



Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología

Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños.

Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth y Rosero Reinoso, María Augusta

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.

12 de julio del 2021

Document Information

Analyzed document Tesisfinal_OrbeaRosero.pdf (D110169956)

Submitted 7/5/2021 7:06:00 PM

Submitted by

Submitter email marosero11@espe.edu.ec

Similarity 4%

Analysis address ralara.espe@analysis.arkund.com



Sources included in the report

W	URL: http://www.quitoinforma.gob.ec/2019/10/23/arranco-proceso-para-que-quito-se-convierta-en-smart-city/ Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		3
W	URL: https://impaqto.socialab.com/challenges/RetoExportaAlMundo2018/idea/78497 Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21742/1/T-ESPE-043410.pdf Fetched: 4/18/2021 10:20:38 AM		2
W	URL: https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1274/1/tesis_LJGM_2017.pdf Fetched: 12/3/2019 7:57:14 AM		1
W	URL: https://eprints.ucm.es/id/eprint/57472/1/DAVID_SANCHEZ_ROSADO.pdf Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		3
W	URL: https://docplayer.es/166306703-Herramienta-web-para-la-monitorizacion-de-flota-de-vehiculos.html Fetched: 2/1/2020 7:59:37 AM		1
W	URL: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689091/rosu_adrian_mihai_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 8/4/2020 12:02:29 AM		3
W	URL: http://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=201 Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23742/1/T-ESPE-044260.pdf Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		2
W	URL: https://www.mdpi.com/2306-5729/3/2/13/pdf Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		1
W	URL: https://aws.amazon.com/es/blogs/iot/connect-your-devices-to-aws-iot-using-the-sigfox-network/ Fetched: 7/5/2021 7:07:00 PM		2
W	URL: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19821/1/B-CINT-PTG.172%20Cabrera%20Solano%20Christian%20Armando.pdf		1



**DEPARTAMENTO DE ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños**” fue realizado por las señoritas **Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth y Rosero Reinoso, María Augusta**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 06 de Julio del 2021

Firma:



Dr. Lara Cueva, Román Alcides

C. C 1713988218



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, **Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth y Rosero Reinoso, María Augusta**, con cédulas de ciudadanía n°1724999675 y 0503349359, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños”**, 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, 12 de julio del 2021

Firma

.....
Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth
C.C.: 1724999675

.....
Rosero Reinoso, María Augusta
C.C.: 0503349359



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras, **Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth y Rosero Reinoso, María Augusta**, con cédulas de ciudadanía n°1724999675 y 0503349359, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 12 de julio del 2021

Firma

Orbea Bautista, Jazmin Elizabeth

C.C.: 1724999675

Rosero Reinoso, María Augusta

C.C.: 0503349359

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a Dios, quien me ha cuidado, acompañado y siempre me ha dado la fortaleza para levantarme y continuar, a mi hermana y hermanos por su apoyo a lo largo de este camino, y especialmente a mis padres que han sido mi apoyo constante e incondicional, quienes con su amor y dedicación me han guiado y son mi mayor soporte para alcanzar cada una de mis metas.

Jazmin Elizabeth Orbea Bautista

A mis padres Marco y Patricia quienes con su esfuerzo y sacrificio siempre me han apoyado en todos los momentos, por su amor y comprensión incondicional. A mis abuelitas Lucila y Maruja que me acompañaron desde muy pequeña y han sido un soporte durante varios años de mi vida. A mi hermana Andrea por ser un ser de luz en mi vida, un gran soporte en esta etapa y todos los días me motiva a ser una mejor persona.

María Augusta Rosero Reinoso

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme brindado la oportunidad de culminar con éxito esta etapa en mi vida, por brindarme cada una de las experiencias vividas que han sido únicas y me han ayudado a ser una mejor persona.

A mis padres Hugo y Julia, por enseñarme a nunca darme por vencida y que con perseverancia y esfuerzo se alcanza cualquier meta que me proponga, por siempre estar a mi lado apoyándome, gracias por su incondicional amor y paciencia. A mis hermanos por estar a mi lado en los buenos y malos momentos. A mis abuelitos Digna, Luis y Cristóbal que desde el cielo con su bendición me han acompañado y guiado.

A Magus que a largo de nuestra etapa universitaria ha sido una amiga incondicional, por siempre estar a mi lado escuchándome y apoyándome. Por su paciencia, esfuerzo y dedicación en la realización del presente proyecto.

A mis amigos por cada una de las experiencias vividas, y me han acompañado a lo largo de este camino, por su sincero apoyo.

A cada uno de los docentes de la carrera y especialmente al Ing. Román Lara por cada una de sus enseñanzas, por su guía y consejos durante el desarrollo del presente proyecto y que han ayudado a la culminación del mismo.

Jazmin Elizabeth Orbea Bautista

Agradecimiento

Agradezco a Dios por el don de la vida. A mis padres Marco y Patricia por ser mi apoyo en los momentos más difíciles, por la paciencia y por las enseñanzas me han proporcionado durante este camino. A mi hermana Andrea que siempre ha confiado en mí y ha sido mi fuente de inspiración desde que llegó a mi vida, sin tus momentos de locura y amor nada de esto sería posible. A mis abuelitas Lucila y Maruja que con su cariño y sabiduría supieron guiar mi camino.

A mis amigos que han sido parte de este proceso y han estado presente siempre de alguna manera, por los momentos compartidos y experiencia adquirida. A David porque siempre estuvo motivándome y por apoyo incondicional en todo momento.

De igual manera agradezco a los docentes de la carrera que con sus conocimientos académicos y personales nos han ido guiando durante este proceso. Al Ingeniero Román Lara por la oportunidad, recomendaciones y pauta para desarrollar este trabajo de titulación.

Finalmente, a mi amiga y compañera de tesis Jazmin por tantos momentos buenos y malos a lo largo de estos semestres cursados, por ser una gran amiga y una persona maravillosa.

María Augusta Rosero Reinoso

Tabla de contenido

Urkund.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Capítulo I.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes	20
Justificación e Importancia	22
Alcance	25
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivo Específico	26
Trabajos Relacionados	26
Descripción general del proyecto	30
Capítulo II.....	32
Marco Teórico	32
Internet de las cosas (IoT).....	32
Ciudad Inteligente (Smart City)	34
Movilidad Inteligente (Smart Mobility)	36

Seguridad Inteligente (Smart Security)	37
Red de sensores inalámbricos	38
Redes celulares tradicionales.....	39
GSM	39
GPRS	40
Red de área amplia de baja potencia.....	41
LoRa & LoRaWAN.....	42
NB-IoT.....	44
Sigfox	46
Comparativa de tecnologías.....	51
Descripción de dispositivos con Sigfox	53
Xkit RC4	53
DVK-SFAZ-1-GEVK.....	55
Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK).....	56
FiPy	57
Sipy	58
Pytrack	60
Sistemas de Geoposicionamiento	62
Computación en la nube.....	64
Amazon Web Services AWS	66
Capítulo III.....	67
Desarrollo e Implementación.....	67
Configuración de los dispositivos	67

Configuración de las paradas inteligentes	70
Configuración para el rastreo de niños	73
Conexión entre Sigfox y AWS	75
Configuración del Callback.....	75
Base de Datos DynamoDB.....	79
Aplicación para las paradas inteligentes	81
Página Web.....	81
Interfaz.	82
Acceso a la Base de Datos.	82
Rutas.....	88
Reportes.....	89
Aplicación para niños.....	90
Aplicación Móvil	90
Interfaz.	91
Acceso a la Base de Datos.	92
Ubicación.	95
Seguimiento.	96
Geocercas.....	96
Implementación.....	99
Paradas Inteligentes	100
Implementación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.....	100
Implementación en el tramo Amaguaña – La Marín.	102
Rastreo de niños.....	103

Protocolo.....	104
Capítulo IV.....	105
Pruebas de implementación y Análisis de Resultados	105
Precisión	106
Exactitud	109
Estática	111
Movimiento.....	114
Caminando.....	114
Vehicular.....	117
Pruebas de implementación de las paradas inteligentes.	122
Pruebas de implementación de rastreo de niños.....	123
Duración de la batería	125
Capítulo V.....	129
Conclusiones y Trabajos futuros	129
Conclusiones.....	129
Trabajos futuros	132
Referencias.....	134

Índice de Tablas

Tabla 1	Características de GSM en el nivel físico.....	40
Tabla 2	Ejemplos de tamaños de carga útil	46
Tabla 3	Comparativa de tecnologías	52
Tabla 4	Características del kit de desarrollo Xkit RC4.....	54
Tabla 5	Características del kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK.....	55
Tabla 6	Características del Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)....	57
Tabla 7	Módulo FiPy	58
Tabla 8	Especificaciones del módulo Sipy	59
Tabla 9	Parámetros de Sigfox	60
Tabla 10	Características técnicas del módulo Quectel L76-L.....	61
Tabla 11	Puntos de referencia y medidos cerca de la parada de la Universidad de las Fuerzas Armadas.....	73
Tabla 12	Parámetros de Vinculación.....	80
Tabla 13	Coordenadas de las paradas establecidas en el anillo vial	101
Tabla 14	Coordenadas de las paradas en la Ruta Amaguaña – La Marín.....	102
Tabla 15	Valores obtenidos para el cálculo del CEP y 2DRMS.	108
Tabla 16	Calidad del enlace y valores del RSSI para Sigfox.....	113
Tabla 17	Estaciones utilizadas en el escenario estático	113
Tabla 18	Estaciones utilizadas en el escenario caminan	
Tabla 1	Características de GSM en el nivel físico.....	40
Tabla 2	Ejemplos de tamaños de carga útil	46
Tabla 3	Comparativa de tecnologías	52
Tabla 4	Características del kit de desarrollo Xkit RC4.....	54
Tabla 5	Características del kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK.....	55

Tabla 6	Características del Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)....	57
Tabla 7	Módulo FiPy	58
Tabla 8	Especificaciones del módulo Sipy	59
Tabla 9	Parámetros de Sigfox	60
Tabla 10	Características técnicas del módulo Quectel L76-L.....	61
Tabla 11	Puntos de referencia y medidos cerca de la parada de la Universidad de las Fuerzas Armadas.....	73
Tabla 12	Parámetros de Vinculación.....	80
Tabla 13	Coordenadas de las paradas establecidas en el anillo vial	101
Tabla 14	Coordenadas de las paradas en la Ruta Amaguaña – La Marín.....	102
Tabla 15	Valores obtenidos para el cálculo del CEP y 2DRMS.	108
Tabla 16	Calidad del enlace y valores del RSSI para Sigfox.....	113
Tabla 17	Estaciones utilizadas en el escenario estático	113
Tabla 18	Estaciones utilizadas en el escenario caminando.....	116
Tabla 19	Estaciones utilizadas en el escenario vehicular	118
Tabla 20	Resultados obtenidos para los distintos escenarios	121

Índice de Figuras

Figura 1	Arquitectura genérica del IoT.....	33
Figura 2	Sistemas de una Smart City	36
Figura 3	Arquitectura de la red GSM	39
Figura 4	Arquitectura de Red LPWAN.....	42
Figura 5	Arquitectura de red LoRa.....	43
Figura 6	Arquitectura de red de NB-IoT.....	45
Figura 7	Estructuras de tramas de enlace ascendente y descendente de Sigfox.....	47
Figura 8	Arquitectura horizontal de Sigfox.....	48
Figura 9	Arquitectura plana de Sigfox.....	49
Figura 10	Disponibilidad geográfica de Sigfox	50
Figura 11	Cobertura de Sigfox en el Ecuador	51
Figura 12	Kit de desarrollo Xkit RC4.....	54
Figura 13	Kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK	55
Figura 14	Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK).....	56
Figura 15	Módulo FiPy	57
Figura 16	Módulo Sipy	59
Figura 17	Módulo Pytrack	61
Figura 18	Registro de Sigfox en Pybytes.....	68
Figura 19	Información del dispositivo	68
Figura 20	Diagrama de bloques.....	69
Figura 21	Diagrama de flujo para la aplicación de las paradas inteligentes.....	71
Figura 22	Diagrama de flujo para la aplicación de las paradas inteligentes.....	72
Figura 23	Diagrama de flujo para el rastreo de niños	74
Figura 24	Arquitectura para la Conexión Sigfox-AWS	75

Figura 25	Creación del Callback.....	76
Figura 26	Creacion y configuración del Stack.....	77
Figura 27	Salidas obtenidas en el Stack.....	77
Figura 28	Configuración correcta del Callback.....	79
Figura 29	Creación de la tabla de DynamoDB.....	80
Figura 30	Regla de vinculación con la tabla de DynamoDB.....	81
Figura 31	Menú de la página Web.....	82
Figura 32	Arquitectura para acceder a DynamoDB.....	83
Figura 33	Función Lambda.....	83
Figura 34	Función POST.....	87
Figura 35	Test del método POST y GET.....	88
Figura 36	Visualización de las coordenadas con el prototipo.....	89
Figura 37	Visualización del dispositivo y de la fecha para la consulta.....	89
Figura 38	Visualización de los datos.....	90
Figura 39	Ventana de navegación de la aplicación del rastreo de niños.....	92
Figura 40	Ventana de ubicación de la aplicación del rastreo de niños.....	95
Figura 41	Ventana de seguimiento de la aplicación del rastreo de niños.....	96
Figura 42	Geocerca circular.....	97
Figura 43	Geocerca Poligonal.....	98
Figura 44	Diseño de la carcasa en Solid Works.....	99
Figura 45	Prototipo de implementación para el trabajo de investigación.....	100
Figura 46	Paradas en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.....	101
Figura 47	Densidad de probabilidad de la latitud y longitud en coordenadas UTM ...	107
Figura 48	Representación del CEP y 2DRMS.....	108

Figura 49	Estimación de Error	109
Figura 50	Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario estático	111
Figura 51	Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario estático	112
Figura 52	Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario estático.....	114
Figura 53	Probabilidad de densidad en la latitud en el escenario caminando.....	115
Figura 54	Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario caminando.....	115
Figura 55	Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario caminando	116
Figura 56	Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario vehicular	117
Figura 57	Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario vehicular	118
Figura 58	Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario vehicular...	119
Figura 59	Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario vehicular – anillo vial.....	120
Figura 60	Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario vehicular – anillo vial.....	120
Figura 61	Paradas en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.....	122
Figura 62	Paradas en la ruta Marín - Amaguaña	123
Figura 63	Pruebas de implementación de la aplicación móvil.	124
Figura 64	Pruebas de implementación de la aplicación móvil: geocercas.	125
Figura 65	Diagrama de conexión para la medición del consumo de energía.....	126
Figura 66	Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario estático.....	127
Figura 67	Conexión del prototipo a la batería interna del autobús.	127

Resumen

El constante y progresivo desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido la creación de aplicaciones enfocadas al Internet de las Cosas (IoT, del inglés *Internet of Things*), bajo este enfoque, la transformación hacia una Ciudad Inteligente a través del IoT busca un desarrollo sostenible e innovador que de prioridad a la solución de problemas relacionados a la educación, salud, seguridad y transporte. Actualmente la seguridad es un problema que ha ido en incremento y el grupo más vulnerable es el de los niños, en Ecuador de un total de 42 810 personas desaparecidas el 6.86% corresponde a menores de 11 años. Además de la seguridad, la movilidad también es un problema existente, es así que en Quito el 73% de la población hace uso del transporte público, sin embargo, este no cuenta con una gestión adecuada. Para ayudar a solventar la problemática existente, se propone como objetivo el de implementar un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños. Para el rastreo de niños el usuario accede a la ubicación del niño a través de un aplicativo móvil que cuenta con las opciones de ubicación, seguimiento y geocerca; y para las paradas inteligentes se desarrolló una página Web, que permita consultar la ubicación y generación de un reporte. La red de sensores se desplegó en tres diferentes escenarios: estático, caminando y vehicular; para la exactitud se obtuvo un valor de 8.63 m, 21.83 m y 33.056 m respectivamente. Se logró un porcentaje de 4.69%, 9.11% y 34.8% de paquetes perdidos y un valor promedio de -91 dBm y -97 dBm de RSSI para los diferentes escenarios.

PALABRAS CLAVES

- **GEOPOSICIONAMIENTO**
- **MONITORIZACIÓN**
- **SIGFOX**

Abstract

The constant and progressive development of new technologies has allowed the creation of applications focused on the Internet of Things (IoT, from the English Internet of Things), under this approach, the transformation towards a Smart City through the IoT seeks a sustainable and innovative development give priority to solving problems related to education, health, safety and transportation. Currently, security is a problem that has been increasing and the most vulnerable group are children, in Ecuador of a total of 42,810 missing persons, 6.86% correspond to children under 11 years of age. In addition to security, mobility is also an existing problem, so in Quito 73% of the population uses public transport, however, it does not have adequate management. To help solve the existing problem, the goal of implementing a geopositioning prototype with Sigfox technology is proposed, applied to smart stops and child tracking. To track children, the user can view the child's location through a mobile application that has location, tracking and geofence options; and for smart stops, a Web page was developed that allows the location and generation of a report. The sensor network was deployed in three different scenarios: static, walking and vehicular; For accuracy, a value of 8.63 m, 21.83 m and 33.056 m respectively. A percentage of 4.69%, 9.11% and 34.8% of packets lost was achieved and an average value of -91 dBm and -97 dBm of RSSI for the different scenarios.

KEYWORDS

- **GEOPPOSITIONING**
- **MONITORING**
- **SIGFOX**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El aumento constante y progresivo de la población que emigra hacia las ciudades ha sido evidente en los últimos años y de acuerdo a las Naciones Unidas las zonas urbanas tienen la mayor cantidad de habitantes en comparación con las zonas rurales, además en América Latina esto se incrementa hasta llegar a tener aproximadamente el 80% de los habitantes en las urbes, lo cual ocasiona que se generen y se agraven los problemas ya existentes. Bajo este enfoque, la tecnología adquiere un papel crucial para brindar soluciones a estos problemas que se convierten en verdaderos desafíos para las autoridades locales, de modo que las administraciones públicas prevean y empiecen a generar programas orientados a crear una ciudad sostenible y productiva (Cabrera Solano & Salazar Correa, 2016).

