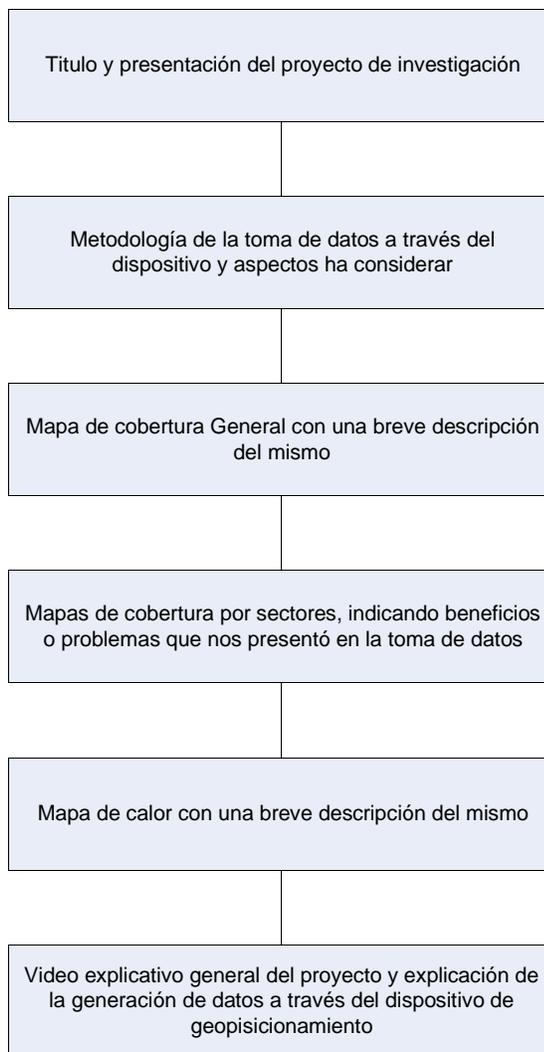
La página Web se desarrolla en el *software* Visual Studio Code, el cual tiene como objetivo presentar los resultados del proyecto de investigación, donde se visualiza los mapas de cobertura y una breve descripción de los mismos, se indica el nivel de cobertura que se obtiene en ese sector específico como también el mapa de intensidad de la tecnología Sigfox en el cantón Quito.

**Interfaz.** En el diseño de la página web se desarrolla mediante 6 contenedores los cuales se pueden observar en la figura 42. El desarrollo de cada contenedor cumple un objetivo en específico los cuales son:

- El primero presenta información general del Site Survey de la red Sigfox.
- El segundo indica información de cómo se realizó la toma de datos.
- El tercero muestra el mapa general de cobertura en el cantón Quito.
- El cuarto enseña los mapas de cobertura por sectores desde el norte hasta el sur de la ciudad y parte del sector de Sangolquí.
- El quinto presenta el mapa de intensidad de la tecnología Sigfox en el cantón Quito.
- El sexto indica un video explicativo de cómo se realizó la toma de datos para obtener los mapas de cobertura de la red Sigfox.

**Figura 42**

*Diagrama de bloques de las partes de la página web.*



Nota. En la figura se indica las características de cada contener en la interfaz de la página web.

## Capítulo VI

### Pruebas y Resultados

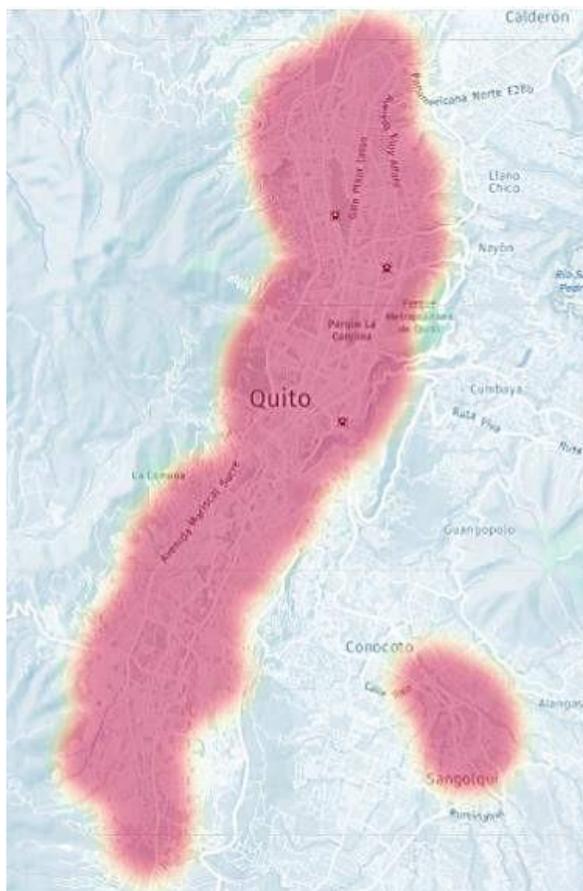
En este capítulo se detalla los resultados obtenidos de la implementación del prototipo para la generación del mapa de cobertura en el cantón Quito, del mismo modo el procedimiento que se realiza para calcular la precisión del prototipo de geoposicionamiento de la red Sigfox, como también parte de la base de datos que se generó en la toma de mediciones y para finalizar el desarrollo de la página web para la visualización de los resultados.

#### Mapa de cobertura

El mapa de cobertura que se tiene a base de la toma de mediciones por parte del prototipo de geoposicionamiento se visualiza en la figura 43.

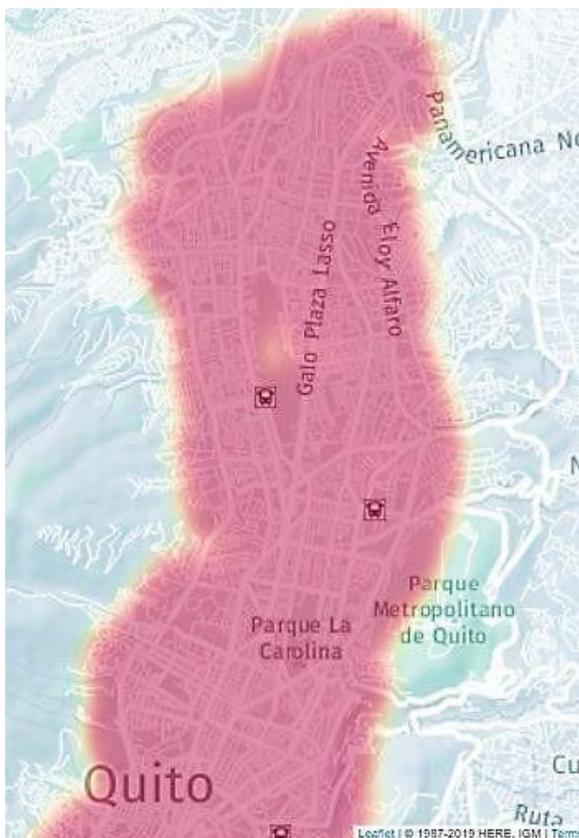
#### Figura 43

*Mapa de cobertura de la red Sigfox en el cantón Quito.*



**Figura 44**

Mapa de cobertura zona Norte.



En la figura 44 se observa el mapa de cobertura en función de los niveles de RSSI que corresponde a la zona Norte del cantón Quito, en donde se observa lugares como el Parque La Carolina, Parque Bicentenario, entre otros. En los lugares que se observa en la figura se puede desarrollar aplicaciones IoT ya que cuenta con la seguridad que hay cobertura de la red Sigfox en estos sectores del cantón Quito.

**Figura 45**

Mapa de cobertura zona Centro-Norte.