A través de los años, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido la solución de varias problemáticas y por consiguiente se abre un gran campo hacia el Internet de las Cosas (IoT, del inglés *Internet of Things*), que se basa en la interconexión de varios elementos del diario vivir mediante la Internet, para lo cual es necesario la implementación de sensores y protocolos de comunicación (Castro Correa, Sepúlveda Mora, Medina Delgado, Guevara Ibarra, & López Bustamante, 2019). En tanto que, una Ciudad Inteligente (*Smart City*) es una nueva tendencia que busca integrar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) con el IoT para optimizar los recursos de una ciudad para un desarrollo sostenible, en búsqueda de soluciones a necesidades de varios sectores tales como en la educación, salud, seguridad y transporte (Pérez, Bustos, & Berón, 2018) (Vasileios A, Kostas E, Yutaka, Byung-Gyu, & B.B, 2018).

La transformación hacia una Ciudad Inteligente permite aumentar la competitividad de las misma, ya que logra tener una estructura integrada y organizada, lo cual conlleva a atraer inversiones que mejoran la economía y se logre un desarrollo eficiente que logre cubrir las necesidades de la población, minimice el uso de los recursos no renovables y de soluciones ágiles a problemas cotidianos, en consecuencia, alrededor del mundo se han considerado varias iniciativas con respecto a las Ciudades Inteligentes (Cabrera Solano & Salazar Correa, 2016). El IESE Business School de la Universidad de Navarra, publicó el ranking del ICIM (ICIM, del inglés *Índice Cities in Motion*) en el 2019; en el cual se evalúan 9 dimensiones esenciales para una ciudad: capital humano, cohesión social, economía, gobernanza, medioambiente, movilidad y transporte, planificación urbana, proyección internacional y tecnología con el objetivo que se pueda promover un cambio local, generar herramientas e ideas innovadoras para que las ciudades sean más sostenibles e inteligentes. Los primeros lugares según este estudio son para Londres y Nueva York que son ciudades altamente desarrolladas e inteligentes (IESE Business School, 2019).

En la actualidad, Quito tiene alrededor de 2 millones de ciudadanos y una de las estrategias que promueve el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito es hacer de Quito una ciudad digital para el 2022, con el propósito de optimizar la vida de los quiteños y convertirse en un referente regional (Distrito Metropolitano de Quito, 2015). Además, el proyecto “Orquestador de la Movilidad” pretende colocar a la capital a la vanguardia tecnológica con el objetivo de integrar en una plataforma digital todos los elementos de movilidad. Este sistema aspira contar con Inteligencia Artificial, *Big Data* y *Machine Learning* enfocado a la seguridad vial, movilidad inteligente y sostenibilidad (Quito Informa, 2019).

Debido a la tendencia de Ciudades Inteligentes se puede apreciar un incremento en el desarrollo de aplicaciones de IoT en varios sectores productivos, estas aplicaciones requieren de una comunicación de larga duración y bajo consumo energético, lo que conlleva a la apertura de una comunicación inalámbrica en una red de área amplia de baja potencia (LPWAN, del inglés *Low Power Wide Area Network*).

Sigfox es una tecnología emergente LPWAN que tiene como propósito brindar soluciones energéticamente eficaces para aplicativos del IoT; se basa en redes de bajo rendimiento (LTN, del inglés *Low Throughput Network*), además es compatible con comunicaciones de baja velocidad de datos a largas distancias (Zhou & Flora , 2018).

En la sección 1.5 se detallan los trabajos relacionados con el desarrollo de aplicaciones IoT enfocados a la seguridad y movilidad para una Ciudad Inteligente.

Justificación e Importancia

La transformación hacia una Ciudad Inteligente requiere el liderazgo de los gobernantes de la ciudad ya que es necesario realizar una planificación y estrategia para lograr alcanzar una gestión eficiente. Las políticas de los gobiernos deben estar enfocadas en resolver problemáticas tales como educación, salud, seguridad y movilidad.

Una de las problemáticas que mayor discusión tiene es la seguridad ciudadana, sobre todo que a lo largo de la historia de la humanidad se ha presenciado la desaparición de las personas sin distinguir entre edades, sexo, etnia o clase social, así se puede ver que en cualquier parte del mundo existe una familia con una historia que contar de su familiar extraviado, y que se presentan en diferentes situaciones, ya sea que la persona haya decidido de manera voluntaria alejarse de su entorno familiar o haber sido obligado a hacerlo.

En Latinoamérica es un fenómeno de mucho debate y sobretodo se busca soluciones prácticas y eficaces por parte del Estado y la comunidad. Uno de los grupos más vulnerables de la sociedad son los niños, quienes pueden ser sustraídos de sus familias con varios propósitos entre los que se destaca el tráfico de personas, explotación sexual, trabajo forzado, adopciones ilegales, entre otros (Enriquez Escobar, 2016). Ecuador no está exento de este fenómeno, así de acuerdo al informe de la Fiscalía General de Estado presentado en el año 2018 referente al registro de personas desaparecidas durante el periodo de años posteriores del 2014 hasta 2017, se tiene un total de 42 810 personas desaparecidas, de las cuales el 2.31% corresponde a menores de 6 años, de 6 a 11 años el 3.55% y de 12 a 17 años el 58.37% (ASFADEC, 2018).

Por otra parte, de acuerdo al informe presentado por la Dirección de Muertes Violentas y Desapariciones (DINASED) en el año 2018, menciona que existen 42 953 personas desaparecidas desde el año 2013 hasta el 2017, de este total, 2 506 corresponde a menores entre rango de edades de 0 a 11 años, y 24 992 menores desaparecidos en el rango de 12 a 17 años (ASFADEC, 2018) (Baldeón Puga, 2017).

De acuerdo a las cifras presentadas es evidente que es imprescindible una respuesta urgente y prioritaria para los casos de desapariciones de niños, de acuerdo a esto, el estado ecuatoriano desde el año 2018 ha implementado la Alerta Emilia para agilizar los tiempos de respuesta por parte de las autoridades competentes, sin embargo, los casos de desapariciones aún son una constante realidad (UNICEF, 2018).

Otra área importante en las Ciudades Inteligentes es la movilidad donde se busca mejorar la calidad y eficiencia del transporte público al monitorizar los vehículos, mediante aplicativos en tiempo real, semáforos inteligentes y plataformas que ayuden a controlar la calidad del transporte. Adicionalmente los sistemas de transporte son

esenciales ya que permiten el acceso a servicios como la educación y salud que son parte de los componentes para una Ciudad Inteligente (Sánchez Ramos, 2017).

Una eficiente movilidad en el transporte público es una de las grandes necesidades que tienen la mayoría de las urbes con una población demandante, para lo cual se requiere maximizar el uso del tiempo, los usuarios necesitan tener información real y actualizada de las posibles trayectorias. Todo esto conlleva a realizar mejoras en el sistema de transporte que involucre la interacción de las tecnologías de las telecomunicaciones, dispositivos móviles como los smartphone y la inserción de sistemas de almacenamiento digital (Rojas, Bustos, & Ordoñez Camacho, 2017).

La situación actual de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito en el transporte público es uno de los mayores problemas, ya que no cuenta con un adecuado desarrollo vial y la capacidad del mismo está próximo a alcanzar el límite. En el plan maestro de movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009-2025 (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2009) se plantea que la movilidad debe ser sustentable y viable en términos de eficiencia, con la realización de un gran cambio en la gestión de movilidad ya que el 73% de la población en Quito hace uso del transporte público, sin embargo, el espacio vial ocupado por el mismo es de un 30% y el restante ocupa el transporte privado, esto conlleva a que existan varias deficiencias en el transporte público tales como: tráfico, contaminación y falta de control de las unidades ya que actualmente existen personas que se encuentran en las paradas de los buses que son las responsables de registrar los tiempos de arribo de una unidad a una parada específica y adicionalmente proporcionan información sobre la distancia de otros buses que se encuentran en la misma ruta (Celi Ortega, 2018).

El GPS (del inglés, *Global Positioning System*) es uno de los avances más destacados que consta de varios satélites puestos en órbita. Hoy en día este sistema

tiene varios usos en el que se permite realizar varias aplicaciones para rastrear personas, paquetes de envíos o vehículos mediante dispositivos portátiles, la visualización puede realizarse mediante interfaces donde se indica la localización en un mapa de Google mediante la API de Google Maps (Rey , 2006) (Michael, McNamee, & Michael, 2006).

Bajos estos conceptos, es necesario la implementación de un sistema de monitorización enfocado a la seguridad de los niños y a la movilidad con relación a las paradas inteligentes. Este sistema contará con dispositivos eficientemente energéticos, además de ser asequibles y permitir la transmisión de información en una red de baja potencia.

Alcance

En este proyecto de investigación se desarrolla un prototipo de monitorización mediante GPS enfocado a la seguridad de los niños y a la movilidad del transporte público. El diseño de este prototipo cuenta con una red de sensores inalámbricos conectados a la red de Sigfox, a la cual se puede enviar un total de 140 mensajes al día.

En los nodos sensores se desarrolla el código para la lectura de datos del posicionamiento, su adecuada codificación, envío y transmisión a través de la red de radio de Sigfox. En la estación base de Sigfox se recibe el mensaje el cual es enviado a Sigfox Cloud y mediante la creación de APIs es enviado al *Backend*. En el *Backend* los datos se encuentran almacenados en formato hexadecimal, y son enlazados mediante *Callbacks* preestablecidos a la plataforma en la nube de AWS (del inglés, *Amazon Web Services*), en donde se realiza la decodificación de la información para ser almacenada en la base de datos NoSQL DynamoDb. Para la visualización de los datos se tiene una

aplicación móvil desarrollada en Android Studio para la monitorización de los niños y una aplicación Web para el transporte público.

Con la finalidad de efectuar el proyecto de investigación planteado, se proponen los siguientes objetivos.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños.

Objetivo Específico

- Diseñar la red de sensores inalámbricos en la red Sigfox que permita obtener el geoposicionamiento del dispositivo.
- Diseñar una aplicación móvil amigable con el usuario que permita la visualización de los datos adquiridos.
- Ejecutar pruebas del funcionamiento del prototipo de geolocalización.
- Analizar la precisión de localización en áreas abiertas del prototipo de monitorización.
- Evaluar el desempeño del prototipo de geolocalización.

Trabajos Relacionados

El IoT conjuntamente con las tecnologías inalámbricas han permitido crear soluciones prácticas y viables a un sin número de problemáticas existentes, lo que ha conllevado que cobren una gran importancia para el desarrollo de las Ciudades Inteligentes, en donde se resalta la importancia de monitorizar las actividades y parámetros técnicos para una correcta logística y toma de decisiones. En este sentido el monitorizar tiene dos líneas de acciones fundamentales, la primera dirigida hacia cualquier tipo de objeto que lo requiera y por otro lado orientado a las actividades de las

personas. De acuerdo a este contexto el monitorizar la ubicación de una persona es esencial y según (ÖZDEMİR & TUĞRUL, 2019), la tecnología más utilizada para la localización de personas es el GPS, en donde la ubicación es enviada a un servidor remoto a través de GSM (del inglés, *Global System for Mobile communications*) y GPRS (del inglés, *General Packet Radio Service*) lo que permite que el prototipo acceda a la ubicación en tiempo real. Los datos pueden ser visualizados mediante un computador y un teléfono, además este sistema cuenta con un geocerca de tipo poligonal, que en el caso de salir se produce una advertencia sonora. Los resultados obtenidos en este estudio son de un retraso de 4 a 5 segundos ya que depende de la conexión a Internet. Adicionalmente para reducir el margen de error en este trabajo se aplica el filtro de Kalman que permite reducir considerablemente el margen de error hasta 15 metros.

Además, en (Mohammad Zulfahiz I. , y otros, 2019) se describe el desarrollo de un sistema que permita a los padres monitorizar a sus hijos, con la implementación de dos dispositivos que integren la conexión Bluetooth, en el dispositivo del niño se integra un módulo GPS que obtiene la ubicación para rastrearlo en caso de que se active la alarma al perder la conexión Bluetooth con el dispositivo del padre, este segundo dispositivo recibe las señales para determinar la posición y la distancia a la que se encuentra su hijo mediante el uso de su dispositivo móvil.

A su vez, en (J & J, 2013) diseñaron e implementaron un sistema conformado por un módulo para el niño y dos módulos para la recepción de la información sobre el niño de manera periódica. El dispositivo está conformado por un microcontrolador ARM7, GPS y un reproductor de voz, los módulos de recepción estaban encaminados hacia los padres para obtener la ubicación del niño en su dispositivo móvil y hacia una central de control en la escuela.

Además de los trabajos relacionados, existen dispositivos comerciales como Jiobit que es un dispositivo que permite el rastreo de niños en tiempo real altamente seguro, para su funcionamiento es necesario adquirir un plan de datos. El diseño que tiene permite su uso discreto en ropa, zapatos y otros accesorios. Los principales beneficios del sistema es que la monitorización se puede realizar en interiores, permite enviar notificaciones de llegada o de salida de lugares específicos, adicionalmente su aplicación está disponible para los sistemas operativos de iOS y Android (Jiobit , 2020).

Otro dispositivo comercial para niños es *Anccor Shoes* que son zapatos que incorporan un GPS. La carga de estos zapatos se realiza mediante carga inalámbrica. Estos productos se encuentran realizados en el Ecuador con el objetivo de reducir el número de secuestros, pérdidas de niños y personas vulnerables. El dispositivo de monitorización es invisible y funciona en tiempo real con una larga duración de batería y la visualización de la ubicación es mediante una aplicación móvil compatible con iOS y Android (López, 2020).

Por otro lado, la monitorización de los objetos es imprescindible especialmente en el sector industrial en donde se busca tener todos sus elementos controlados y en un buen estado; es así que la geolocalización en el sector del transporte es fundamental, al ser uno de los motivos para su implementación la seguridad tal como lo indica (Villavicencio , y otros, 2020) en su sistema que cuenta con un módulo de lectura y envío de datos que está integrado por un dispositivo OBD II que integra una antena GPS, tarjeta SIM y el puerto OBD para conectar al vehículo. El módulo de gestión y visualización de datos permite configurar todos los parámetros relacionados a la monitorización de los vehículos tales como eventos y alertas.

El trabajo de investigación de (Kumari, Kumar, & Khan, 2020), presenta un diseño IoT que permite el rastreo de los autobuses escolares mediante la generación de

reportes de interés para las autoridades de las escuelas y padres. La arquitectura presenta una aplicación móvil que cuenta con los datos personales de los padres y tiene como función indicar el número de autobuses presentes en la ruta a la vez de informar el número de asientos vacíos en cada uno de ellos. Los autobuses cuentan con un dispositivo Raspberry PI al que se conecta el sistema RFID (del inglés, *Radio Frequency Identification*) que es el encargado de realizar el conteo de asientos y enviar esta información conjuntamente con la del GPS. El sistema además envía una alerta mediante un SMS (del inglés, *Short Message Service*) al momento en que el niño ingresa y sale del autobús, para ello cada niño cuenta con su propia etiqueta RFID (Kumari, Kumar, & Khan, 2020).

En (Catargiu, Dulf, & Miclea, 2020), se desarrolla una aplicación web enfocada para los entrenadores y para los ciclistas. Los entrenadores conocen los ciclistas que se encuentran activos y detalles acerca de sus actividades; por otro lado, los ciclistas mediante el aplicativo acceden a las rutas recorridas y controlan el seguimiento durante sus actividades. El primer módulo conformado por un Arduino Micro y un módulo de amplificación HX711 se encarga de obtener la fuerza aplicada al pedal y enviar esta información a través de una comunicación por infrarrojos al segundo Arduino que la decodifica y transfiere a un servidor conjuntamente con la ubicación obtenida del módulo GPS.

Dentro del desarrollo urbano sostenible se desea mejorar la energía limpia del transporte y su infraestructura, tener un sistema inteligente de transporte urbano, reducir el tiempo de espera y obtener una respuesta favorable en los ciudadanos tal como se implementó en Valencia al utilizar dispositivos de Bluetooth o WiFi para la obtención de datos de tráfico, los sensores fueron colocados en los semáforos donde se presenta mayor tráfico y los datos obtenidos fueron enviados a la plataforma de VLCI (Valencia

Ciudad Inteligente) desarrollada por Telefónica para poder centralizar toda la información obtenida (Soriano, Samper, Martínez, Cirilo , & Martínez, 2018).

La calidad del servicio de transporte público es un eje importante al hablar de movilidad inteligente, en (Aldás, 2018) se presenta un sistema que permite informar a los usuarios las paradas y los horarios correspondientes a cada ruta y se monitoriza el recorrido realizado por el transporte urbano. Este sistema lo realizaron mediante dispositivos de radiofrecuencia, un Raspberry Pi y un módulo NEF24L01, mientras que la visualización de los datos para el usuario es realizada mediante una página Web.

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 y los trabajos relacionados que sustentan la investigación.

En el segundo capítulo se desarrolla el Estado de Arte, al detallar conceptos tales como IoT, Smart City, Smart Mobility, Smart Security, LPWAN, Sigfox, Sistemas de Geoposicionamiento y servicios en la nube; de modo que se logre una base para una mejor comprensión de la fase de implementación.

En el tercer capítulo se explica el desarrollo e implementación del presente trabajo de investigación, en donde se detalla la caracterización de los módulos empleados y se describe el sistema de monitorización implementado en dos secciones: software y hardware. Además, se especifican los parámetros de las pruebas de funcionamiento.

En el cuarto capítulo se detallan las pruebas realizadas del prototipo de monitorización en varios escenarios y se efectúa un análisis de los resultados obtenidos.

Finalmente se discuten los resultados logrados y se proporciona en base a ello las conclusiones y recomendaciones, a la vez que se plantea posibles trabajos futuros que sigan con la línea de investigación planteada.

Capítulo II

Marco Teórico

Internet de las cosas (IoT)

El IoT permite la conectividad y comunicación de objetos mediante sensores, actuadores y teléfonos inteligentes con el fin de que realicen interacciones entre sí, se espera que esta nueva tecnología se implemente a gran escala donde existan miles de dispositivos conectados con la finalidad de mejorar la calidad de vida, ahorrar tiempo y facilitar actividades cotidianas (Hammi, Khatoun, Zeadally, Fayad, & Khoukhi) (Hemjal, 2019).

Los nodos sensores son los encargados de procesar y obtener los datos. La información obtenida es procesada mediante tres fases; la primera fase es la obtención de datos del entorno físico, a continuación, son transmitidos a través de la red para que puedan ser utilizados por las diferentes aplicaciones y finalmente la información es procesada y utilizada para la toma de las decisiones respectivas (Kushwah, Batra, & Jain, 2020).

Las tecnologías más utilizadas para la transmisión de datos en dispositivos IoT son: WiFi, Bluetooth, RFID, WiMAX y la red celular, estas son empleadas ya que cumplen con los principales requerimientos para el IoT tales como: escalabilidad, calidad del servicio en tiempo real, comunicación heterogénea, movilidad, fiabilidad, consumo eficiente de energía y una conexión segura (Kushwah, Batra, & Jain, 2020).

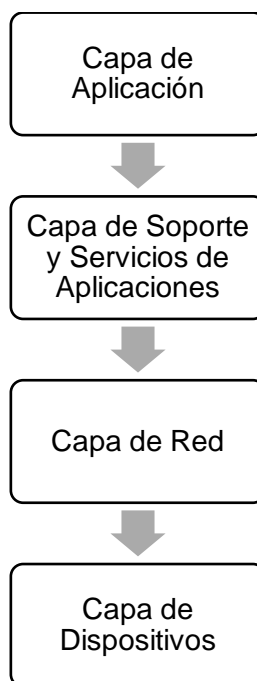
De acuerdo a la recomendación ITU-T Y.2060 la arquitectura para el IoT consta de 4 capas que se presentan en la Figura 1 y que a continuación se detallan:

- Capa de Aplicación: su función es la gestión inclusiva de aplicaciones para la visualización de los datos mediante una interfaz gráfica que facilita al usuario su comprensión.

- Capa de Soporte y Servicio de Aplicaciones: es la encargada de brindar soporte durante el procesamiento y almacenamiento de datos, además ofrece apoyo a necesidades específicas a diversas aplicaciones IoT.
- Capa de red: su función es proporcionar conectividad para el transporte de datos y servicios, además de funciones de control de acceso tales como autenticación, autorización y contabilidad.
- Capa de dispositivo: es fundamental para el IoT, debido a que es la encargada de la recolección de la información y de conectar los dispositivos con el Internet a través de varias tecnologías alámbricas e inalámbricas(Vashi, Ram, Modi, Verma, & Prakash, 2017) (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

Figura 1

Arquitectura genérica del IoT



Nota. La figura representa la arquitectura utilizada en el IoT, (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

Ciudad Inteligente (Smart City)

Una Ciudad Inteligente logra una gestión integrada que conlleva una planificación, construcción y una perspectiva inteligente. Al mismo tiempo que aprovecha los recursos como la geografía, medio ambiente, economía, infraestructura propia de la ciudad, así como los medios digitales y tecnológicos; se puede crear una gestión de servicios inteligentes, con el propósito de fomentar un sistema eficiente que se interconecte e interaccione (Kehua, Jie, & Hongbo, 2011).

El objetivo de una Ciudad Inteligente es integrar cada una de sus infraestructuras en estado crítico de modo que se les pueda dar seguimiento y respuestas automáticas en tiempo real (Kehua, Jie, & Hongbo, 2011). Además, se debe considerar que la correlación entre los sistemas de una ciudad es de vital importancia para que el sistema sea más inteligente y por ende más eficaz, por lo que se debe evitar que algún sistema funcione de manera aislada, no obstante, el desplegar toda la infraestructura no es suficiente, es necesario crear una red vinculada que se comporte como un solo sistema (Nam & Pardo, 2011).

Para lograr un medio colaborativo equilibrado entre los diversos actores de los gobiernos y comunidad, una Ciudad Inteligente debe aplicar nuevas e innovadoras gestiones de tal forma que se dé un modelo denominado triple hélice, el cual tiene como objetivo la participación conjunta de universidades, gobierno y empresas. De acuerdo a este modelo durante el proceso de identificación de posibles soluciones a necesidades existentes, es la universidad, quien se involucra conjuntamente con las empresas, al crear diseños eficientes y sostenibles. Además, las empresas están implicadas en la implementación de los servicios y productos, por otro lado, el gobierno es el encargado de detallar los planes de desarrollo, ejecución y finalmente evaluar los resultados e impactos. Este modelo deja a un lado la participación de la ciudadanía, por lo que, en

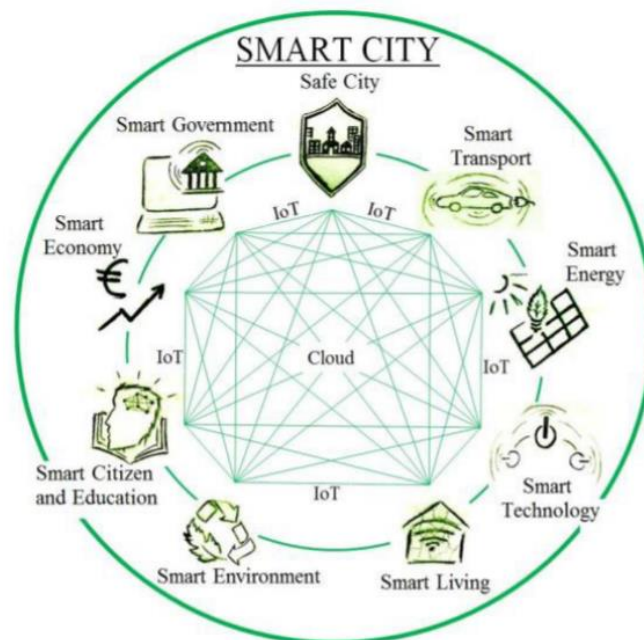
estudios recientes se busca la integración de las comunidades locales, al introducir el modelo de cuatro hélices. El modelo de cuatro hélices conserva las responsabilidades de los primeros grupos y le añade la participación de la ciudadanía, quien se involucra al socializar sus opiniones y sugerencias de los proyectos que se llevan a cabo, así como los ya implementados (Alexopoulos, Viale, Charalabidis, & Madrid, 2019).

En la Figura 2 se observan los diversos sistemas que involucran una Ciudad Inteligente y requieren contar con las siguientes características:

- **Inteligencia:** la información que se pueda recolectar de una ciudad es un componente concluyente para optimizar los procesos de gestión y despliegue de servicios. Al ser procesada esta información tiene un impacto económico, social y medioambiental (Aldama, y otros, 2012).
- **Economía:** aspecto que se vincula con la innovación empresarial, flexibilidad y adaptación al cambio en el mercado laboral, la integración de nuevos modelos de gestión y finalmente la capacidad de transformación.
- **Movilidad:** accesibilidad a las áreas urbanas y rurales, mediante sistemas modernos, sustentables y eficientes.
- **Administración:** vinculado con los procesos de los planes de desarrollo, transparencia de los sistemas, mejoras y disponibilidad tanto de políticas y servicios públicos.
- **Tecnología:** conlleva una infraestructura flexible, innovadora orientada a satisfacer las necesidades del gobierno, empresas y a los ciudadanos.
- **Entorno inteligente:** se considera un ambiente libre de contaminantes y debe permitir una gestión responsable de los recursos (Vanolo, 2013).

Figura 2

Sistemas de una Smart City



Nota. La figura muestra los sistemas que son parte de una Ciudad Inteligente, y que permitirían encontrar mejoras evidentes que aporten soluciones a problemas de prioridad, (Lacinák* & Ristvej).

Movilidad Inteligente (Smart Mobility)

La movilidad inteligente permite la utilización de las tecnologías digitales actuales con el fin de indicar las posibles decisiones que se puedan tomar para mejorar la calidad de vida en las ciudades con una visión de sostenibilidad (Papa & Lauwers, 2015). Los principales enfoques de la movilidad inteligente están orientados en la gestión del tráfico en tiempo real, aplicaciones de seguimiento, aparcamientos, servicios de autos compartidos y disminución de la contaminación del aire producido por el tráfico de automóviles mediante el uso principal del transporte público. La gestión del transporte público permite a los municipios que este servicio sea más confiable, seguro

y cómodo de usar; por consiguiente, es necesario la creación de administraciones más eficientes que permitan a los ciudadanos tener acceso a la información mediante sus dispositivos móviles (Tomaszewska & Florea, 2018). La gestión realizada en la movilidad inteligente requiere la mayor cantidad de información en tiempo real para gestionar el tráfico, obtener la ruta más adecuada, horarios y ajuste de tarifas, con el fin de ahorrar tiempo y dinero, mejorar el viaje y reducir las emisiones de CO2 a diferencia de la movilidad convencional (Moreno Alonso, Baucells Aletà, & Arce Ruiz, 2016).

Seguridad Inteligente (Smart Security)

La seguridad inteligente busca la integración de soluciones tecnológicas con el entorno de las personas, de modo que se disminuyan problemas relacionados a la delincuencia, lograr que la ciudadanía viva en un entorno saludable y con una pronta respuesta ante situaciones de emergencia (Lacinák & Ristvej, 2017).

Una de las bases fundamentales de la seguridad inteligente es la recolección íntegra de información acerca de las diversas situaciones y actividades que se presenten en los espacios públicos, de tal forma que al ser procesada en herramientas adecuadas generen alertas que permitan a las autoridades competentes comprender las situaciones suscitadas y presentar una respuesta eficaz ante los problemas de la población. La seguridad local no recae únicamente en las administraciones locales, también depende de factores económicos, sociales, entre otros; con este enfoque lo que la seguridad inteligente busca es generar sistemas de alerta temprana conjuntamente con modelos y políticas que permitan la toma de decisiones acertadas (Di Bella, Odone, Corsi, Sillitti, & Breu, 2014).

Las características claves de la seguridad inteligente es la eficiencia y fiabilidad, esto implica que se genere una lista de espacios públicos e instalaciones autosuficientes tanto en organización como en seguridad, además de contar con un

sistema de comunicación que permita monitorizar y compartir información con las autoridades y personas interesadas, para lo cual se debe de contar con sistemas de video vigilancia inteligente, sistemas de alerta temprana, monitorización y pronóstico ambiental, sistemas de notificación, detección y ubicación. Conjuntamente estos sistemas permiten una gestión y administración de una localidad, actuar en situaciones de emergencia, gestionar servicios de salud, transporte y vivienda (Vitalij, Robnik, & Alexey, 2012).

Red de sensores inalámbricos

Una red de sensores inalámbricos (WSN, del inglés *Wireless Sensor Network*) es un sistema que utiliza dispositivos con el fin de monitorizar en tiempo real variables físicas o ambientales mediante la utilización de sensores. Las tecnologías inalámbricas han estado en constante desarrollo por lo cual integran las comunicaciones inalámbricas y sistemas embebidos. Existen varias limitaciones como la vida útil de la batería, es por eso que los dispositivos usualmente se encuentran en modo reposo en el cual el consumo de potencia es bajo (Urbano Molano, 2013) (Aakvaag & Frey, 2006).

La infraestructura de una red de sensores inalámbricos se puede clasificar en dos, la red de adquisición de datos y la red de transmisión de datos. La red de adquisición de datos cuenta con nodos sensores y estaciones base; los nodos sensores son los dispositivos encargados de obtener datos de su entorno, mientras tanto las estaciones base recogen los datos y son reenviados a los usuarios. La red de transmisión de datos entrega al usuario una interfaz en la que se puede visualizar y almacenar los datos adquiridos (Lopez & Zhou, 2008).

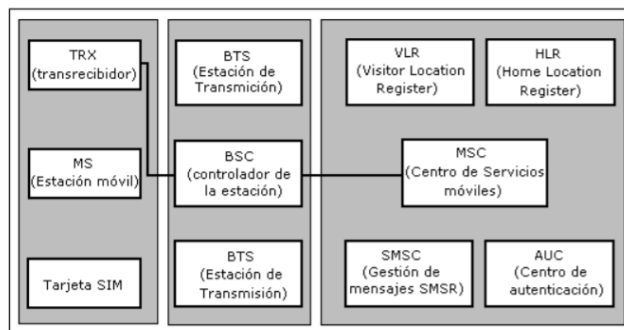
Redes celulares tradicionales

GSM

Las demandas de los usuarios de las redes de comunicaciones llevaron a la transformación de los sistemas analógicos a los digitales, lo que conlleva a la segunda generación de los sistemas móviles con la inserción del sistema GSM que se convirtió en un estándar que opera en la banda de 900 MHz y actualmente está presente en 171 países y aproximadamente desplegada 400 redes GSM. Dentro de sus ventajas se encuentran que permite el roaming internacional, seguridad, compatibilidad con tecnologías anteriores y posteriores. En la Tabla 1 se detallan algunas de sus características y en la Figura 3 se muestra la arquitectura de la red GSM que está conformada de tres componentes: la estación base (BSS del inglés, *Base Station Subsystem*), el subsistema de comunicación y gestión (SMSS del inglés, *Switching and Management Subsystem*) y el de operación y mantenimiento (OMSS del inglés, *Operation and Maintenance Subsystem*) (Sánchez Wevar, 2005) (Castilla Sierra & Meza Jiménez, 2005).

Figura 3

Arquitectura de la red GSM



Nota. La figura representa la arquitectura de la red GSM, (Castilla Sierra & Meza Jiménez, 2005).

Tabla 1*Características de GSM en el nivel físico*

Parámetro	Valor
Frecuencia de Transmisión	935-960 1805-1880 Base - Móvil 890-915 1710-1785 Móvil - base
Tipo de acceso múltiple	TDMA
Método de duplexado	DFF
Ancho de banda por radiocanal	200 kHz
Número de canales de tráfico	8
Número total de canales de tráfico	100
Tipo de modulación	GMSK

Nota. En la tabla se muestra las características generales en la interfaz de aire de la red GSM, (Sánchez Wevar, 2005).

Las redes GSM intercambian información a través de sus interfaces: Um, A, Abis y Map, cada una de estas interfaces implementan un conjunto de protocolos para asegurar que la información sea enviada de manera adecuada.

GPRS

El sistema GPRS se basa en la capa física de GSM, pero introduce mejoras en su interfaz de radio, además emplea la conmutación de paquetes para la señalización y envío de información, esto lo logra al implementar la tecnología de ranuras múltiples y aprovecha los recursos para tráfico por ráfagas. Este sistema admite QoS diferenciados para los diversos usuarios en base al throughput y retardos, además es permitido tener cuatro y dos canales simultáneos para recepción y transmisión respectivamente, y 40

kbps en recepción y 20 kbps en transmisión. A diferencia de GSM introduce tres nuevos terminales que son: el nodo de servicio GPRS (SGSN, del inglés *Serving GPRS Support Node*) encargado de la transmisión de paquetes al usuario, el nodo de soporte GPRS para gateway (GGSN, del inglés *Gateway GPRS Support Node*) que conecta la red GPRS a la red de datos externa y la unidad de control de paquetes (PCU, del inglés *Packet Control Unit*) que gestiona el tráfico GPRS (Castilla Sierra & Meza Jiménez, 2005) (Sánchez Wevar, 2005) (Chillarón Farré, 2003).

Los servicios soportados por GPRS son los siguientes:

- Servicios fundamentados en ubicaciones y envío de mensajes cortos, generales de Internet y concretos para GPRS.
- Aplicaciones WAP y conexiones a Internet.

Red de área amplia de baja potencia

Las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) son empleadas en IoT y ambientes de redes máquina a máquina (M2M, del inglés *Machine to Machine*), debido a que permiten una comunicación de largo alcance a una tasa de bits baja y una larga duración de la batería de los dispositivos finales (Chaudhari, Zennaro, & Borkar, 2020). Actualmente se encuentran disponibles las siguientes tecnologías LPWAN: Weightless, Sigfox, RPMA, LoraWAN, NB-IoT. Estas tecnologías tienen un alcance de 1 a 5 km en zonas urbanas y en zonas rurales puede alcanzar de 10 a 50 km.

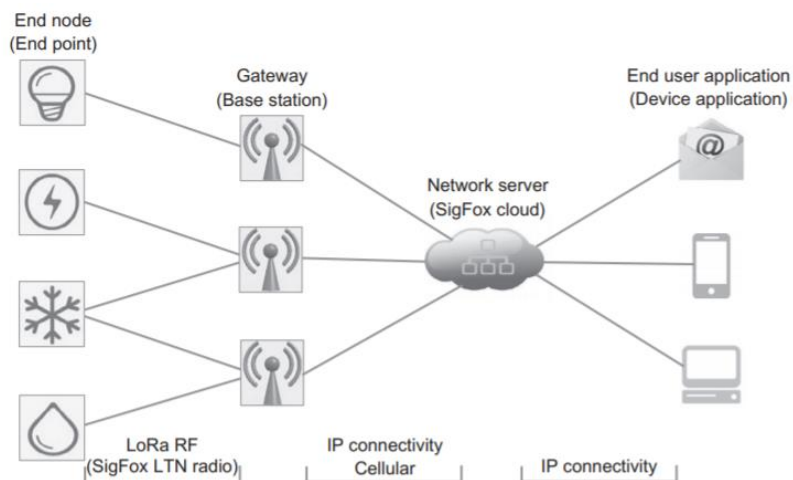
Recientes estudios de las redes LPWAN han desarrollado una topología de red de tipo estrella, en donde se emplea un enlace asimétrico en las conexiones ascendentes y descendentes, donde el enlace ascendente es el más utilizado, lo cual hace que la complejidad recaiga en la estación base, y los dispositivos de los usuarios sean simples y por ende de bajo consumo energético. Los nodos tienen capacidades limitadas de procesamiento, así como su memoria, además, para incrementar el rango

de comunicación se debe reducir la velocidad de transmisión (Petäjärvi, Mikhaylov, Hämä, & Iinatti, 2016).