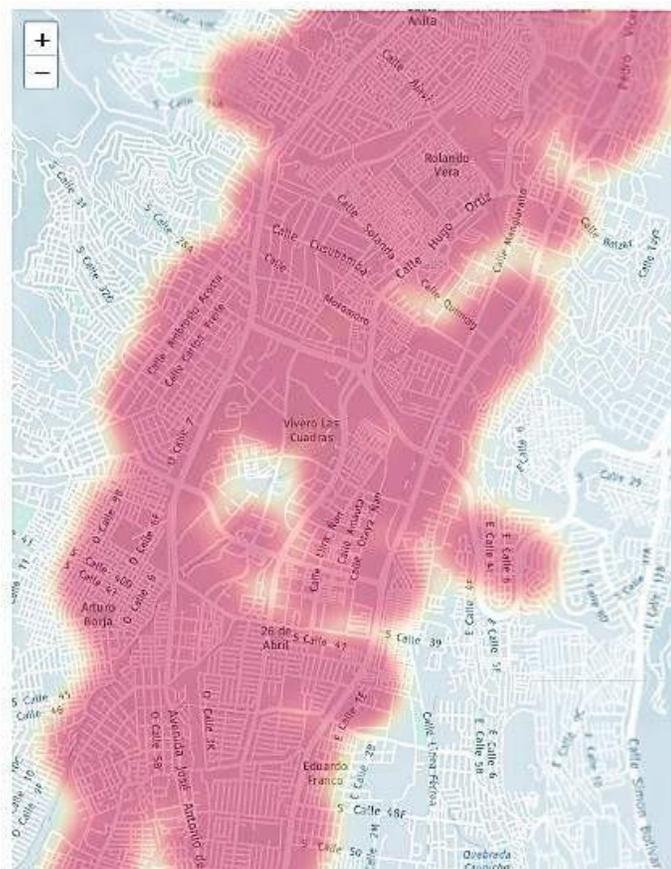


En la figura 45 se observa el mapa de cobertura en función de los niveles de RSSI que corresponde a la zona Centro-Norte del cantón Quito, en donde se observa lugares como el Parque de La Mujer, La Mariscal y algunos lugares comerciales como lo son Centro Comercial Iñaquito, Centro Comercial Espiral, entre otros. En los lugares que se observa en la figura se puede desarrollar aplicaciones IoT ya que cuenta con la seguridad que hay cobertura de la red Sigfox en estos sectores del cantón Quito.



**Figura 47**

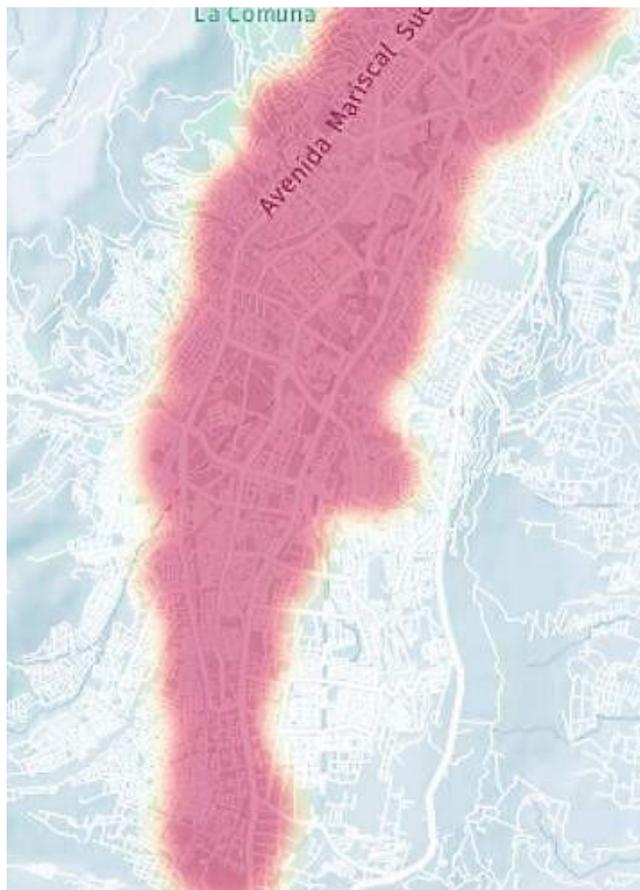
Mapa de cobertura zona Centro-Sur.



En la figura 47 se observa el mapa de cobertura en función de los niveles de RSSI que corresponde a la zona Centro-Sur del cantón Quito, en donde se observa lugares como el Parque de Las Cuadras, avenidas principales que conectan centros comerciales, entre otros. En los lugares que se observa en la figura se puede desarrollar aplicaciones IoT ya que cuenta con la seguridad que hay cobertura de la red Sigfox en estos sectores del cantón Quito.

**Figura 48**

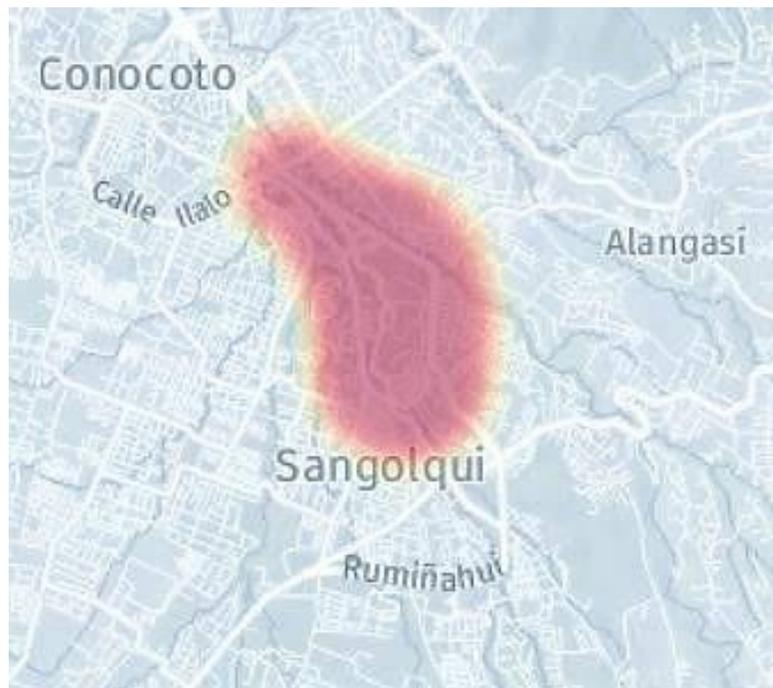
*Mapa de cobertura zona Sur.*



En la figura 48 se observa el mapa de cobertura en función de los niveles de RSSI que corresponde a la zona Sur del cantón Quito, en donde se observa lugares como el Terminal de Quitumbe, la Avenida Mariscal Sucre que es la conecta todo el Sur de Quito, entre otros sitios. En los lugares que se observa en la figura se puede desarrollar aplicaciones IoT ya que cuenta con la seguridad que hay cobertura de la red Sigfox en estos sectores del cantón Quito.

**Figura 49**

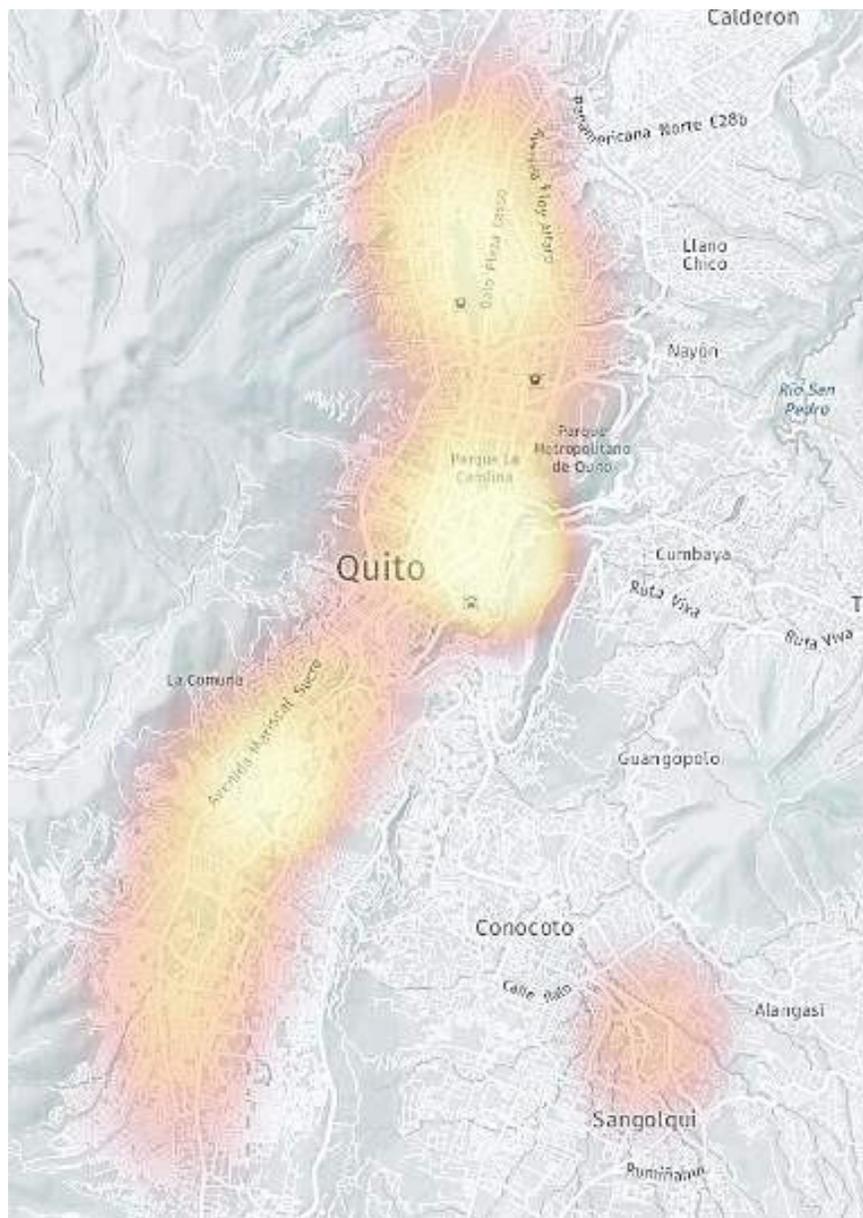
*Mapa de cobertura zona Valle de los Chillos.*