En la Figura 4 se muestra la arquitectura de las redes LPWAN, las cuales constan de cuatro elementos: el nodo final, la estación base, el servidor de la red y finalmente la aplicación orientada al usuario. Los nodos se conectan a la red mediante una comunicación inalámbrica de un solo salto y los gateways se conectan al servidor de red por un backhaul (Kashoash & Kemp, 2017).

Figura 4

Arquitectura de Red LPWAN



Nota. La figura presenta a detalle la arquitectura de red LPWAN, (Kashoash & Kemp, 2017).

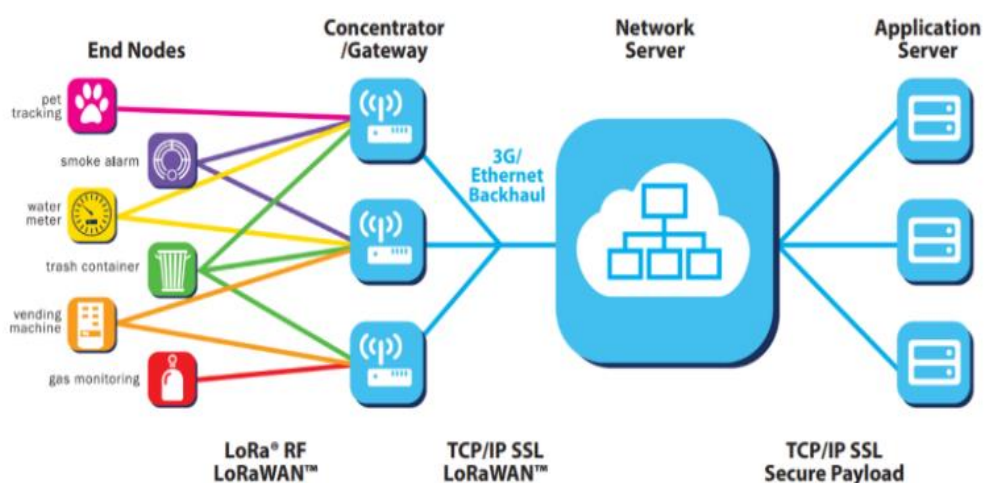
LoRa & LoRaWAN

LoRaWAN es el protocolo estándar utilizado para las comunicaciones WAN mientras que LoRa es una técnica de modulación no celular para LoRaWAN que se utiliza como tecnología de red de área extendida con un ancho de banda de 125 kHz,

utiliza las bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM, del inglés *Industrial, Scientific and Medical*) (AlfaloT, 2021). Las bandas de operación son de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz en Asia, Europa y Estados Unidos respectivamente. La modulación utilizada es chirp de espectro ensanchado (CSS, del inglés *Chirp Spread Spectrum*) que permite conexiones de bajo costo, bajo consumo y resistentes al efecto Doppler.

Figura 5

Arquitectura de red LoRa



Nota. La figura presenta a detalle la arquitectura de red LoRaWAN, (Hernández, 2020)

Se utilizan 6 factores de ensanchamiento (SF7-SF12) de los cuales la relación de potencia y transferencia de datos disminuye de mayor a menor, para lo cual en SF7 se tiene una velocidad de 5 486 kbps y para SF12 una velocidad de 0.3 kbps. Los nodos en una red LoRaWAN son asíncronos y se comunican cuando tienen información para ser enviada (Mendivil, 2017) (AlfaloT, 2021). Finalmente, la arquitectura de red es en forma de estrella de un solo salto como se muestra en la Figura 5 y utiliza los siguientes elementos:

- Dispositivo final: permite la obtención de información de los sensores para ser transmitida por el gateway al utilizar comunicaciones inalámbricas.
- Gateway: recibe la comunicación bidireccional de LoRa de los dispositivos finales al gateway, también son conocidos como las estaciones base.
- Servidor de red: Los servidores de red realizan una conexión a varios gateway mediante el protocolo TCP/IP ya que se encargan de la recepción y procesamiento de la información obtenida por los sensores. Además, si existen mensajes redundantes es el encargado de eliminar dicha información.
- Servidor de aplicaciones: analiza los datos recopilados para una futura toma de decisiones (Hernández, 2020).

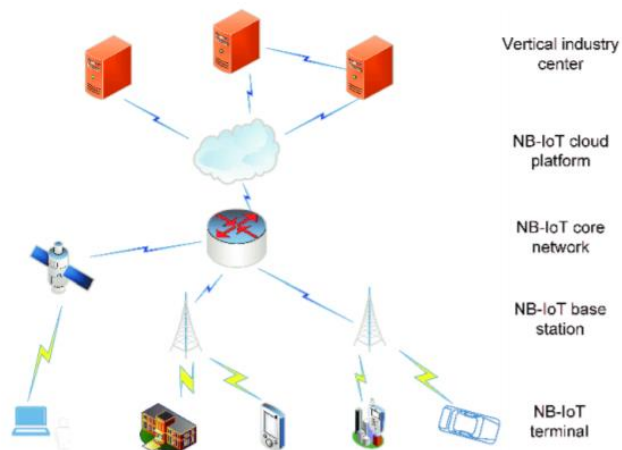
NB-IoT

Es una tecnología de banda estrecha que puede coexistir con GSM y LTE bajo bandas de frecuencias con licencia introducida por el 3GPP en el Release 13. NB-IoT utiliza la técnica de modulación QPSK, tiene un ancho de banda de 200 kHz con velocidades aproximadamente de 100 kbps, con un alcance de 10 km y una sensibilidad de -142 dBm (Hernández, 2020) (Montesinos, 2018). La arquitectura de NB-IoT se basa en los sistemas de paquetes evolucionado (EPS, del inglés *Evolved Packet System*) al cual se le agregó el nodo función de exposición de capacidad de servicio (SCEF, del inglés *Service Capability Exposure Function*), diseñados para los datos de tipo M2M y existen dos optimizaciones enfocadas a IoT Celular (CIoT, del inglés *Cellular IoT*): esquema de usuario y de control. Estos esquemas permiten realizar el envío de datos a la aplicación correspondiente de la manera más óptima ya que el esquema CIoT EPS es flexible para cada paquete de datos (Sánchez Rosado, 2019). La arquitectura de red NB-IoT consta de 5 partes como se presenta en la Figura 6:

- Terminal: Estos dispositivos obtienen información de los sensores para el envío de datos a las estaciones bases, adicionalmente el dispositivo debe contar con una tarjeta SIM para poder acceder a la red.
- Estación base: hace referencia al despliegue de la red LTE.
- Núcleo de la red: realiza la conexión entre las estaciones bases y la plataforma de la nube.
- Plataforma de nube IoT: hace el procesamiento de toda la información.
- Cliente: obtención de la información en tiempo real (Zhang, Li, Xun, & Liu, 2018) (Cao & Li, 2018).

Figura 6

Arquitectura de red de NB-IoT



Nota. La figura representa la arquitectura de red de NB-IoT, (Hernández, 2020).

Sigfox

Sigfox es una red LPWAN que está dirigida al IoT en la cual se transmiten datos de un tamaño limitado con un alcance de larga distancia y de bajo consumo (Sigfox, 2020) al implementar la tecnología UNB (del inglés, *Ultra Narrow Band*) en las bandas ISM, utiliza 192 kHz de las bandas disponibles para el envío de mensajes. Las bandas de operación dependen de la región así, por ejemplo, en Europa las frecuencias son 868 y 868.2 MHz y en el resto de continentes son 902-928 MHz (Zhou & Flora , 2018).

Los datos que pueden ser transmitidos tienen un tamaño de 12 bytes con un límite de 140 mensajes al día en enlace ascendente y 4 mensajes en el enlace descendente con un tamaño de 8 bytes. Cada mensaje tiene un ancho de banda de 100 Hz y la tasa de transmisión de datos varía de 100-600 bps de acuerdo a la región, además el consumo energético en cada transmisión es de 10 mA a 50 mA (Bustamante , 2019) (Sigfox, 2017). A continuación en la Tabla 2 se tiene un ejemplo de los posibles tamaños de datos transmitidos y en la Figura 7 se presenta la estructura de la trama de los mensajes (Sigfox, 2017) (Zhou & Flora , 2018).

Tabla 2

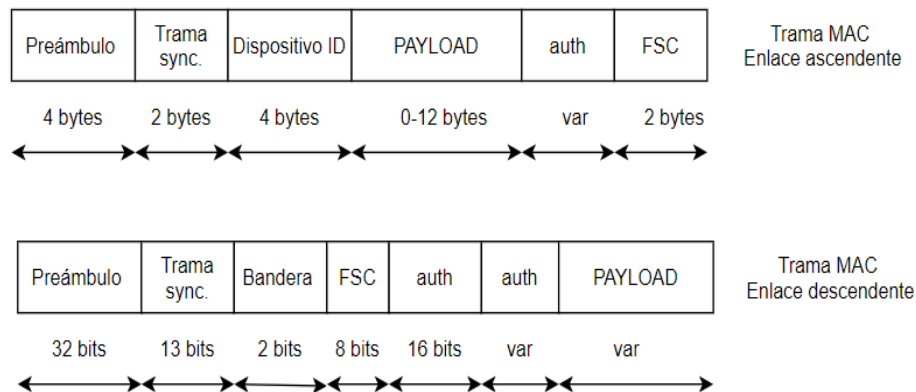
Ejemplos de tamaños de carga útil

Tipo de Mensaje	Carga útil
Coordenadas GPS	6 Bytes
Temperatura	2 Bytes
Informe de velocidad	1 Byte
Estado del dispositivo	1 Byte

Nota. Esta tabla muestra los ejemplos de tamaños de carga útil de Sigfox, (Sigfox, 2017).

Figura 7

Estructuras de tramas de enlace ascendente y descendente de Sigfox



Nota. La figura representa las estructuras de tramas de enlace ascendente y descendente de Sigfox, (Zhou & Flora , 2018).

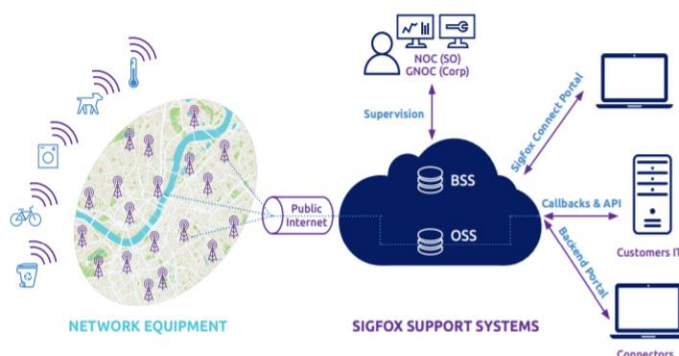
El dispositivo realiza la conexión con la estación base y puede transmitir el mensaje tres veces en diferentes frecuencias, por medio del acceso múltiple por división de tiempo y de frecuencia aleatoria (RFTDMA del inglés, *Random Frequency Time Division Multiple Access*). La modulación por desplazamiento de fase binaria diferencial (DBPSK del inglés, *Differential Binary Phase Shift Keying*) es utilizada en el enlace ascendente ya que permite una comunicación a distancias entre 10 km a 50 km, mientras que el enlace descendente utiliza la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK, del inglés *Gaussian Frequency Shift Keying*) (Aernouts , Berkvens, Van Vlaenderen, & Weyn, 2018) (Sigfox, 2017).

Sigfox trabaja con dos tipos de arquitecturas: plana y horizontal. La arquitectura horizontal consta de dos capas como se muestra en la Figura 8. La primera es la capa de equipo de red que está conformada por las estaciones base que son las responsables de recibir los mensajes y enviarlos a la segunda capa que es el Sistema

de Soporte de Sigfox que procesa la información mediante una devolución de llamada denominada *Callback* que entrega los datos al cliente, además de almacenarlos (Sigfox, 2017).

Figura 8

Arquitectura horizontal de Sigfox

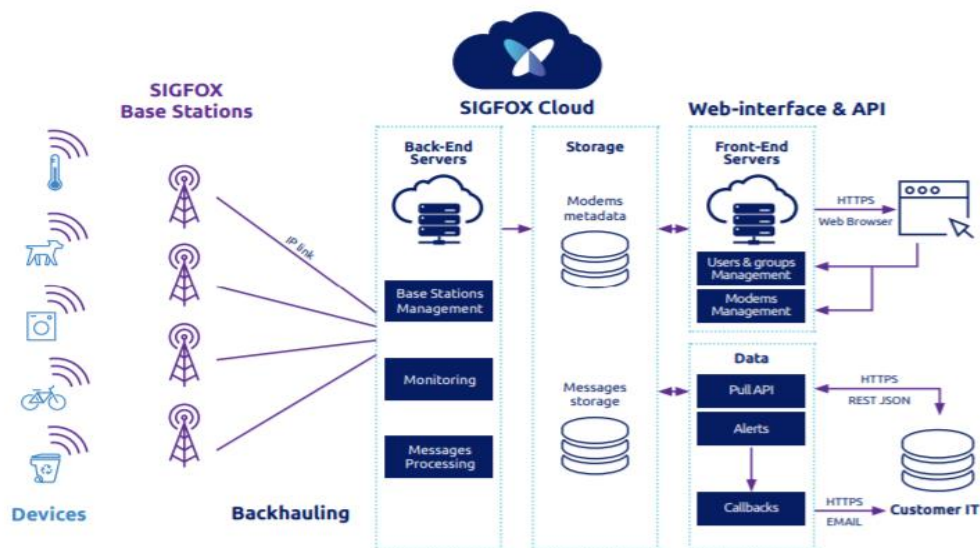


Nota. La figura representa la arquitectura horizontal de Sigfox, (Sigfox, 2017).

La arquitectura plana que utiliza Sigfox se muestra en la Figura 9, donde los datos obtenidos por los dispositivos de Sigfox son enviados a las estaciones base para pasar por un *backhaul*, el cual usa una conectividad DSL, 3G, 4G y conectividad satelital si las anteriores tecnologías no se encuentran disponibles. Los mensajes son procesados y almacenados en dos ubicaciones, uno de ellos son los metadatos que se utiliza para la creación de servicios y por otro lado se encuentran el almacenamiento de los mensajes de los clientes que pueden ser obtenidos mediante la creación de Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, del inglés *Application Programming Interface*) (Sigfox, 2017) (Zhou & Flora , 2018).

Figura 9

Arquitectura plana de Sigfox



Nota. La figura representa la arquitectura plana de Sigfox, (Sigfox, 2017).

Las configuraciones de radio en Sigfox son especificadas por zonas debido a las distintas regulaciones que pueden tener los países. Actualmente cuentan con 7 zonas en todo el mundo como se muestra en la Figura 7. Las configuraciones de radio son las siguientes:

- RC1: Europa, Francia de ultramar, Medio Oriente y África.
- RC2: Brasil, Canadá, México, Puerto Rico y Estados Unidos.
- RC3: Japón.
- RC4: América Latina, Asia Pacífico.
- RC5: Corea del Sur.
- RC6: India.
- RC7: Rusia (Sigfox, 2020).

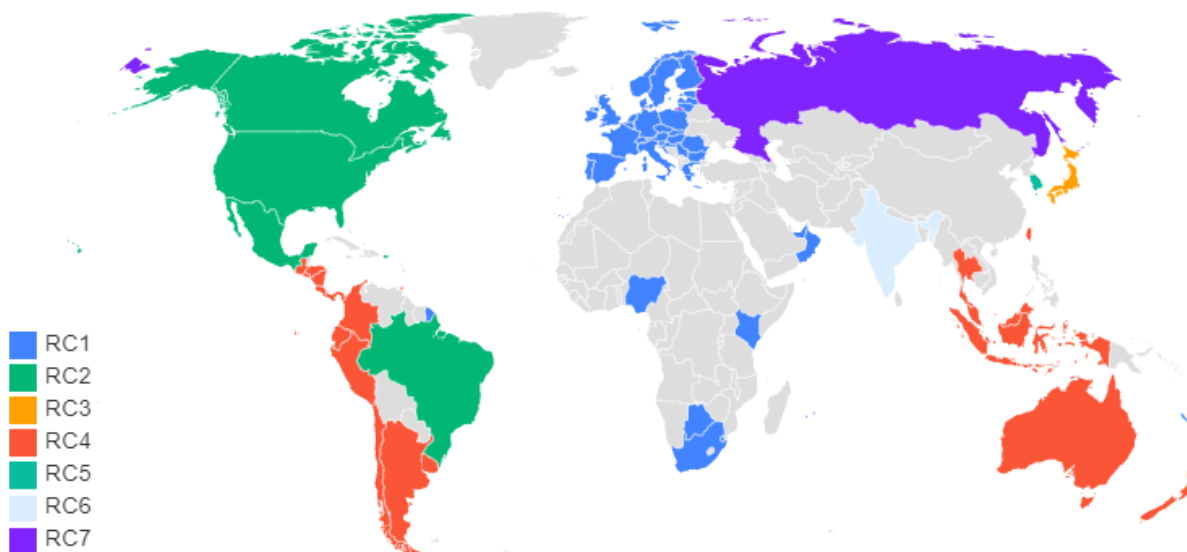
Además, de acuerdo a la Figura 10, la zona a considerar es la que se encuentra en color anaranjado que representa la zona RC4 y es en la que se encuentra Ecuador.

Para la configuración de radio de Sigfox en la zona 4 se tiene que:

- La frecuencia central de enlace ascendente es de 920.8 MHz.
- La frecuencia central de enlace descendente es de 922.3 MHz.
- La velocidad de datos es de 600 bps.
- La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente recomendada por Sigfox es de 24 dBm (Sigfox, 2020).