En la figura 49 se observa el mapa de cobertura de una parte del Valle de Los Chillos, específicamente desde el triángulo hasta alrededor de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, en este sector del Valle de Los Chillos se realiza la toma de mediciones con respecto a la estación base que se encuentra en la Universidad de Las Fuerzas Armadas.

**Figura 50**

*Mapa de calor de la intensidad de la red Sigfox en Quito.*



En la figura 50 se observa el mapa de calor donde se tiene los distintos sectores donde hay mayor intensidad de la señal de la red Sigfox como lo son el Centro- Norte y Centro-Sur, en estos sectores del cantón por ser zonas comerciales existe mayor cobertura, mientras que alrededor del cantón la intensidad de la red es baja ya que consta su mayor parte de autopistas

y estas mismas están separadas de la ciudad por montañas que no permiten la conexión entre el prototipo y las estaciones de Sigfox.

### Límites de la cobertura de la red Sigfox

En esta sección se detalla el alcance de la tecnología Sigfox en el cantón Quito, es decir, se tiene los límites hasta donde los dispositivos enviaron mensajes a las estaciones base de la tecnología, después de estos límites los dispositivos no envían más mensajes ya que se pierde la conexión, en estos puntos de limite se obtiene la descripción de LQI como “*Limit*”, dando así un nivel de RSSI mayor a -127dBm que significa que no hay conexión con ninguna estación, con ello se tiene el resultado que después de estos límites no hay comunicación de Sigfox, en la tabla 8 se puede observar el punto fijo donde se obtuvo el último dato enviado por el dispositivo, como también el LQI, el nivel de RSSI del mensaje y una referencia de donde se encuentra el punto establecido.

**Tabla 8**

*Límites de la cobertura de la tecnología Sigfox en el cantón Quito.*

Latitud	Longitud	LQI	RSSI	Referencia
-0.09403	-78.47534	Limit	-130.00dBm	Supermaxi Carcelén (N)
-0.19311	-78.47718	Limit	-131.00dBm	Banco Pichincha Gonzales Suarez (NE)
-0.13719	-78.5015	Limit	-131.00dBm	Agencia Metropolitana de Transito (NO)
-0.25942	-78.5538	Average	-116dBm	Mercado Mena dos (SO)
-0.24485	-78.50732	Limit	-128.00dBm	Centro Médico PIO XII (SE)
-0.32902	-78.5533	Limit	-131.00dBm	Guamaní Alto (S)

## Precisión del prototipo de Geoposicionamiento

Para obtener la precisión del dispositivo se realizó una toma de datos de 150 puntos fijos los cuales se establecieron por un patrón que este caso es el GPS Xiaomi Note 10S, estos puntos establecidos en el mapa tienen un radio de 80 m, con ello se elaboró la tabla 9, en donde se pueden visualizar los puntos del prototipo de geoposicionamiento tanto latitud como longitud, de igual forma los puntos del GPS Xiaomi Note 10S, y finalmente la distancia entre los dos equipos de medición, ambos dispositivos se colocan de forma conjunta para poder obtener estos datos.

**Tabla 9**

*Puntos de geoposicionamiento del prototipo, GPS Xiaomi Note 10S y distancia entre prototipos.*

Prototipo de Geoposicionamiento		GPS Xiaomi Note 10s		Distancia prototipo y GPS (m)
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
-0,19146499	-78,50837	-0,19148	-78,50833	4
-0,19383834	-78,50941	-0,19388	-78,50939	5
-0,19530667	-78,50759	-0,19534	-78,50755	6
-0,19670168	-78,50406	-0,19672	-78,50406	3
-0,24147667	-78,530045	-0,24148	-78,53002	3
-0,240885	-78,52955	-0,24093	-78,52958	6
-0,23985168	-78,52864	-0,23986	-78,52864	1
-0,23940167	-78,52733	-0,23937	-78,52728	5
-0,23385501	-78,53048	-0,23388	-78,53054	8
-0,234375	-78,53201	-0,2344	-78,53198	4
-0,23686834	-78,532104	-0,23691	-78,53209	5
-0,24207	-78,53488	-0,24209	-78,5349	4
-0,24736834	-78,542984	-0,24734	-78,54304	7
-0,24667667	-78,542244	-0,24662	-78,5422	6
-0,25405166	-78,54334	-0,25412	-78,54332	7
-0,25626335	-78,54563	-0,25629	-78,54554	8
-0,25753334	-78,54606	-0,25758	-78,54606	6
-0,25984165	-78,548836	-0,25989	-78,54882	5
-0,25898167	-78,552	-0,25897	-78,55207	8
-0,25878334	-78,552315	-0,25878	-78,55234	3
-0,26016667	-78,55287	-0,26016	-78,55283	4
-0,26039836	-78,54986	-0,26037	-78,54984	3

...

Protipo de Geoposicionamiento		GPS Xiaomi Note 10s		Distancia prototipo y GPS (m)
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
-0,26063	-78,5467	-0,26062	-78,54671	2
-0,26154333	-78,54647	-0,26153	-78,5465	4
-0,262185	-78,54691	-0,26214	-78,54692	5
-0,26477167	-78,54672	-0,26479	-78,54673	3
-0,26533666	-78,545845	-0,26537	-78,5458	6
-0,26565498	-78,546364	-0,26569	-78,54637	5
-0,26240999	-78,542404	-0,26242	-78,54246	6
-0,26056665	-78,54143	-0,26059	-78,54141	3
-0,25614336	-78,53645	-0,25617	-78,53645	4
-0,25516835	-78,538536	-0,25519	-78,53855	3
-0,29166332	-78,55087	-0,2917	-78,55084	5
-0,30050835	-78,55617	-0,3005	-78,55622	5
-0,30271333	-78,55311	-0,30268	-78,55307	5
-0,307035	-78,55594	-0,30703	-78,55591	3
-0,305425	-78,549706	-0,3054	-78,54975	5
-0,30534	-78,54931	-0,30532	-78,54935	6
-0,29977667	-78,547295	-0,29979	-78,54729	2
-0,29164	-78,54517	-0,29159	-78,5452	6
-0,15501	-78,46883	-0,15502	-78,46888	6
-0,14518334	-78,47063	-0,14519	-78,47064	2
-0,145085	-78,472565	-0,14506	-78,47261	6
-0,10912	-78,48442	-0,10907	-78,48436	8
-0,14477833	-78,469315	-0,14475	-78,46936	6
-0,13736	-78,47651	-0,13737	-78,47652	2
-0,13755666	-78,477554	-0,13756	-78,47751	4
-0,14317332	-78,47771	-0,14319	-78,47766	6
-0,14659166	-78,477516	-0,14661	-78,4775	3
-0,14890833	-78,47892	-0,14891	-78,47893	2
-0,14234166	-78,48227	-0,14231	-78,48225	3
-0,14159165	-78,48237	-0,14161	-78,48238	3
-0,13257334	-78,47842	-0,13257	-78,47843	2
-0,13310333	-78,47831	-0,13307	-78,47833	4
-0,13541669	-78,48042	-0,13544	-78,48039	5
-0,13593501	-78,48032	-0,13595	-78,48029	3
-0,12879333	-78,485596	-0,12881	-78,48562	4
-0,12268666	-78,485176	-0,12269	-78,48523	6
-0,119101666	-78,48389	-0,11906	-78,48389	6

...

Prototipo de Geoposicionamiento		GPS Xiaomi Note 10s		Distancia prototipo y GPS (m)
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
-0,11771999	-78,48374	-0,11774	-78,48372	3
-0,116535	-78,487305	-0,11657	-78,48729	4
-0,12185001	-78,48943	-0,12186	-78,48947	5
-0,10959668	-78,48645	-0,10956	-78,48643	4
-0,106704995	-78,48207	-0,10665	-78,48208	6
-0,11275999	-78,48284	-0,1128	-78,48282	5
-0,11321999	-78,48277	-0,11319	-78,48281	5
-0,17379	-78,498405	-0,1738	-78,49839	2
-0,17144832	-78,498924	-0,17146	-78,49897	6
-0,17282002	-78,49773	-0,17277	-78,49773	5
-0,17080666	-78,495605	-0,17082	-78,49563	4
-0,17148499	-78,494774	-0,1715	-78,49476	3
-0,17098	-78,4912	-0,17095	-78,49115	5
-0,17617331	-78,493866	-0,17618	-78,49387	2
-0,176265	-78,493866	-0,17624	-78,49388	3
-0,17553167	-78,498886	-0,17556	-78,49884	5
-0,15918334	-78,49621	-0,15912	-78,49616	8
-0,15600666	-78,495804	-0,15605	-78,49578	5
-0,15652834	-78,49192	-0,15659	-78,4919	7
-0,158475	-78,49242	-0,1585	-78,49245	5
-0,15873168	-78,49578	-0,1587	-78,49575	4
-0,15367667	-78,496086	-0,1537	-78,49609	3
-0,15353169	-78,49653	-0,15355	-78,4965	4
-0,141955	-78,495735	-0,14195	-78,49567	6
-0,14144164	-78,49373	-0,14139	-78,49372	5
-0,13905	-78,49443	-0,1391	-78,49444	6
-0,13972001	-78,498886	-0,13975	-78,4989	4
-0,136725	-78,49709	-0,13675	-78,49709	3
-0,13550167	-78,50024	-0,13552	-78,50025	3
-0,13117833	-78,4999	-0,13114	-78,49989	3
-0,12383166	-78,50042	-0,12383	-78,50046	4
-0,11818167	-78,49648	-0,11819	-78,49652	5
-0,12859501	-78,49543	-0,12863	-78,4954	5
-0,12892167	-78,495415	-0,12895	-78,49539	5
-0,20351	-78,49352	-0,20353	-78,49357	7
-0,20131166	-78,495705	-0,20133	-78,49572	3
-0,205935	-78,49813	-0,20598	-78,49816	6
-0,19696501	-78,498825	-0,19697	-78,49888	6

...

Prototipo de Geoposicionamiento		GPS Xiaomi Note 10s		Distancia prototipo y GPS (m)
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
-0,19293	-78,497025	-0,19292	-78,49709	8
-0,1894	-78,4952	-0,18943	-78,49523	5
-0,19292167	-78,4952	-0,19294	-78,49521	5
-0,19717833	-78,49045	-0,19713	-78,49045	5
-0,20338668	-78,48816	-0,20342	-78,4882	6
-0,20406334	-78,48937	-0,20402	-78,48934	5
-0,20376666	-78,49372	-0,20376	-78,49371	1
-0,20308	-78,4913	-0,20309	-78,49136	6
-0,20214503	-78,48837	-0,20209	-78,48839	6
-0,19995666	-78,487434	-0,1999	-78,48746	7
-0,19728	-78,48528	-0,19725	-78,48528	3
-0,19496502	-78,48356	-0,19492	-78,48359	6
-0,19231	-78,48236	-0,19233	-78,48238	3
-0,20702168	-78,49557	-0,20698	-78,4956	5
-0,20215668	-78,49161	-0,20213	-78,49157	5
-0,19958499	-78,494835	-0,19964	-78,49483	7
-0,19976832	-78,49506	-0,19976	-78,495	6
-0,20155334	-78,495865	-0,20159	-78,49584	5
-0,20095	-78,500175	-0,20095	-78,50023	6
-0,19707002	-78,49888	-0,19704	-78,49889	4
-0,19250666	-78,496895	-0,19253	-78,49691	4
-0,19634166	-78,49348	-0,19632	-78,49344	4
-0,20154834	-78,4861	-0,20155	-78,48604	6
-0,20192835	-78,486305	-0,2019	-78,48633	4
-0,20374666	-78,48893	-0,20377	-78,48888	6
-0,20624499	-78,49305	-0,20628	-78,49302	5
-0,20340832	-78,49353	-0,20343	-78,49352	3
-0,20340832	-78,49353	-0,20343	-78,49352	3
-0,20310166	-78,49139	-0,2031	-78,49141	3
-0,20347667	-78,49029	-0,20349	-78,49027	2
-0,20168	-78,4882	-0,20169	-78,48823	4
-0,19696167	-78,48499	-0,19695	-78,48504	5
-0,19214001	-78,48227	-0,19214	-78,4823	3
-0,18913	-78,48244	-0,1891	-78,48248	5
-0,18591	-78,48254	-0,18596	-78,48256	6
-0,171345	-78,47436	-0,17133	-78,47439	4
-0,17017333	-78,47966	-0,17017	-78,47967	2

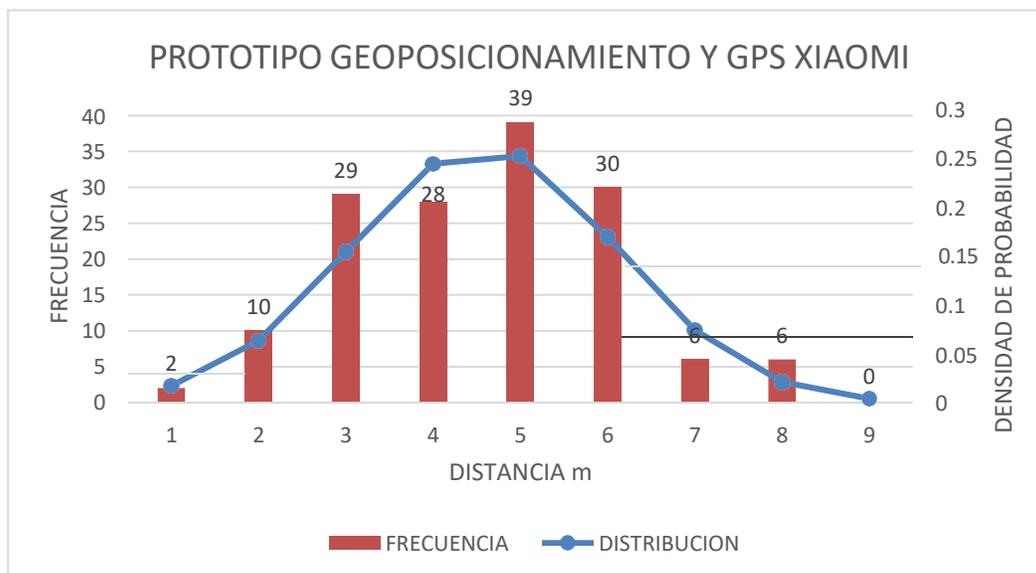
...

Prototipo de Geoposicionamiento		GPS Xiaomi Note 10s		Distancia prototipo y GPS (m)
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
-0,17866834	-78,486206	-0,1787	-78,48616	6
-0,18632333	-78,48751	-0,18635	-78,4875	3
-0,18719834	-78,487625	-0,18716	-78,48762	4
-0,19184166	-78,485886	-0,19187	-78,48588	4
-0,19279167	-78,48546	-0,19277	-78,4855	5
-0,19546501	-78,484344	-0,19543	-78,48434	4
-0,19311	-78,47726	-0,19311	-78,47722	5
-0,20353834	-78,485405	-0,20351	-78,48544	5
-0,25347	-78,53114	-0,25342	-78,53113	5
-0,26021335	-78,53359	-0,26023	-78,53362	4
-0,25756	-78,53247	-0,25759	-78,53243	5
-0,26222	-78,537865	-0,26218	-78,53785	4
-0,2672017	-78,54014	-0,26722	-78,54014	3
-0,27565166	-78,54537	-0,27568	-78,54537	4
-0,27622	-78,54981	-0,27624	-78,5498	3
-0,27713832	-78,54988	-0,27711	-78,54991	5

Mediante un análisis estadístico de la tabla 9, se pueden presentar los resultados que se obtuvo mediante las mediciones entre ambos dispositivos de trabajo.