Figura 10

Disponibilidad geográfica de Sigfox

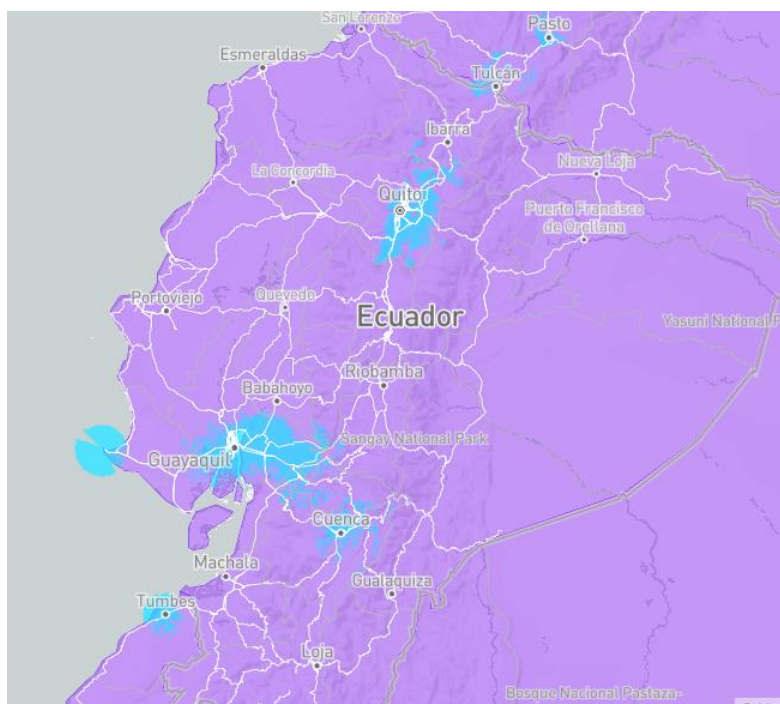


Nota. La figura representa la disponibilidad de Sigfox, (Sigfox, 2020).

Como se observa en la Figura 11 la cobertura de Sigfox en el Ecuador se encuentra representada de color celeste, en donde se indica varios puntos estratégicos tales como Quito, Sangolquí, Guayaquil, Santa Elena y Cuenca.

Figura 11

Cobertura de Sigfox en el Ecuador



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

Comparativa de tecnologías

Las diferentes tecnologías que se mencionan en las secciones anteriores tienen características muy diversas como se muestran en la Tabla 3, en donde se realiza una comparativa a nivel general de estas tecnologías

Tabla 3*Comparativa de tecnologías*

Características	LoRa	NB-IoT	Sigfox	GSM
Modulación	CSS	QPSK BPSK	BPSK	GSMK canal vocal GMSK canal de servicio
Frecuencia	915 MHz	700 MHz 800 MHz	915 MHz	935-960 1805-1880 DL 890-915 1710-1785 UL
Ancho de banda	125 kHz	200 kHz	100 Hz	200 kHz por radiocanal
Velocidad de datos	50 kbps	100 kbps	100 - 600 bps	35 kbps GSM (GPRS)
Mensajes al día	Ilimitado	ilimitado	140 mensajes	Ilimitado
Carga útil	243 bytes	62.5 bytes	12 bytes	140 bytes para SMS
Distancia	20 km (rural)	10 km (rural)	50 km (rural)	30 km (rural)
	5 km(urbano)	1 km(urbano)	10 km(urbano)	3 km (urbano)
Seguridad	Emplea claves estáticas y claves AES	Autenticación y cifrado de LTE	Identificación única para cada dispositivo	Vulnerable a exploits
Regulación	ISM	Canal dedicado	ISM	Canal dedicado

Nota. En la tabla se muestra las características de diferentes tecnologías, (Hernández, 2020).

De acuerdo, a lo presentado en la Tabla 3 las tecnologías pueden tener varios enfoques como tener un mayor alcance, mayor velocidad de datos, carga útil, regulación de sus bandas de frecuencia, entre otros. Bajo estos conceptos para este trabajo de investigación se utilizó Sigfox por las siguientes razones:

- El alcance en áreas rurales puede llegar hasta 50 km a comparación de LoRa y GSM que tiene un rango de 10 km y 30 km respectivamente, mientras que para NB-IoT es necesario contar una estación base LTE.
- Uno de los aspectos más relevantes entre las tecnologías son los costos, es así que en Sigfox no existe costo por el uso del espectro y por el uso de la red en un dispositivo final puede estar alrededor de los 2.36\$ mensuales (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, 2019).
- Sigfox emplea bandas no licenciadas y no hace uso de redes externas, además el operador de Sigfox es el encargado de desplegar la red por lo que los desarrolladores no deben preocuparse por ese aspecto.
- Finalmente se tiene a Sigfox con la carga útil más baja a comparación de las demás tecnologías, se ha considerado que la carga útil necesaria para este proyecto es de 8 bytes y como resultado se obtuvo que los 12 bytes proporcionados por Sigfox son suficientes para la implementación, además que no se requiere el envío de mensajes en enlace descendente.

Descripción de dispositivos con Sigfox

Xkit RC4

Es un kit de desarrollo de Thinxtra que tiene una variedad de sensores y funciones incluidas que permite la implementación de varias soluciones IoT, debido a su arquitectura hace que sea una solución económica y escalable. En la Figura 12 se

observa el módulo Xkit RC4 y se presentan sus características detalladas en la Tabla 4 (Thinextra, s.f.).

Figura 12

Kit de desarrollo Xkit RC4



Nota. La figura muestra el kit de desarrollo Xkit RC4, (Thinextra, s.f.).

Tabla 4

Características del kit de desarrollo Xkit RC4

	Xkit RC4
Sensores	Luz, acelerómetro, temperatura, presión, interruptor y un pulsador
Comandos AT	Compatible
Plataformas de desarrollo	Arduino Raspberry Pi Custom
Entorno de desarrollo	Arduino
GPIO	4 Digitales

Nota. La Tabla describe las características del Xkit RC4, (Thinextra, s.f.).

DVK-SFAZ-1-GEVK

Se trata de un kit de desarrollo de tamaño reducido que integra el chip SoC AX-SFAZ que tiene como características un bajo consumo y alto rendimiento. El módulo consta de un adaptador USB y de un conector SMA. En la Figura 13 se muestra el módulo y en la Tabla 5 una descripción más detallada (Sigfox, 2021).

Figura 13

Kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK



Nota. La figura muestra el kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK, (Sigfox, 2021)

Tabla 5

Características del kit de desarrollo DVK-SFAZ-1-GEVK

	DVK-SFAZ-1-GEVK
Comandos AT	Compatible
Plataformas de desarrollo	Personalizado
Entorno de desarrollo	Personalizado

DVK-SFAZ-1-GEVK	
GPIO	9 Digitales
	6 Analógico
Alimentación	2 V ~ 3.3 V

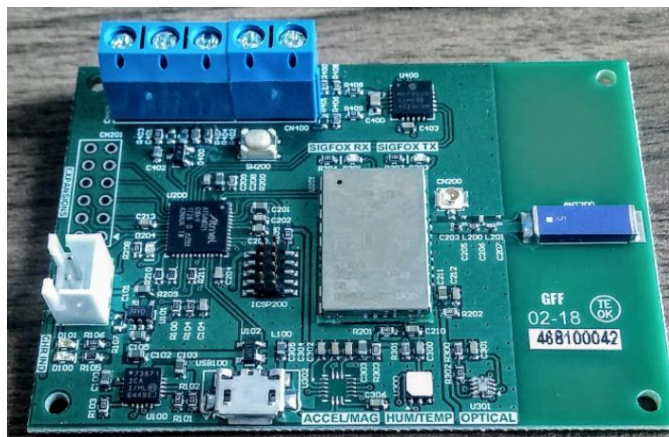
Nota. La Tabla describe las características del DVK-SFAZ-1-GEVK, (Sigfox, 2021)

Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)

El Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK) cuenta con el microchip ARM® Cortex®-M0 + ATSAMD21G18A-M para un alto rendimiento. En la Figura 14 se muestra el módulo y en la Tabla 6 una descripción más detallada (Sigfox, 2021).

Figura 14

Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)



Nota. La Figura muestra el kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK), (Sigfox, 2021).

Tabla 6

Características del Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)

	Xkit RC4
Sensores	Luz, acelerómetro, temperatura, humedad, magnetómetro, interruptor y un pulsador
Comandos AT	No compatible
Plataformas de desarrollo	Custom
Entorno de desarrollo	Atmel Studio

Nota. La Tabla describe las características del *Kit de desarrollo integrado Sigfox multisensor (EDK)*, (Sigfox, 2021).

FiPy

Es un módulo compatible con LoRa, Sigfox y LTE-M dual, programable en Micropython con bajo consumo energético, cuenta con el SoC Espressif ESP32, procesador dual y un sistema de radio WiFi. En la Figura 15 se muestra el módulo y en la Tabla 7 una descripción más detallada (Pycom , 2021).

Figura 15

Módulo FiPy



Nota. La Figura muestra módulo FiPy, (Pycom , 2021).

Tabla 7*Módulo FiPy*

	FiPy
Alimentación	3.5 - 5 V
Voltaje de salida	3.3 V a 400 mA
Memoria RAM	520 KB
Memoria Flash	4 MB
Wifi	802.11 b/g/n 16Mbps
Telnet	Puerto 23
Consumo	24 mA para Rx 257 mA para Tx 0.5 uA para standby

Nota. Esta Tabla muestra las especificaciones técnicas del módulo FiPy, (Pycom , 2021).

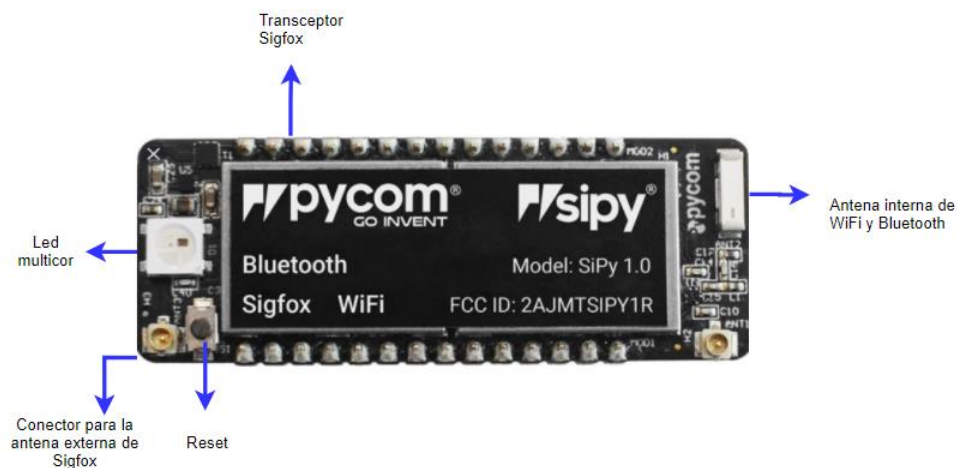
Sipy

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 y GPS (Pycom, 2020). En la Tabla 8 se presentan las especificaciones técnicas del módulo Sipy y en la Figura 16 se presentan sus componentes principales. Además, los parámetros de Sigfox con el módulo de Sipy se detallan en la Tabla 9.

Tabla 8*Especificaciones del módulo Sipy*

Sipy	
Voltaje de entrada	3.5 - 5 V
Voltaje de salida	3.3 V
Corriente de salida	1,2 A
Memoria RAM	520 KB
Memoria Flash	4 MB
Wifi	802.11 b/g/n
Telnet	Puerto 23

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

Figura 16*Módulo Sipy*

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

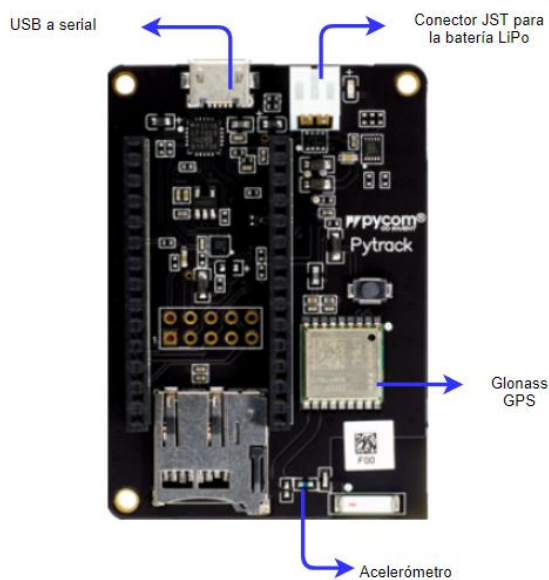
Tabla 9*Parámetros de Sigfox*

Característica	Descripción
Velocidad de transmisión	600 bps
Potencia de transmisión	22 dBm
Sensibilidad del receptor	-128 dBm
Consumo de corriente de RC4 en el transmisor	257 mA
Consumo de corriente de RC4 en el receptor	24 mA

Nota. Esta tabla muestra parámetros de Sigfox en el 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 como se muestra en la Figura 17. Este módulo integra el receptor simultáneo Quectel L76-L que permite trabajar simultáneamente con los sistemas GPS, GLONASS, Galileo y QZSS, además cuenta con un amplificador de bajo ruido para una mejor sensibilidad, sus características más relevantes se detallan en la Tabla 10 (QUECTEL, 2020).

Figura 17*Módulo Pytrack*

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

Tabla 10*Características técnicas del módulo Quectel L76-L*

Características	Descripción
Receptor de banda GPS L1	1575.42 MHz
Receptor de banda GLONASS L1	1601.71 MHz
Canales	33 de seguimiento
	99 de adquisición
	210 PRN
Sistemas de aumentación basados en satélites (SBAS)	WAAS
	EGNOS
	MSAS

Características	Descripción
	GAGAN
Precisión de posición horizontal	< 2.5mm CEP
Tiempo de readquisición	< 1s
Sensibilidad	Adquisición: -149dBm Seguimiento: -167dBm Readquisición: -161dBm
Protocolos	NMEA 0183 PMTK

Nota. La Tabla muestra las características relevantes del L76-L integrado en el módulo Pytrack, (QUECTEL, 2020).

Para el diseño del prototipo de este proyecto de investigación se utiliza la placa de desarrollo de Pycom llamada Sipy y la placa de expansión Pytrack debido a sus prestaciones al proporcionar un GPS integrado acoplándose a los requerimientos del proyecto.

Sistemas de Geoposicionamiento

Los sistemas de posicionamiento asistidos por satélites se encuentran conformados por el sector espacial, de control y de usuario. El sector espacial está compuesto por satélites integrados con relojes de una exacta precisión (reloj atómico), el sector de control realiza el seguimiento y monitoriza el correcto funcionamiento de los satélites, y finalmente el de usuario que está conformado por los receptores que determinan la longitud, latitud y altitud, con cierto rango de error. Una de las ventajas de estos sistemas es que se puede obtener la posición de un punto dado en cualquier

momento e independientemente de las condiciones atmosféricas con cierto error y precisión uniforme.

Actualmente se tiene los siguientes sistemas:

- Sistema de Posicionamiento Global o GPS fue desarrollado en 1992 por la fuerza aérea estadounidense y está conformado por 24 satélites que se encuentran a 20 200 km de la Tierra, siguen una trayectoria sincronizada con una inclinación de 55 grados, su distribución permite obtener la señal de al menos cuatro satélites en cualquier lugar (Perpelova, 2017). Este sistema hace uso de CDMA para transmitir las señales en un canal de código determinado a cada uno de los satélites, además modula la señal en una secuencia pseudo-aleatoria (PRBS) (España, 2017).
- Galileo es el Sistema Global de Navegación por Satélite Europeo, el cual trabaja mediante el principio de trilateración, este principio necesita conocer la posición de al menos cuatro satélites y sus respectivas distancias a la estación. Se espera que el sistema cuente con un total de 30 satélites de los cuales tres serían usados como repuestos, estos satélites están desplegados en 3 planos orbitales y con una inclinación de 56 grados y están ubicados a 23 222 km de la Tierra. Hace uso de la técnica de CDMA y funciona en las bandas L1, E5 y E6. El sistema Galileo está diseñado para obtener una precisión de 1 metro en latitudes altas (Duarte Muños, 2016).
- GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya) es el Sistema Global de Navegación por Satélite Ruso que actualmente se encuentra desplegado por toda la superficie de la Tierra y posee una precisión similar a la del GPS. El proyecto del GLONASS dio inicio en el año de 1982 y fue culminado en el 2011

con una constelación de 24 satélites a una distancia de 19 100 km y una inclinación de 64.8 grados. El sistema requiere de tres satélites para determinar la posición y uno para la sincronización del reloj del receptor. A diferencia del sistema Galileo opera con la técnica FMDA y funciona en las bandas L1 y L2 (Duarte Muñoz, 2016).

- Beidou es el Sistema de Posicionamiento vía Satélite Chino, actualmente da servicio a China y sus países vecinos. La primera generación de este sistema fue finalizada en el año 2004 con dos satélites para operar y uno para ser usado como respaldo. La segunda generación busca un posicionamiento 3D en tiempo real y que tenga una cobertura global para lo cual se requiere entre 25 y 35 satélites (Guerrero, 2020).
- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) es el Sistema de Navegación Regional Japonés, tiene una arquitectura similar a la del GPS y Galileo, cuenta con un total de 7 satélites a una elevación de 70 grados y trabaja en las bandas L1, L2 y L5, cuenta con estaciones de control, seguimiento, monitorización y de medición de láser. Únicamente ofrece servicio en Japón (Vílchez, 2019).

Computación en la nube

La computación en la nube se refiere a la utilización de servicios e infraestructura en la red. La evolución de la computación en la nube empezó mediante empresas de servicio de Internet como Google y Amazon, las cuales cuentan con su propia infraestructura (Ávila Mejía , 2011). La computación en la nube es una combinación de hardware y software, almacenamiento y servicios (Joyanes Aguilar , 2012); donde se permite que los usuarios gestionen, almacenen, procesen los datos y utilicen aplicaciones sin contar con un servidor físico, además los usuarios son los encargados de especificar las características que sean necesarias para la ejecución de

cada uno de sus proyectos, como consecuencia se reduce el costo y mantenimiento de los equipos y consumo de energía, al hacer uso de estos servicios se debe considerar que son ejecutados en un servidor (Flórez Zuluaga, Orozco Montero, Daza Hernández, Cardenal Moreno, & Amariles Saldarriaga, 2019) (Hernández Gutiérrez, 2012).