**Figura 51**

*Densidad de probabilidad de la distancia entre ambos equipos de trabajo.*



En la figura 51 se tiene que el prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox con respecto al GPS Xiaomi Note 10S como patrón de medidas, difiere en un rango de 3 m a 6 m, es decir, se tiene la probabilidad de 81% que la diferencia entre el prototipo y el GPS pueda tener el valor entre este rango. La distancia que más se tiene entre ambos prototipos es de 5 m, ya que de los 150 datos obtenidos 39 de ellos tenían la diferencia de 5m entre los dos dispositivos.

Esto no afecta el resultado de conexión entre el dispositivo y las estaciones base, se debe de considerar el radio con el que se programa el dispositivo. Se plantean algunos casos de trabajo los cuales pueden ser:

- **Primer caso. -**

El radio programado es de 10 m en este caso la toma de datos fue del 100% sin pérdida de mensajes enviados, con un retardo <1s y con el prototipo sin movimiento.

Con el mismo radio de trabajo y con el prototipo en movimiento es decir a una velocidad de 20km/h se tiene una pérdida de datos del 95% y solo el 5% de los mensajes enviados llegan al *Backend* de Sigfox y con un retardo de aproximadamente 4s, ya que el prototipo esta fuera del radio establecido.

- **Segundo caso. -**

Si el radio se aumenta a un valor grande como por ejemplo 80 metros el prototipo no tiene problema en enviar algunos mensajes ya que el tiempo de envío es de aproximadamente 20s, con la misma velocidad vehicular de 20km/h se tiene una precisión del 80% para enviar los mensajes hacia el *Backend* de Sigfox, con un 20% de pérdidas de datos y un retardo de 4s, pero del 100% de datos enviados si el prototipo esta sin movimiento.

### Precisión respecto al radio de medición

Esta precisión se la obtuvo entre la comparación de la distancia que mide el dispositivo respecto al radio de medición de esta manera se puede obtener el error en longitud (m), con el fin de conocer a que distancia el dispositivo funciona de mejor manera luego de entrar en el radio de medición.

Ecuación del error absoluto

$$Error = X_{referencia} - X_{medido}$$

Ecuación del error relativo

$$Error = \left( \frac{X_{referencia} - X_{medido}}{X_{referencia}} \right) \times 100\%$$

**Tabla 10**

*Precisión del dispositivo dentro del radio de medición.*

Radio(m)	Valor medido(m)	Diferencia de distancias (m)	Error %(Porcentaje del prototipo en el radio)
80	6	74	92,5
80	9	71	88,75
80	12	68	85
80	15	65	81,25
80	18	62	77,5
80	21	59	73,75
80	24	56	70
80	27	53	66,25
80	30	50	62,5
80	33	47	58,75
80	36	44	55
80	39	41	51,25
80	42	38	47,5
80	45	35	43,75
80	48	32	40
80	51	29	36,25
80	54	26	32,5
80	57	23	28,75
80	60	20	25
80	63	17	21,25
80	66	14	17,5
80	69	11	13,75

En la tabla 10 se observa que la menor distancia que existe entre el prototipo de geoposicionamiento y el radio establecido de 80m es de 11m, es decir se tiene un porcentaje de error del 13,75%, con esto el dispositivo al entrar al radio de medición necesita una distancia de 11m para estabilizarse antes de empezar a realizar las mediciones y se puede evidenciar en la figura 52.

### Figura 52

*Frecuencia de las mediciones del dispositivo dentro del radio de 80m.*



Nota. En la figura se puede observar la frecuencia de la toma de datos estáticos en 150 puntos dentro de su radio de 80m.

En la figura 52 podemos observar que el dispositivo envía el primer mensaje a partir de los 69m, por lo que se genera un error de 11m respecto al radio establecido que es de 80m, a la distancia de 30m y 51m es donde el dispositivo de geoposicionamiento toma más medidas cuando se encuentra dentro del radio de medición, de igual forma por lo que el prototipo de geoposicionamiento no tiene una precisión alta la mayoría de valores que se tiene cuando el prototipo de geoposicionamiento se encuentra en pleno punto fijo redondean los 6m a 15m.

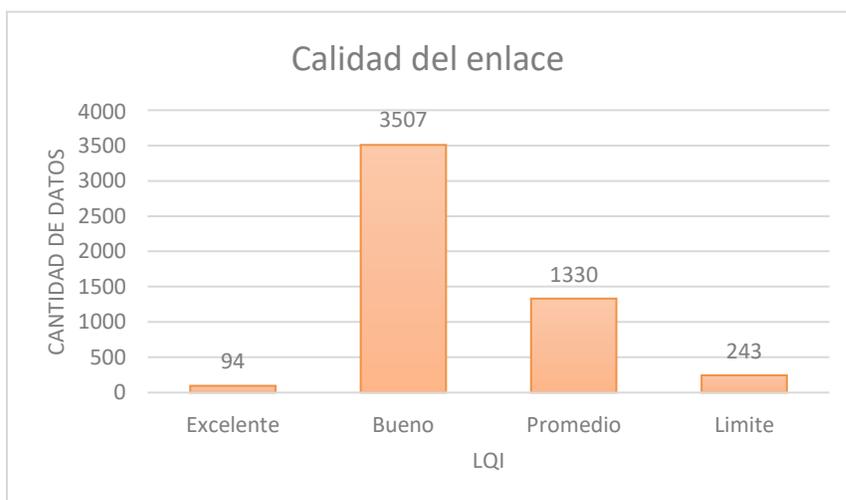
## Calidad del enlace

La calidad del enlace en la red Sigfox está determinado por el parámetro LQI y se determina por el número de estaciones base a las que se conecta y el nivel del RSSI obtenido, de modo que se tiene varios tipos de calidad de enlace como se detalla en la Tabla 4, los parámetros que se especifican corresponden a la configuración de la red de radio de las zonas RC2 y RC4.

En la base de datos obtenida por medio de la toma de mediciones, se detalla que cada mensaje tiene su nivel de RSSI y de igual forma el LQI, este último nos sirve para poder identificar y clasificar a todas las muestras obtenidas por los diferentes tipos de calidad de enlace que tiene la red Sigfox.

### Figura 53

*Calidad del enlace en toda la base de datos.*



En la figura 53 se pueden observar que se tienen 94 datos con calidad de enlace excelente que representa el 1.81%, 3507 datos con calidad de enlace bueno que representa el 67.74%, 1330 datos con calidad de enlace promedio que representa el 25.70% y finalmente 243 datos con calidad de enlace límite que representa el 4.69%. Con esto al sumar todos los datos que están clasificados en la calidad de enlace se tiene la base de datos final de 5174 datos.

## Página Web.

En la página web se observan los mapas de cobertura obtenidos de la base de datos MongoDB, además se realizó de forma muy dinámica para el entendimiento de cualquier persona que quiera información sobre el trabajo de investigación de la red LPWAN Sigfox, la página consta de 6 partes las cuales se las lista a continuación.

En el primer contenedor de la página web se tiene el tema del proyecto de investigación, el logo representativo de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones tal como se muestra en la figura 54.

### Figura 54

*Primer contenedor de la página web.*



En el segundo contenedor de la página web se tiene la metodología de trabajo para desarrollar el proyecto de investigación como también una imagen de cómo funciona la red Sigfox tal como se muestra en la figura 55.



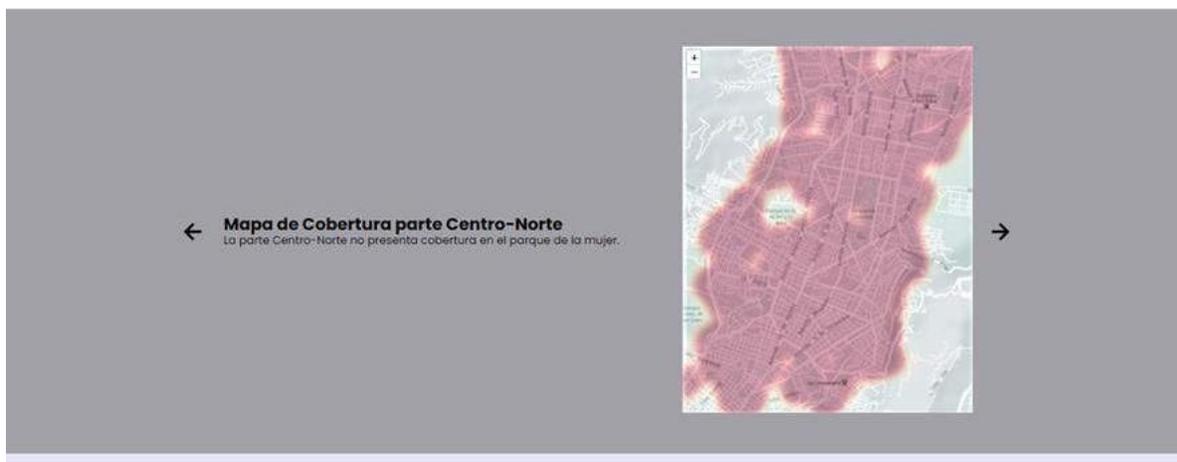
En el cuarto contenedor de la página web se tiene el mapa de cobertura en función de los niveles de RSSI obtenidos por sectores del cantón Quito estos son zona Norte, Centro-Norte, Centro-Sur, Centro, Sur y parte de los Valles de Los Chillos, con una descripción de todos los mapas de cobertura.

### Figura 57

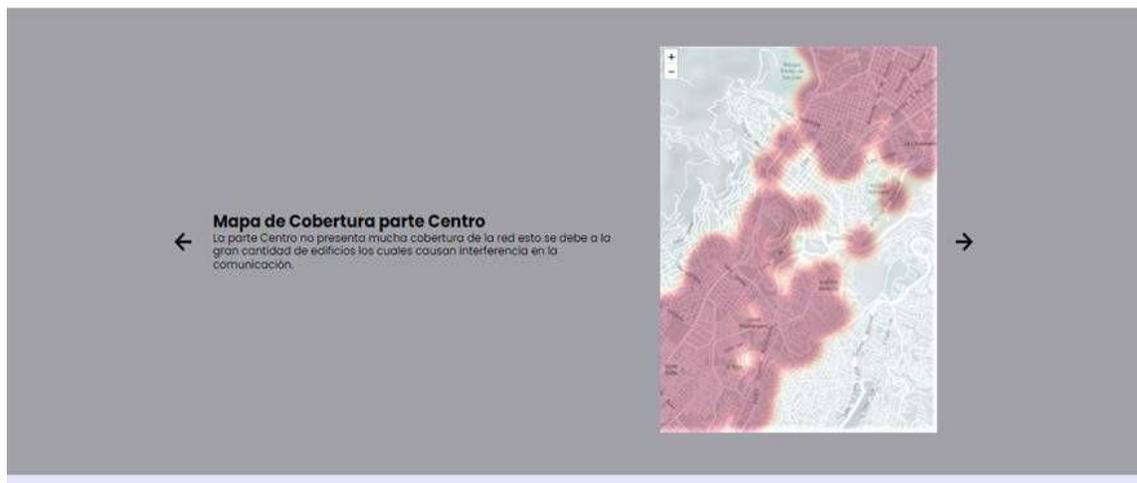
*Cuarto contenedor de la página web.*



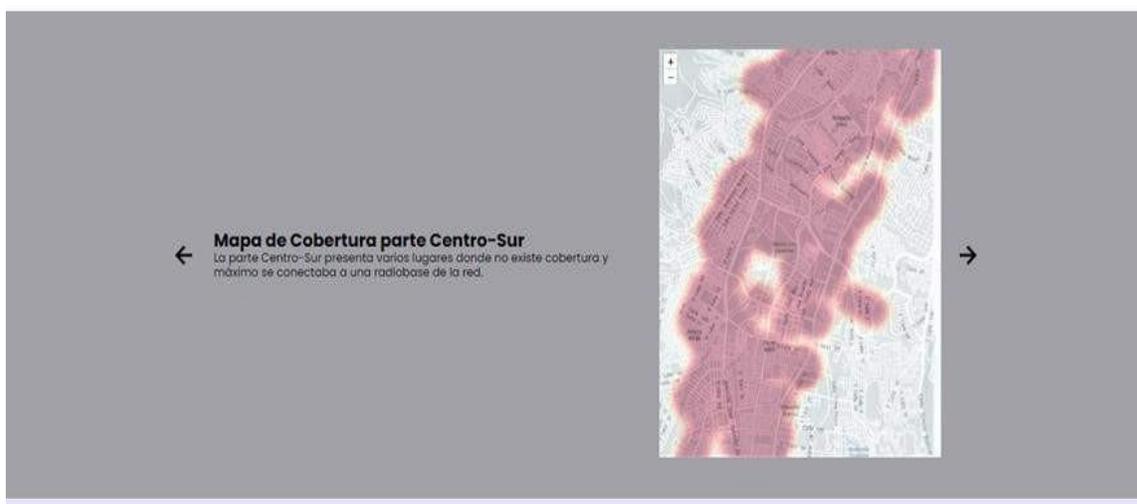
a)



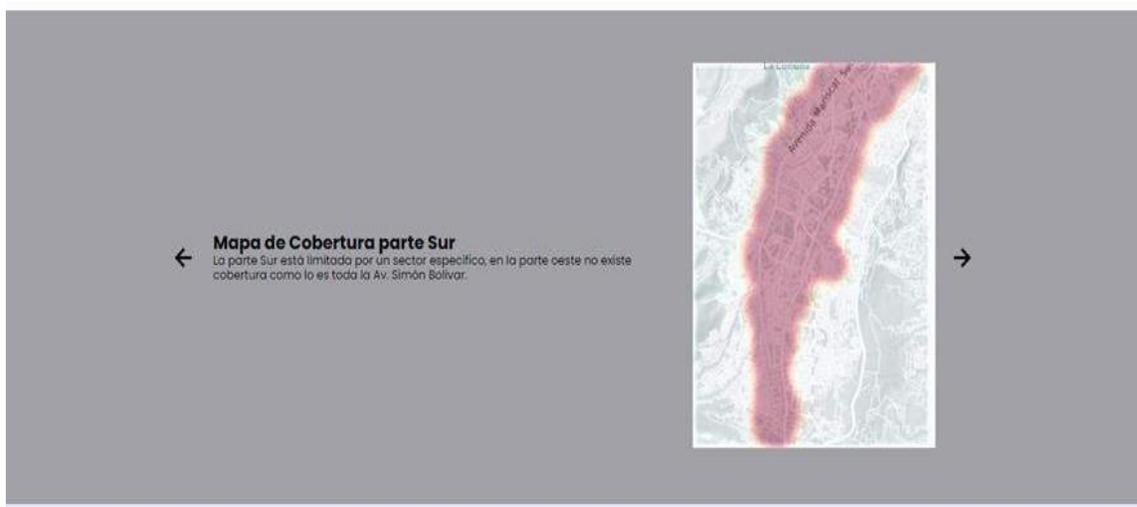
b)



c)



d)



e)