La arquitectura de la computación en la nube se encuentra divididas en las siguientes capas:

- Software como Servicio (SaaS, del inglés *Software as a Service*) es la capa más alta, la cual consiste en la entrega de aplicaciones completas como un servicio, para evitar así la utilización de equipos físicos (Ávila Mejía , 2011).
- Plataforma como Servicio (PaaS, del inglés *Plataform as a Service*) es la capa media, donde se dan soluciones como servicios. El óptimo desempeño depende de que el proveedor se encargue de proporcionar los recursos necesarios (Ávila Mejía , 2011) (Flórez Zuluaga, Orozco Montero, Daza Hernández, Cardenal Moreno, & Amariles Saldarriaga, 2019).
- Infraestructura como Servicio (IaaS, del inglés *Infrastructure as a Service*) es la capa inferior que se encarga de proveer la infraestructura requerida como un Servicio. Los recursos proporcionados al consumidor son el almacenamiento, el procesamiento y entre otros recursos computacionales. El usuario no administra la infraestructura de la nube pero si gestiona el almacenamiento (Flórez Zuluaga, Orozco Montero, Daza Hernández, Cardenal Moreno, & Amariles Saldarriaga, 2019) (Hernandez Quintero & Florez Fuente , 2014).

En base a la arquitectura existen cuatro principales servicios en la nube, los cuales son los siguientes:

- Nube pública: el proveedor de la nube es de carácter público.

- Nube privada: es gestionada específicamente para un usuario y puede ser manejada por el usuario o un tercero.
- Nube comunitaria: se comparte entre varios usuarios u organizaciones.
- Nube híbrida: es una combinación entre la nube pública y privada (Hernandez Quintero & Florez Fuente , 2014).

Amazon Web Services AWS

Amazon Web Services es el nombre de un conjunto de servicios web puestos a disposición por Amazon que permiten a los desarrolladores externos acceder y construir sobre la plataforma tecnológica de la empresa. Esta plataforma incluye una serie de servicios de infraestructura que pueden aumentar o reemplazar la infraestructura física tradicional requerida por las aplicaciones web. Estos servicios de infraestructura brindan almacenamiento, potencia informática, un sistema de mensajería, un sistema de pago y una base de datos a la que ya se puede acceder con una cuenta de Amazon (Murty, 2008).

A partir del año 2006, AWS se ha introducido en los servicios de TI para ofrecer sus sistemas de computación en la nube, lo que ayuda a que las empresas reduzcan sus gastos al ya no tener que planificar sus servidores e infraestructura, pues con los servicios de AWS pueden implementar soluciones con una plataforma confiable escalable y de bajo costo. La infraestructura de AWS se caracteriza por ser flexible y segura, al proporcionar un entorno escalable (Sajee, 2014).

Capítulo III

Desarrollo e Implementación

El desarrollo del prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños cuenta con dos partes muy esenciales que son el hardware y software. La implementación del prototipo hace uso de las placas de desarrollo Sipy y Pytrack detalladas en la sección 2.12, mediante las cuales se obtienen las coordenadas para ser enviadas a través de la red Sigfox, con el fin de ser almacenadas en la base de datos DynamoDB y ser visualizada en los aplicativos correspondientes. Uno de los objetivos específicos de este proyecto es que mediante una aplicación móvil se permita el monitoreo del geoposicionamiento para el rastreo de niños y una aplicación Web enfocada a las paradas inteligentes.

Configuración de los dispositivos

Para el registro del dispositivo con la red Sigfox es necesario ingresar el país en el que se va a realizar la implementación que en este caso es Ecuador. Mediante la actualización del software de los dispositivos Sipy y Pytrack se obtiene un identificador único llamado ID y un código de autorización de portabilidad que prueba la propiedad de un dispositivo denominado PAC. Los dispositivos de Pycom tienen acceso a la plataforma de administración llamada *Pybytes*, donde al crear una cuenta se tiene información del dispositivo como los datos de los posibles sensores conectados, estado de conexión y posibles actualizaciones. Además, al momento de crear la cuenta es necesario agregar el tipo de dispositivo, la placa de expansión utilizada y habilitar la red que en este caso es Sigfox. Al final se muestra el perfil del dispositivo junto con la creación del *Callback* al *Backend* como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Registro de Sigfox en Pybytes

The screenshot shows the Pybytes dashboard for a device named "DISPOSITIVO1". The device ID is 6a7a27c5-9b2a-49e9-a4a0-9552ca92d2d7. It shows the last connection was 4 days ago and the firmware version is FW-31.55.775.A23. The dashboard has tabs for DASHBOARD, SIGNALS, PROVISIONING, NOTIFICATIONS, PYMAKR, and CONFIGURATION. The PROVISIONING tab is active, showing instructions to activate the device with a firmware updater. A message states "Activation token expired" with a "GENERATE NEW ACTIVATION TOKEN" button. To the right, a "SIGFOX REGISTRATION" panel is highlighted with a red border, showing "Device added as Sigfox DevKit" and two green status indicators: "Sigfox device was found on Sigfox backend" and "Callback was created on Sigfox backend for this Device Type". There are links for "CHECK SIGFOX STATUS" and "GO TO DOCS".

Finalmente se crea la cuenta en Sigfox para tener acceso al Backend y acceder a información como los mensajes enviados, la calidad del enlace y estado de la comunicación como se observa en la siguiente Figura 19.

Figura 19

Información del dispositivo

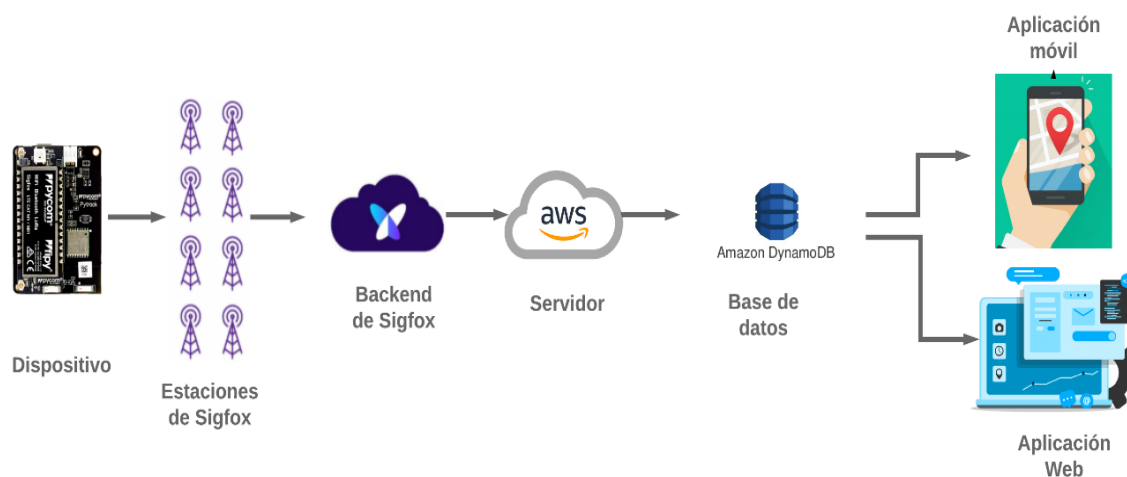
The screenshot shows the Sigfox dashboard interface. The top navigation bar includes the Sigfox logo and tabs for DISPOSITIVO, TIPO DE DISPOSITIVO, USUARIO, and GRUPO. A left sidebar contains menu items: INFORMACIÓN, UBICACIÓN, MENSAJES, EVENTOS, ESTADÍSTICAS, and CONFIGURACIÓN DE EVENTOS. The main content area is titled "Dispositivo 4D635B - Información" and displays the following details:

- Nombre: PYCOM_DevKit_1-device
- Protocolo: V1
- Estado activable:
- Número de secuencia: 90 (2020-12-03 00:05:35)
- Número de secuencia de la papelera: N / A (N / A)
- Visto por última vez: 2020-12-03 00:05:35
- PAC: XXXXXXXXXX
- Certificado de producto: P_00CA_EE5A_01
- Latitud: 0.000 (grados)
- Longitud: 0.000 (grados)
- Tipo de dispositivo: PYCOM_DevKit_1
- Estado: OK
- Indicador de calidad de enlace:
- Estado de comunicación:

El diagrama de bloques utilizado en este trabajo de investigación tanto para el rastreo de niños como para las paradas inteligentes se presenta en la Figura 20, donde se tienen varias etapas, para empezar, se adquieren las coordenadas mediante la placa de desarrollo Pytrack y luego es procesada esta información por el microcontrolador de la placa Sipy para ser enviadas mediante la red de Sigfox al *Backend*. Una vez almacenada la información en el *Backend* se crea un *Callback* hacia el servidor de AWS para así almacenar los datos en una tabla de Amazon DynamoDB y acceder a ellos desde la aplicación móvil como de la aplicación Web.

Figura 20

Diagrama de bloques



La programación de los dispositivos se realiza en el editor de código Atom y se utiliza MicroPython como lenguaje de programación. Estos programas deben añadir varias librerías para que los módulos tengan un funcionamiento adecuado y, a continuación, se detallan las librerías más importantes:

- L76GNSS: trabaja con el módulo Quectel L76-L GNSS el cual proporciona la latitud y la longitud, es necesario la creación de una instancia a través de un objeto para que el dispositivo Pytrack obtenga esta información.
- Pycoproc: permite realizar la interacción con el microcontrolador del módulo.
- Haversine: es utilizada en el desarrollo de la aplicación de paradas inteligentes debido a que permite calcular la distancia entre dos posiciones dadas.
- Pytrack: permite controlar y tener una comunicación con el microcontrolador.

Configuración de las paradas inteligentes

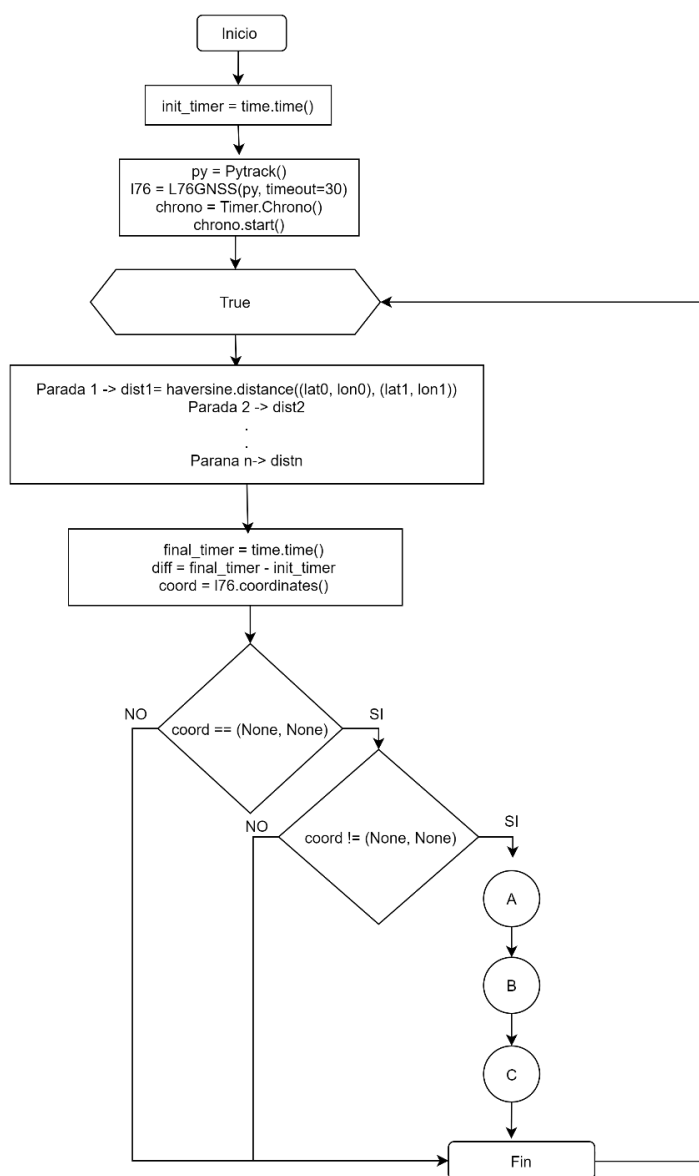
La configuración de los dispositivos va a variar de acuerdo a la aplicación, en este caso se hace referencia a las paradas inteligentes. Para esta aplicación se presenta en la Figura 21 el diagrama de flujo correspondiente, en donde se muestra la estructura básica para la obtención de las coordenadas mediante el módulo Pytrack para ser enviadas al *Backend* de Sigfox.

Para comenzar se inicializa la variable timer que es la encargada de contabilizar la frecuencia de envío de los mensajes, se crea un objeto de la clase L76GNSS y luego se realiza la comparación de distancias entre dos puntos referenciales que son: las paradas previamente definidas ingresadas como variables y las coordenadas en tiempo real que son proporcionadas por el dispositivo. La comparación se realiza entre una coordenada fija y un radio definido; de manera que si el dispositivo ingresa en las coordenadas definidas realice el envío de los datos al *Backend* de Sigfox. La información de latitud y longitud son guardadas en la variable denominada *coord* para

que esta sea verificada si es nula o no, una vez que se obtenga acceso al GPS continúa con el proceso que se muestra en la Figura 22.

Figura 21

Diagrama de flujo para la aplicación de las paradas inteligentes

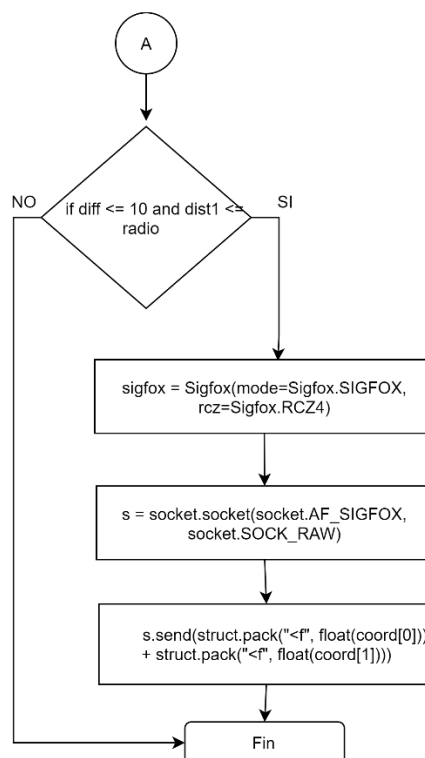


Nota. La figura representa el diagrama de flujo del programa utilizado para la aplicación de las paradas inteligentes del proyecto de investigación, donde los subprocesos A, B, C son las comparaciones que se realizan de las paradas definidas.

El diagrama de flujo mostrado en la Figura 22 indica la manera en que se va enviar los datos al *Backend* de Sigfox, además se muestran los procesos con los que se realiza la comparación para el envío del mensaje.

Figura 22

Diagrama de flujo para la aplicación de las paradas inteligentes



La comparación entre dos coordenadas se realiza con la ayuda de la librería *Haversine* anteriormente mencionada, con la que se obtiene la distancia entre dos puntos y se realiza la comparación con el radio establecido, por ejemplo, se tiene que la latitud y longitud de la parada de buses ubicada en los exteriores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es de -0.315306 y -78.442021 respectivamente, este punto se lo toma como referencia y en la Tabla 11 se encuentran las coordenadas de dos

puntos medidos; el primer punto se encuentra fuera del rango y el segundo punto se encuentra dentro. Al realizar la comparación en el segundo punto se tiene como resultado una distancia menor al radio definido, que para este ejemplo es de 25 m, como consecuencia se enviaría el mensaje; caso contrario el GPS sigue activo hasta llegar a otro punto de comparación.

Tabla 11

Puntos de referencia y medidos cerca de la parada de la Universidad de las Fuerzas Armadas

Ubicación	Latitud	Longitud	Distancia calculada en metros
Punto de referencia	-0.315306	-78.442021	-
Punto medido 1	-0.315806	-78.442041	55.6
Punto medido 2	-0.316682	-78.442085	15

Para que se realicen los envíos de los mensajes es necesario escoger la zona 4 en la que se encuentra el Ecuador y crear un socket de Sigfox para realizar la configuración y envío del mensaje Uplink.