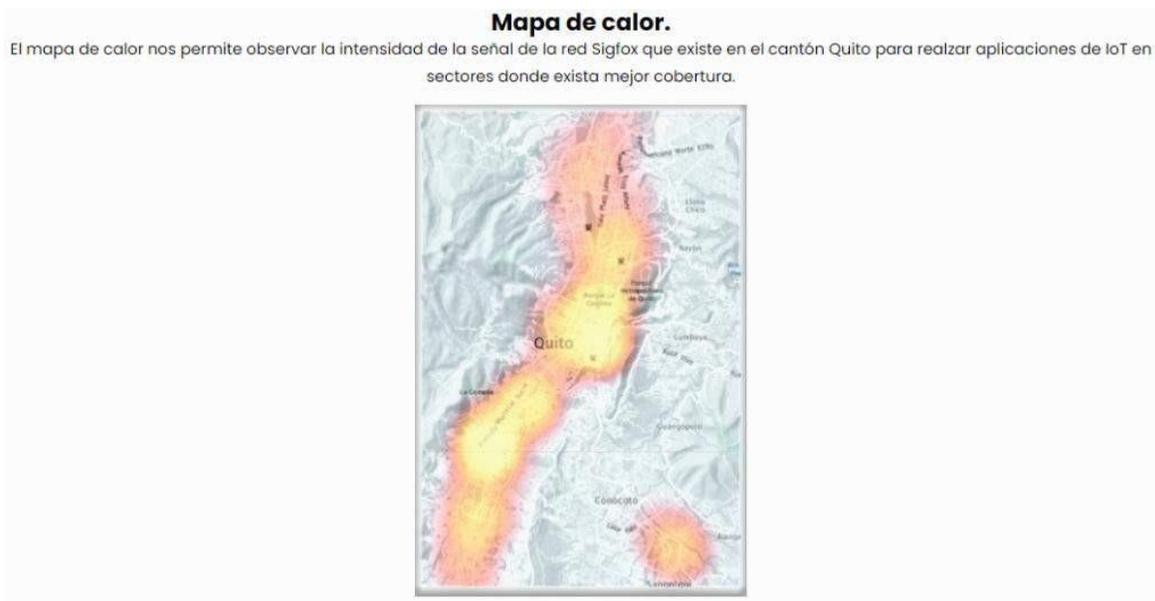


f)

En el quinto contenedor se observa el mapa de calor donde se tiene los distintos sectores donde hay mayor intensidad de la señal de la red Sigfox como lo son el Centro- Norte y Centro-Sur, en estos sectores del cantón por ser zonas comerciales existe mayor cobertura.

### Figura 58

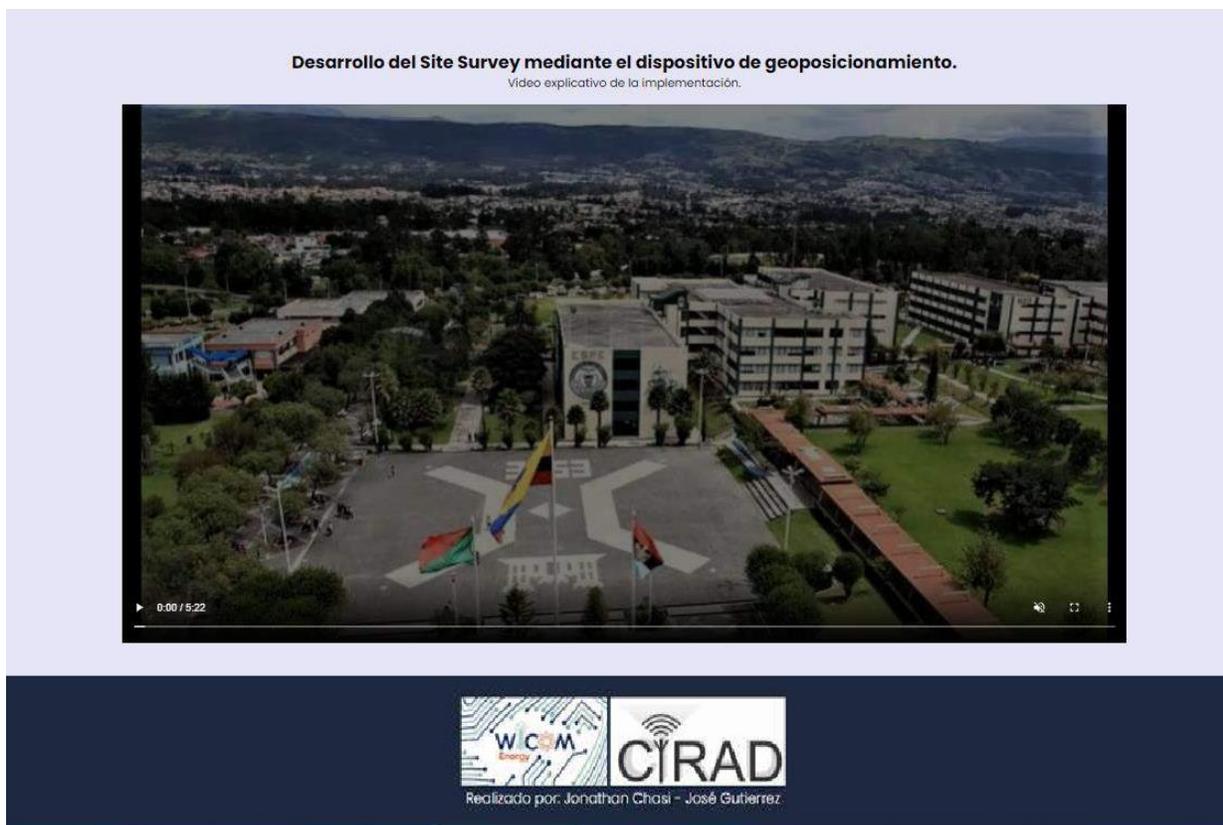
*Quinto contenedor de la página web.*



En el sexto contenedor de la página web se muestra un video explicativo de cómo se realizó el trabajo de investigación por partes y explicación de varios conceptos de la tecnología Sigfox, para finalizar este contenedor se tiene los logotipos de WICOM Energy y de CIRAD.

### Figura 59

*Sexto contenedor de la página web.*



## Capítulo V

### Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuros

#### Conclusiones

El estudio de las redes LPWAN y en específico de la tecnología Sigfox en este proyecto de investigación, ha permitido identificar nuevas alternativas para el desarrollo de aplicaciones IoT en diferentes ámbitos de trabajo, en este caso específico fue el desarrollo de un dispositivo georreferenciado para la medición del RSSI, a su vez ha permitido determinar que con el uso de esta red se puede ampliar el campo de trabajo a la salud, la industria 4.0, construcciones civiles, agricultura, entre otros. Estas redes LPWAN en conjunto con *Machine Learning* y *Deep Learning* desempeñan un papel importante en la actualidad ya que con una gran cantidad de datos que se tenga se pueden generar algoritmos predictivos que se acerquen a la interpretación humana y disminuir varios procesos innecesarios que se desarrollan de forma habitual, en este caso de georreferenciación se puede desarrollar un mapa de cobertura con una resolución más alta y con una mejor precisión.

Los prototipos utilizados en el proyecto de investigación fueron desarrollados previamente por miembros de nuestro Centro de Investigación de Redes Ad Hoc (CIRAD) y Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes (WiCOM-Energy) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, estos dispositivos nos permitieron realizar las mediciones de los niveles de RSSI, esta información es contenida en los mensajes que son enviados por estos dispositivos, los cuales se monitorizaron mediante el *Backend* de Sigfox, ya que ahí llega la información de los mensajes. El *Backend* permite visualizar los eventos generados por el dispositivo al momento de enviar información, en los cuales nos permite observar: la fecha, hora, el estado y la descripción del mensaje enviado, esta última indica si el mensaje llegó correctamente o si existió algún error, como pueden ser fallas en la conectividad, el beneficio de la monitorización de los datos, que se obtuvieron, permitió solucionar los errores que se

presentaron en varias ocasiones por parte del prototipo en la transmisión de datos y así evitar tener una gran cantidad de pérdidas en los mensajes enviados.

El prototipo de geoposicionamiento permitió realizar distintas mediciones en las paradas generadas en el cantón Quito donde se tiene cobertura de la tecnología según indica el mapa general de cobertura que se encuentra en la página web de Sigfox, cada medición realizada presenta un valor de RSSI a parte de los datos enviados por el dispositivo que son latitud y longitud, esto fue posible porque el contrato del prototipo tenía este parámetro habilitado, de esta manera se midieron los valores de RSSI en cada mensaje y con esos valores se realizó el mapa de cobertura de la Red Sigfox.

El prototipo conectado a la red Sigfox nos proporciona el valor del RSSI, coordenadas de latitud y longitud por cada parada, de esta forma se creó un *Callback* para enviar esta información específica hasta la API de almacenamiento de datos *ThingSpeak* donde se analizaron y utilizaron los datos para cumplir el objetivo del proyecto de investigación, mediante la conexión entre *ThingSpeak* y la base de datos Mongo dB se obtuvo un mapa de intensidad de la señal y un mapa de cobertura a partir de los niveles de RSSI obtenidos en cada medición.

Se generó una base de datos mediante los dos prototipos de geoposicionamiento que presenta un total de 5174 mediciones de los cuales 3568 mensajes pertenecen al prototipo que tiene el contrato con el parámetro habilitado del RSSI y el total de la base de datos consta con el parámetro LQI enviado por ambos prototipos de geoposicionamiento.

El prototipo de geoposicionamiento con respecto al GPS incorporado en el celular Xiaomi tiene un rango de error de 3 m a 6 m, por lo que el prototipo no es un equipo de alta precisión, ya que depende de la conexión que tiene entre la estación base de Sigfox y si hay o no cobertura en ese lugar, a su vez el prototipo con respecto al radio establecido en la parada necesita de 11 m para estabilizarse y poder comunicarse con las estaciones base de Sigfox, por lo que se identificó que la precisión del equipo es de  $\pm 5m$

En los cantones Mejía sector Machachi y en el cantón de Latacunga sector San Buenaventura no es posible conectarse hacia la red Sigfox a pesar de que el mapa general de cobertura proporcionado por Sigfox nos indica la existencia de cobertura en esos lugares, por lo cual se logra afirmar que ese mapa es de poca confiabilidad.

Para una correcta visualización de los resultados se desarrolló una página web donde cualquier usuario o empresa pueda acceder a los resultados obtenidos en este proyecto de investigación de forma gráfica y conozca como se realizó la implementación hacia esta tecnología Sigfox mediante un video en donde se detalla información importante sobre el desarrollo del *Site Survey*.

El *Site Survey* desarrollado en este proyecto de investigación permite al usuario conocer los lugares que presentan cobertura de la red Sigfox en el cantón Quito, esta red presenta un 67.74% de calidad de enlace buena de esta forma un usuario o empresa puede desarrollar cualquier tipo de aplicación de IoT sin preocuparse de pérdida de datos, fallas de conexión, interferencias. El mapa de cobertura de la red Sigfox que se generó en este proyecto de investigación tiene una gran confiabilidad ya que las mediciones se realizaron en distintos escenarios y con un tiempo dedicado de 5 meses.

### **Recomendaciones y Trabajos Futuros**

Se recomienda utilizar dispositivos más actuales para no tener problemas en la cantidad de líneas de código que soporta el dispositivo de Sigfox ya que los dispositivos que se trabajaron en este proyecto de investigación solo tienen 17kB de memoria RAM.

Para el correcto funcionamiento es necesario tener esta versión específica de los siguientes programas Node.js 14.17.6, Python 2.7.18, Visual Studio Code 1.58.2, Pymaker 1.1.12 y siempre actualizar el firmware del dispositivo desde el computador.

Se recomienda que el contrato de los dispositivos de esta tecnología Sigfox tengan todos los parámetros necesarios para poder implementar la aplicación IoT en base al objetivo del proyecto.

Ampliar la base de datos colocando paradas en los puntos medios de la base de datos original y de igual forma generar una nueva base de datos para el cantón Rumiñahui.

Desarrollo de un *Site Survey* de alta resolución mediante técnicas de Deep Learning en el cual se pueda reducir la resolución de 200m a 10m entre paradas mediante distintos métodos y técnicas para poder calcular o predecir la ubicación exacta en donde se encuentra la estación base de la red en el cantón Quito.

Desarrollo de un modelo de propagación de la red LPWAN Sigfox en la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE ya que se sabe la ubicación exacta, de esta se puede tomar datos con línea de vista y sin línea de vista.

Estudiar la degradación de la señal de la red LPWAN Sigfox en zonas urbanas con vegetación y sin vegetación.

Desarrollo de un *Site Survey* mediante prototipos de geoposicionamiento con tecnologías LoRa y NB-IoT para realizar una comparación de las tecnologías LPWAN y presentar cual tecnología es la más óptima para el desarrollo de aplicaciones IoT en el cantón Quito.

## Referencias

- Altium. (21 de Diciembre de 2020). *Los Pros y los Contras de Diferentes Redes LPWAN para tu Aplicación IoT*. Obtenido de <https://resources.altium.com/es/p/the-pros-and-cons-of-different-lpwan-networks-for-your-iot-application>
- Angel, A. M. (2016). *Manual de Javascript*.
- Astudillo, G. (17 de Mayo de 2021). *El Comercio*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2021, de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-internet-tecnologia-fibra-optica.html>
- Boot & Work Corp. S.L., Q. D. (17 de 11 de 2020). *Industrial Shields*. Obtenido de Industrial Shields: [https://www.industrialshields.com/es\\_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/que-es-lorawan-253](https://www.industrialshields.com/es_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/que-es-lorawan-253)
- Carlos, C. d., & Pablo, G. (2014). *Analisis, diseño, construccion e implementacion de un geoportal con las herramientas de Mongo DB, Json y GeoJson para el proyecto de IDE-UPS*. Quito.
- Chodorow, K. (2013). *Mongo DB*. United States of America.
- Crespo, E. (5 de Marzo de 2018). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://www.aprendiendoarduino.com/tag/mensajes-sigfox/>
- Cuevas, A. (20 de Octubre de 2020). *CUBE more than IT*. Obtenido de <http://integracion.cube.net.ar/blog/site-survey>
- Fisteus, J. A. (2020). *Aplicaciones WEB*. Madrid.
- Garrido, R. L. (2016). *Estudio Plataformas IoT*.
- Graterol, Y. (2016). *Mongo DB en español*.
- MINTEL. (06 de Febrero de 2019). *Modelo de Ordenanza*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2019/03/Modelo-de-Ordenanza-MINTEL-20190206.pdf>
- Miranda, S. (06 de 2019). *openaccess.uoc*. Recuperado el 08 de 02 de 2022, de openaccess.uoc: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/94946>

- Montes, A., & Camacho, L. (2018). *Telemetría a través de redes de área extensa de baja potencia (LPWA) y en coexistencia con el internet de las cosas (IoT)*.
- Muñoz, V. (18 de Marzo de 2021). *ROM MAYER*. Obtenido de <https://rom-mayer.cl/los-beneficios-de-un-site-survey-predictivo/>
- Nashiruddin, M. I., & Yusri, A. (13 de 10 de 2020). *IEEE Xplore*. Recuperado el 17 de 02 de 2022, de IEEE Xplore: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9166398>
- ORACLE. (2020). *Oracle | Cloud Applications and Cloud Platform*. Recuperado el 02 de Enero de 2021, de <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/>
- Orbea, J., & Rosero, M. (2021). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 18 de 02 de 2022, de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE:  
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25209>
- Paguayo. (27 de 06 de 2019). *MCI Capacitación*. Recuperado el 03 de 02 de 2022, de MCI Capacitación: <https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/27/que-es-nb-iot/>
- PROFESORUOC. (22 de 11 de 2018). *El blog de los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación de la UOC*. Recuperado el 05 de 02 de 2022, de El blog de los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación de la UOC:  
<https://blogs.uoc.edu/informatica/que-es-nb-iot/>
- Rafael, M. (2016). *Desarrollo de Aplicaciones Web*. España.
- Rosa, A. L. (13 de 07 de 2021). *PANDORAFMS*. Recuperado el 03 de 01 de 2022, de PANDORAFMS: <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>
- SAP. (2021). *SAP*. Recuperado el 02 de 01 de 2022, de SAP:  
<https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-iot-internet-of-things.html>
- Sigfox. (s.f.). *Sigfox Support*. Recuperado el 19 de 02 de 2022, de Sigfox Support:  
<https://support.sigfox.com/docs/radio-configuration>
- Sigfox. (s.f.). *Sigfox Support*. Recuperado el 20 de 02 de 2022, de Sigfox Support:  
<https://support.sigfox.com/docs/link-quality:-general-knowledge>

SINELEC. (5 de 05 de 2021). *Grupo Sinelec*. Recuperado el 4 de 01 de 2022, de Grupo

Sinelec: <https://gruposinelec.com/que-son-las-redes-lpwan/>

Wang, E., Lin, X., Adhikary, A., Grovlen, A., Sui, Y., Blankenship, Y., . . . Razaghi, H. S. (17 de

03 de 2017). *IEEE Xplore*. Recuperado el 06 de 02 de 2022, de IEEE Xplore:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7876968/authors#authors>

Yubero, O. U. (20 de 11 de 2020). *comunicacionesinalambricashoy*. Recuperado el 02 de 02 de

2022, de [https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-](https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-lorawan/)

[lorawan/](https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-lorawan/)

## Apéndices