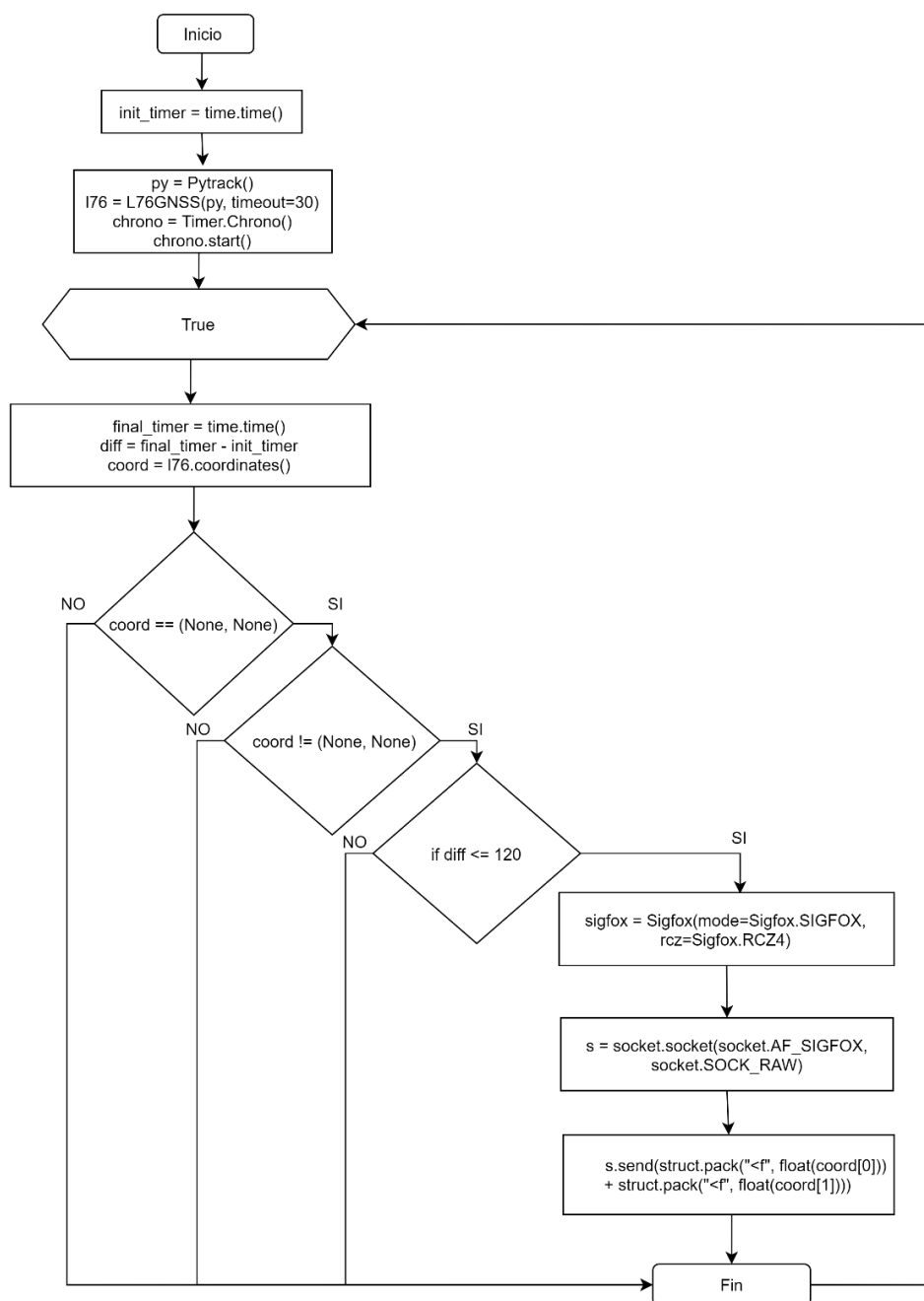
Configuración para el rastreo de niños

En la Figura 23 se muestra el diagrama de flujo para la aplicación del rastreo de niños, en la que se debe inicializar el módulo Pytrack y el módulo L76 Quectel. La latitud y longitud son guardadas en una variable para la verificación que no sea nula para proceder con el envío de los mensajes a Sigfox, la diferencia principal en comparación

con el aplicativo de las paradas inteligentes es que el envío de los mensajes se realiza sin ningún tipo de restricción y con un intervalo de tiempo determinado.

Figura 23

Diagrama de flujo para el rastreo de niños

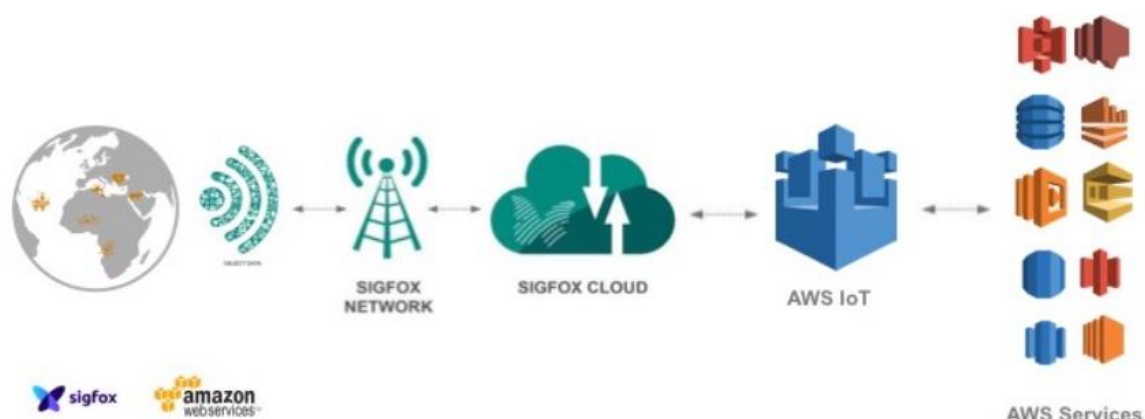


Conexión entre Sigfox y AWS

Una vez que los dispositivos se han conectado a la red Sigfox y han enviado los datos a Sigfox Cloud, se configura la conexión con AWS IoT para que los datos se envíen a la nube de AWS y se almacenen en una tabla de Amazon DynamoDB; para esto se implementa la arquitectura presentada en la Figura 24.

Figura 24

Arquitectura para la Conexión Sigfox-AWS



Nota. La figura presenta a detalle la arquitectura implementada para la conexión entre la red Sigfox y AWS IoT, (AWS, 2017).

Para implementar la arquitectura presentada en la Figura 24 es necesario el desarrollo de un conector AWS IoT dentro del *Backend* de Sigfox y aprovisionar los roles y permisos IAM (del inglés, *Identity and Access Management*) para que AWS permita el ingreso seguro de los datos provenientes de Sigfox.

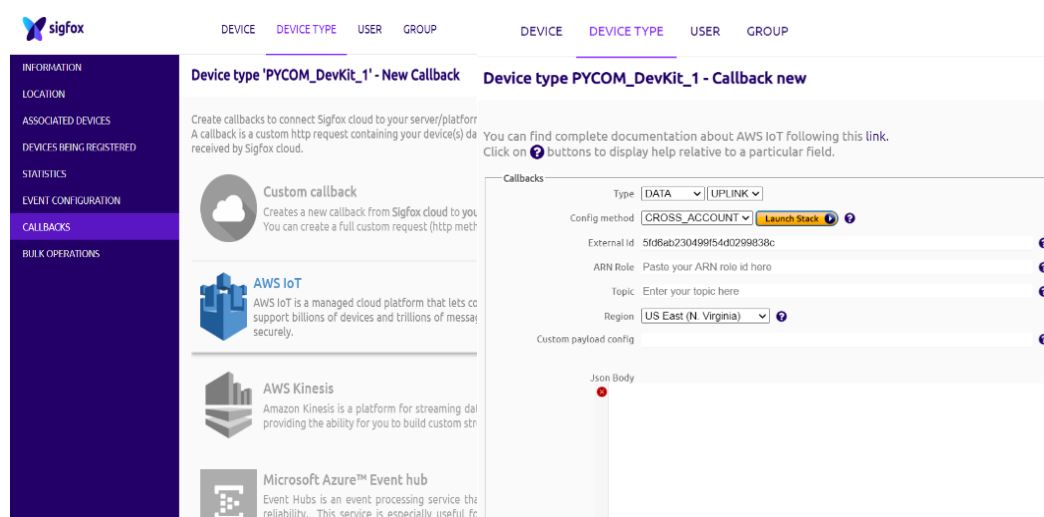
Configuración del Callback

Una vez que los módulos hayan establecido conexión con la red Sigfox, la información puede ser enviada a AWS IoT mismo que permite crear diversas

aplicaciones que interactúen con los servicios de AWS. Con el fin de establecer la conexión entre Sigfox y AWS se creó un *Callback* de tipo *AWS IoT*, el cual proporciona un *External ID* distintivo para permitir el acceso a los recursos de la plataforma de AWS como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Creación del Callback



Mediante un *Launch Stack* se redirecciona a *AWS CloudFormation* para la creación de una plantilla tipo JSON de Amazon S3, en donde se debe proporcionar parámetros como el ID de la cuenta de AWS, *External ID* y la región de uso de AWS tal como se presenta en la Figura 26.

Figura 26

Creacion y configuración del Stack

Create stack

Prerequisite - Prepare template

Prepare template
Every stack is based on a template. A template is a JSON or YAML file that contains configuration information about the AWS resources you want to include in the:

Template is ready Use a sample template Create template in Designer

Specify template
A template is a JSON or YAML file that describes your stack's resources and properties.

Template source
Selecting a template generates an Amazon S3 URL where it will be stored.

Amazon S3 URL Upload a template file

Amazon S3 URL

Amazon S3 template URL

S3 URL:

Specify stack details

Stack name

Stack name

Stack name can include letters (A-Z and a-z), numbers (0-9), and dashes (-).

Parameters
Parameters are defined in your template and allow you to input custom values when you create or update a stack.

AWSAccountId
Input your AWS Account ID. http://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/console_account-alias.html

ExternalId
Please copy/paste the External Id assigned to you in the Sigfox console.

Region
Input the AWS Region you wish to use.

TopicName
Input the name of the topic Sigfox will use to publish data.

Una vez verificados los datos proporcionados, el Stack crea un rol con permisos de cuentas cruzadas que puede conectar y enviar datos a AWS IoT mediante el uso de eventos de tipo *CrossAccountPolity* y *crossAccountRoleForAWSIoT* y como resultado se obtuvo un objeto de tipo *ARNRole* como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Salidas obtenidas en el Stack

SigfoxIoTConnector

Stack info
Events
Resources
Outputs
Parameters
Template
Change sets

Outputs (3)

Key ▲	Value ▼	Description ▼	Export name ▼
ARNRole	arn:aws:iam:459196058806:role/SigfoxIoTConnector-crossAccountRoleForAWSIoT-4LAJJN0BPZ1K	Please copy/paste the ARN of the cross account role created into the Sigfox console	-
Region	us-east-1	Please copy/paste the name of the AWS Region into the Sigfox console	-
Topic	sigfox	Please copy/paste the name of IoT topic into the Sigfox console	-

Una vez obtenido los parámetros *ARN Role* y *Topic* son utilizados para terminar la configuración del *Callback* en la consola de Sigfox y se completa el campo *Json Body* con la siguiente configuración:

```
{"lng":"{customData#lng}",  
  "lat":"{customData#lat}",  
  "device":"{device}",  
  "time":"{time}"}
```

En el apartado de *Custom Payload config* se realiza la decodificación de la información, para lo cual se hace uso de los primero 4 bytes para la latitud y los siguientes 4 bytes para la longitud, además se añade como parámetro que el formato en el que debe ser leída la variable es desde la menos significativa a la más significativa (little-endian).

- lat::float:32:little-endian Decodificación de latitud
- lng::float:32:little-endian Decodificación de longitud

Para realizar la decodificación se requiere del nombre del campo, la posición en la que se encuentra en el mensaje, su tamaño y el tipo. Puede ser de tipo booleana, char, float, uint(entero sin signo) e int (entero con signo). Las variables para la longitud y la latitud son implementadas de tipo float y de forma predeterminada el desplazamiento de bits se realiza como big-endian además se emplea el estándar IEEE 754 para la decodificación.

Dado que se obtiene la respuesta mostrada en la Figura 28 se reciben los mensajes en Amazon IoT Core, una vez que los mensajes lleguen al núcleo de Amazon se requiere que se redirija a los servicios de AWS DynamoDB.

Figura 28

Configuración correcta del Callback



```
Callback - OK

[OK]

200 - - #1

POST https://a35rnnv6x134i57-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com/topics/sigfox?qos=1 HTTP/1.1
content-length: 79
accept-language: fr
x-amz-date: 20201203T050536Z
X-Amz-Security-Token: *****
accept-charset: UTF-8;q=0.9,*;q=0.7
accept: */*
authorization: *****
host: a35rnnv6x134i57-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com
connection: Keep-Alive
content-type: application/json
accept-encoding: gzip,deflate
user-agent: SIGFOX

{"lng":"-78.544785", "lat":"-0.26020834", "device":"4D635B", "time":"1606971935"}
```

Nota. En la figura se muestra la respuesta correcta del *Callback*, de manera que se verifica que los datos son enviados hacia AWS IoT.

Base de Datos DynamoDB

A continuación de haber creado el nodo conector entre Sigfox y AWS, se creó la base de datos en DynamoDB para almacenar y utilizar los datos, para esto se debe tener en cuenta que DynamoDB es una base de datos de tipo NoSQL que ofrece una baja latencia, disponibilidad y tolerancia a errores. Se ha establecido una tabla denominada sigfox la cual está conformada por una clave principal y una clave de ordenación como se presenta en la Figura 29.

Figura 29*Creación de la tabla de DynamoDB*

Crear una tabla de DynamoDB Tutorial ?

DynamoDB es una base de datos sin esquema que solo necesita un nombre de tabla y una clave principal. La clave principal de la tabla está compuesta de uno o dos atributos que identifican de manera inequívoca cada elemento, efectúan la partición de datos y ordenan los datos dentro de cada partición.

Nombre de la tabla* ⓘ

Clave principal* Clave de partición

Cadena ⓘ

Añadir clave de ordenación

Cadena ⓘ

Configuración de la tabla

La configuración predeterminada proporciona la forma más rápida de comenzar con la tabla. Puede modificar esta configuración predeterminada ahora o después de crear la tabla.

Usar la configuración predeterminada

- No hay índices secundarios.
- Capacidad aprovisionada establecida en 5 lecturas y 5 escrituras.
- Alarmas básicas con umbral superior al 80% que usan el tema de SNS "dynamodb".
- Cifrado en reposo con el tipo de cifrado PREDETERMINADO.

Finalmente se ha creado una regla de envío de datos en Amazon IoT Core que permite el acceso total de los datos que lleguen al *bucket Amazon S3* y sean redirigidos a la tabla de la base de datos anteriormente creada, para esto se da como instrucción de consulta el origen de los mensajes que se van a procesar `SELECT * FROM 'sigfox'`, además se vincula una acción como se muestra en la Figura 30, en donde se han ingresado los parámetros detallados en la Tabla 12.

Tabla 12*Parámetros de Vinculación*

Parámetro	Valor
Nombre de la tabla	sigfox
Clave de partición	deviceid
Valor de clave hash	#{device}\$

Parámetro	Valor
Clave de rango	timestamp
Valor de la clave de rango	\${time}\$
Escribir datos del mensaje en	payload
Rol de IAM	service-role/dynamodbsigfox

Figura 30

Regla de vinculación con la tabla de DynamoDB

The screenshot displays the AWS IoT Rule Editor interface, divided into two main sections: "Crear una regla" (Create a rule) and "Seleccionar una acción" (Select an action).

Crear una regla (Create a rule):

- Nombre (Name):** A text input field containing "ReglaSigfox".
- Instrucción de consulta de regla (Rule query instruction):** A section for defining the rule's logic. It includes a dropdown for "Uso de la versión de SQL" (SQL version) set to "2016-03-23". Below it, there is a text area for the SQL query: "SELECCIONAR <Attribute> DESDE <Topic Filter> DONDE <Condition>. Por ejemplo: SELECCIONAR temperatura DESDE "iot/topic" DONDE temperatura > 50. Para obtener más información, consulte Referencia de SQL de AWS IoT." A dark blue code editor area is visible below the text.

Seleccionar una acción (Select an action):

- A list of actions with radio buttons for selection:
 - Insertar un mensaje en una tabla de DynamoDB (DYNAMODB)
 - Dividir mensajes en varias columnas de una tabla de base de datos (DynamoDBv2) (DYNAMODBv2)
 - Invocar una función de Lambda para pasar los datos del mensaje (LAMBDA)
 - Enviar un mensaje como una notificación push SNS (SNS)
 - Enviar un mensaje a una cola de SQS (SQS)
 - Enviar mensajes a un flujo de Amazon Kinesis (AMAZON KINESIS)
 - Volver a publicar mensajes en un tema de AWS IoT (VOLVER A PUBLICAR EN UN TEMAS DE AWS IoT)

Aplicación para las paradas inteligentes

En las paradas inteligentes se realiza una aplicación Web, donde se visualiza toda la información necesaria del prototipo implementado.

Página Web

La página Web desarrollada en Visual Studio tiene como objetivo visualizar las rutas de las unidades, la ubicación y la generación de reportes que brindan información

del tiempo de arribo de las unidades, el cual va hacer comparado con un tiempo definido.

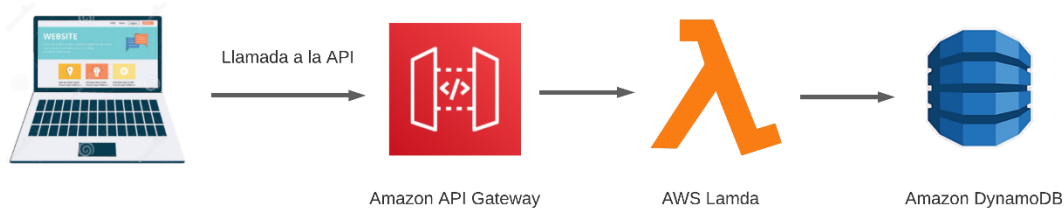
Interfaz. El diseño de la página Web cuenta con una página de inicio en donde se puede seleccionar ya sea la opción de rutas o reportes como se presenta en la Figura 31, estas opciones que se detallan en las siguientes secciones, permiten la visualización de la localización de los buses y los reportes respectivos.

Figura 31

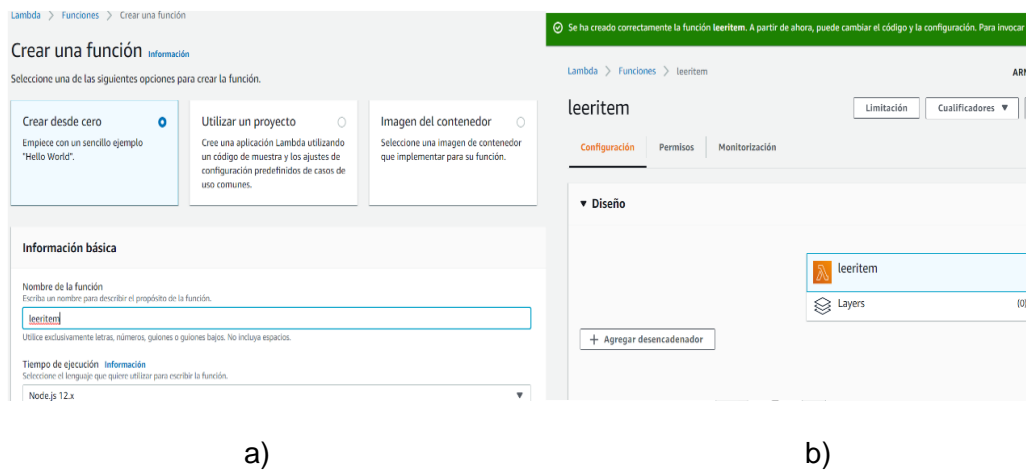
Menú de la página Web



Acceso a la Base de Datos. Para acceder a la base de datos es necesario implementar AWS Lambda, que es el servicio encargado de administrar y ejecutar un código en específico ante las solicitudes realizadas desde la aplicación web mediante Amazon API Gateway, la estructura de la solicitud se presenta en la Figura 32.

Figura 32*Arquitectura para acceder a DynamoDB*

Se han creado dos funciones Lambda principales que administran las solicitudes de la página web, una es empleada para la actualización de la ubicación del bus en el mapa y la otra función para la generación de los reportes a partir de dos fechas. Como se puede ver en la Figura 33a se han usado como parámetros una plantilla de tipo *Author from scratch (Crear de cero)* y Node.js 6.10 para ser el tipo de lenguaje en el que se redacta la función, una vez que los parámetros sean procesados se despliega la función como se observa en la Figura 33b.

Figura 33*Función Lambda*

a)

b)

La función encargada de obtener los datos para la generación de los reportes emplea el método POST, que a continuación se describe:

```
const AWS = require('aws-sdk');  
const ddb = new AWS.DynamoDB.DocumentClient({region: 'us-east-1'});
```

Se crea la constante para instanciar el SDK de AWS y crear el *DocumentClient* que apunte hacia DynamoDB en donde se especifica la región en la que trabaja la base de datos. Con la siguiente función asíncrona se administra los datos de la solicitud además de darle una respuesta, esta función tiene como parámetros un evento, un context que son todos los datos que se envían dentro de la solicitud y un Callback que es lo que realmente se devuelve a la petición HTTP.

```
exports.handler = async (event, context, callback) => {  
  const requestId = context.awsRequestId;
```

Con las siguientes sentencias se declara un ID de solicitud y se manejan los estados de *promise* ya sea de cumplida o rechazada, en caso que se logre obtener una petición correcta se tiene un *statusCode: 200* y en *body* la información que retorna del *promise*, caso contrario se devuelve el error que se presenta.

```
  await readMessage(requestId, event).then(data => {  
    data.Items.forEach(function(item) {  
      console.log(item.payload)});  
    callback(null, {  
      statusCode: 200,  
      body: data.Items,
```

```
headers: {
    'Access-Control-Allow-Origin': '*'},
```

La función *readMessage* es la encargada de retornar un *promise* con la información de la base de datos, tiene como parámetros el ID de solicitud y el evento que la genera de modo que se puedan obtener los datos enviados en la solicitud HTTP, para acceder a la base de datos se necesitan declarar parámetros como el nombre de la tabla a la que se requiere acceder, en este caso para filtrar los datos se declara un atributo de tipo *FilterExpression*, para determinar qué elementos deben devolverse mediante la expresión de condición de tipo *between*.

```
function readMessage(requestId,event) {
    const params = {
        TableName: 'sigfox',
        FilterExpression : '#dynamondb_timestamp between :val1 and :val
2',
        ExpressionAttributeValues : {
            ":val1" : event.startdate,
            ":val2" : event.enddate }
    }
```

La segunda función que se emplea es de tipo GET y devuelve el último valor almacenado en DynamoDB, hace uso de las mismas sentencias de la función de tipo POST, únicamente se diferencia en el método que accede a la base de datos al hacer uso de *query* en vez de *scan*. Se declara el atributo *KeyConditionExpression* para filtrar los datos a ser devueltos, con *ScanIndexForward* se realiza la lectura de los datos

de modo ascendente y con *Limit* se declara el número de elementos a ser devueltos, en este caso únicamente se devuelve un valor.

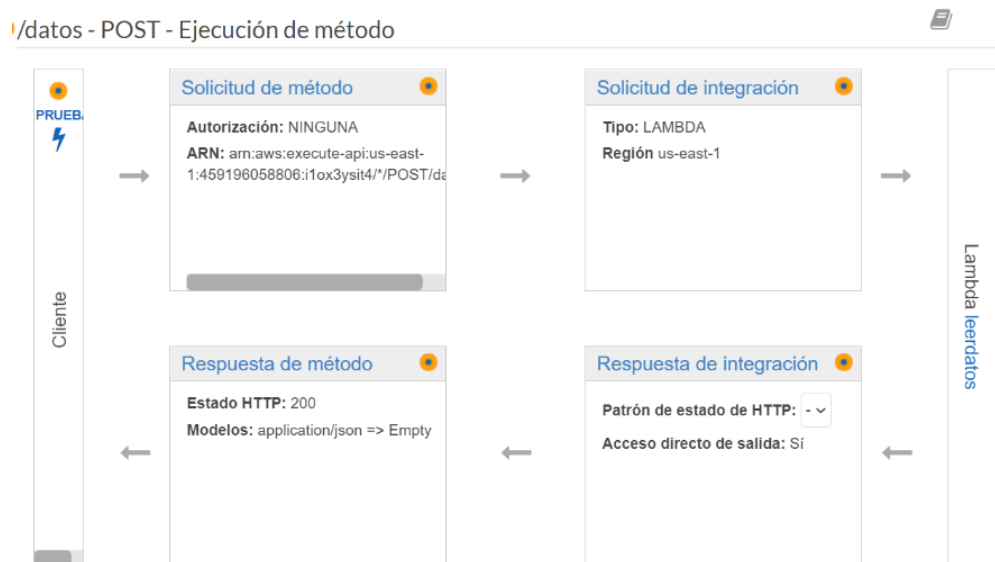
```
function readMessage() {  
    const params = {  
        TableName: 'sigfox',  
        KeyConditionExpression: "deviceid = :value",  
        ExpressionAttributeValues: {':value': {'S': '4D635B$'}},  
        ScanIndexForward : false,  
        Limit:1}  
}
```

A fin de desplegar las funciones Lambda anteriormente mencionadas como API *RESTFull* se hace uso de Amazon API Gateway, de modo que la API pueda ser accedida desde el Internet de manera pública.

Para empezar, se crea una API dentro de los servicios de AWS la cual es de tipo *Edge optimized* y como un punto de enlace, de esta manera se logra tener un acceso a través de Internet de modo público. A continuación, se implementa un nuevo recurso y los métodos que se requieran para acceder a las funciones Lambda, primero se configura el método POST de manera que el Tipo de Integración sea de *Función Lambda*, se establece la región *us-east-1* y se selecciona la función Lambda *leerdatos* que es la encargada de obtener los valores de la base de datos de acuerdo a un rango de fechas. Una vez que se concedan los permisos para que la API Gateway pueda invocar a la función Lambda el método es desplegado como se muestra en la Figura 34, y en el diseño de la función Lambda se genera un nuevo disparador del API Gateway.

Figura 34

Función POST



Para probar el método se selecciona la opción de cliente, en donde para obtener una respuesta de tipo JSON se requiere un cuerpo de solicitud que especifique el rango de fechas a las que se desea acceder, en caso de que se realice una solicitud exitosa se obtiene un *Status 200* y el *Response Body* como se indica en la Figura 35a. Del mismo modo que fue implementado el método POST se despliega el método GET y como resultado se obtiene una respuesta de tipo JSON como se muestra en la Figura 35b.

Figura 35

Test del método POST y GET

a) Ejecución de método /datos - POST - Prueba de método

Realice una llamada de prueba a su método con la entrada proporcionada

Ruta
No hay ningún parámetro de ruta para este recurso. Puede definir los parámetros de ruta mediante la sintaxis **{myPathParam}** en una ruta de recursos.

Solicitud: /datos
Estado: 200
Latencia: 1293 ms
Cuerpo de respuesta

Cadenas de consulta
(datos)
param1=value1¶m2=value2

Encabezados
(datos)
Utilice dos puntos (:) para separar el nombre y el valor del encabezado, y líneas nuevas para declarar varios encabezados; por ejemplo, Accept:application/json.

Variables de etapa
No hay ninguna [Variable de etapa](#) para este

```
{
  "statusCode": 200,
  "body": [
    {
      "payload": {
        "time": "1601309064",
        "lng": "-78.515209",
        "device": "4D635B",
        "lat": "-0.245993"
      },
      "deviceId": "4D635B$",
      "timestamp": "1601309064$"
    }
  ],
  {
    "payload": {
      "time": "1601309088",
      "lng": "-78.47024",
      "lat": "-0.245993"
    }
  }
}
```

b) Ejecución de método /datos - GET - Prueba de método

Realice una llamada de prueba a su método con la entrada proporcionada

Ruta
No hay ningún parámetro de ruta para este recurso. Puede definir los parámetros de ruta mediante la sintaxis **{myPathParam}** en una ruta de recursos.

Solicitud: /datos
Estado: 200
Latencia: 424 ms
Cuerpo de respuesta

Cadenas de consulta
(datos)
param1=value1¶m2=value2

Encabezados
(datos)
Utilice dos puntos (:) para separar el nombre y el valor del encabezado, y líneas nuevas para declarar varios encabezados; por ejemplo, Accept:application/json.

Variables de etapa
No hay ninguna [Variable de etapa](#) para este

```
{
  "statusCode": 200,
  "body": [
    {
      "payload": {
        "time": "1601309064",
        "lng": "-78.515209",
        "device": "4D635B",
        "lat": "-0.245993"
      },
      "deviceId": "4D635B$",
      "timestamp": "1601309064$"
    }
  ],
  "headers": {
    "Access-Control-Allow-Origin": "*"
  }
}
```

a)

b)

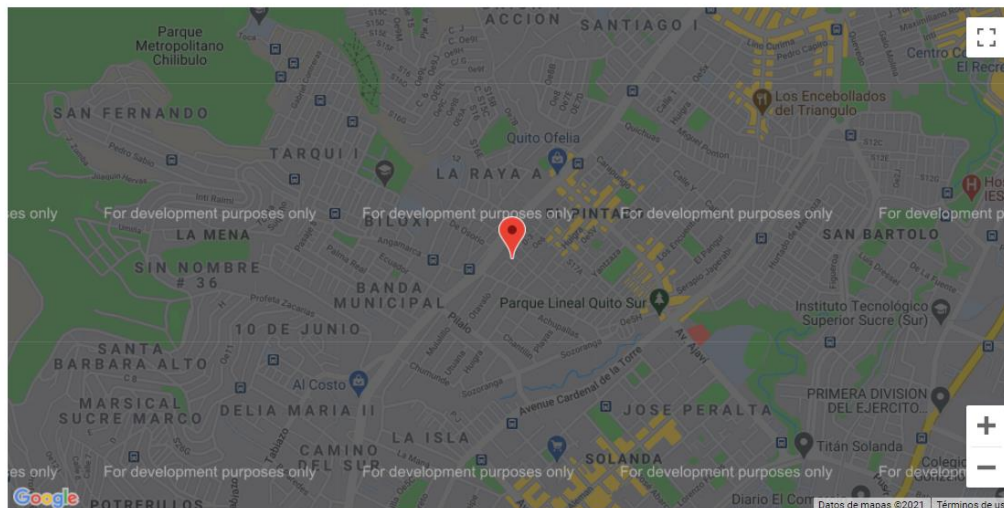
Rutas. En la página web se tiene la opción de Rutas que permite el acceso a la localización de la unidad de transporte mediante la visualización en un mapa, para lo cual es necesario crear una API JavaScript de Google Maps que genera una clave de autenticación para ser añadida dentro de un script del archivo HTML, como se muestra en las siguientes líneas de código:

```
<script
src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=AIzaSyBYqfWhi3ltpP2Gqn
0EkJBXjhjh4IMGTOE"></script>
```

La ubicación es adquirida de la base de datos al emplear el método GET detallado en la sección 3.3.1.2, con lo cual se obtiene la geolocalización para ser visualizada en el mapa como se presenta en la Figura 36

Figura 36

Visualización de las coordenadas con el prototipo



Actualizar

Reportes. Los reportes se presentan de acuerdo al dispositivo seleccionado y la fecha en la que se desee realizar la consulta, para así visualizar los datos en una tabla que se pueda exportar a un documento de Excel, como se muestran en las Figuras 37 y 38.

Figura 37

Visualización del dispositivo y de la fecha para la consulta

UNIDADES

Unidades

Unidad 1 ▾

Fecha de inicio

Seleccione la fecha: 01/02/2021 📅

Fecha final

Seleccione la fecha : 02/02/2021 📅

Figura 38

Visualización de los datos

Reporte Final

Fecha	Parada	Hora Fija	Hora Real	Comparacion
2/25/2021	Parada 1	13:30:34	13:30:44	10
2/25/2021	Parada 2	13:30:34	13:31:09	35
2/25/2021	Parada 3	13:31:34	13:31:55	21
2/25/2021	Parada 4	13:31:34	13:32:17	43
2/25/2021	Parada 6	13:32:28	13:32:37	9
2/25/2021	Parada 7	13:32:28	13:32:59	31
2/25/2021	Parada 8	13:33:07	13:33:25	18
2/25/2021	Parada 9	13:33:07	13:33:48	41

Aplicación para niños

Para la visualización de los datos de localización para el rastreo de niños se ha optado por una aplicación móvil, esta aplicación es realizada en el software libre llamado Android Studio.

Aplicación Móvil

El diseño consta de un menú lateral deslizante, que tiene varias opciones de geolocalización y una opción especial para llamar directamente. Los permisos que se muestran a continuación son los necesarios para que la aplicación tenga permitido una conexión a Internet y realizar una llamada. Estos permisos son añadidos en el archivo AndroidManifest.xml.

```
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
<uses-permission android:name="android.permission.CALL_PHONE"
/>
```


Además de estos permisos es necesario realizar la creación de un API para Google Maps ya que los datos obtenidos son visualizados mediante el mapa de Google. En la consola de Google es necesario crear un proyecto para poder acceder a los servicios y credenciales para la creación de la clave API, la misma que se agrega en el archivo de Android Studio para habilitar la visualización del mapa.

```
<string name="google_maps_key" templateMergeStrategy="preserve"
translatable="false">AIzaSyBwUZdk4zTLQIwzyIAxqiyGFQ1qcnHKhGs</string>
```

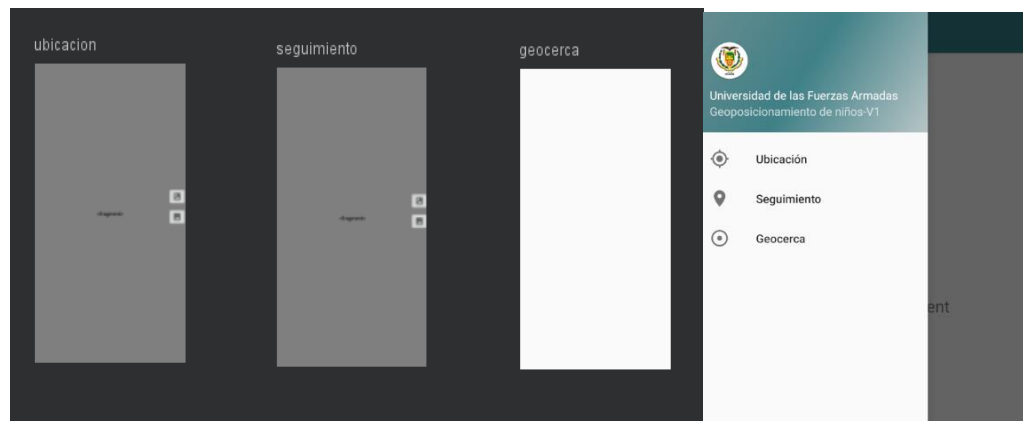
Adicionalmente se necesita agregar el nombre del paquete y los certificados para obtener un correcto funcionamiento en la aplicación.

Interfaz. La navegación utilizada en esta aplicación permite el uso de clases que tienen métodos estáticos que permiten la navegación mediante un menú desplegable. Ya que para las diferentes ventanas se utiliza el mapa proporcionado por Google, se crea un fragmento como se muestra en la Figura 39 con las siguientes opciones que serán detalladas en las próximas secciones:

- Ubicación
- Seguimiento
- Geocerca

Figura 39

Ventana de navegación de la aplicación del rastreo de niños



Acceso a la Base de Datos. La clase *DatabaseAccess* contiene todos los métodos necesarios para interactuar con la tabla de DynamoDB, en primer lugar, se declaran las constantes para el *ID Pool*, la región y el nombre de la tabla a la que se desea acceder.

```
private static final String COGNITO_POOL_ID = "us-east-1:3971d9ac-d560-4c
private static final Regions MY_REGION = Regions.US_EAST_1;
private final String DYNAMODB_TABLE = "sigfox";
```

Con las siguientes sentencias se crea un proveedor de credenciales de tipo *Client*, además se declara un objeto de la base de datos que crea un *CredentialsProvider* que utiliza los valores constantes del *ID Pool* de identidad y la región que tiene las credenciales para acceder a cualquier servicio de AWS. Además, se instancia un *AmazonDynamoDBClient* para asignar al usuario un rol que controla los recursos a los que pueden acceder y las acciones a las que pueden o no realizar en ese recurso ya que los usuarios de la aplicación no tienen que iniciar sesión, se le asigna a

un rol no autenticado, luego se establece la región y finalmente se crea el objeto *dbTable*.

```
credentialsProvider = new CognitoCachingCredentialsProvider (context,
COGNITO_POOL_ID, MY_REGION);
dbClient = new AmazonDynamoDBClient(credentialsProvider);
dbClient.setRegion(Region.getRegion(Regions.US_EAST_1));
dbTable = Table.loadTable(dbClient, DYNAMODB_TABLE);
```

Se utiliza el método *getInstance* para la creación de un objeto de acceso a la base de datos de tipo *singleton*, esto asegura que siempre se use la misma instancia de acceso a la base de datos de modo que se proporcione un fácil acceso a la instancia única. Se sincroniza el objeto para que solo un hilo que es una secuencia de código en ejecución dentro de un proceso pueda ejecutar la instancia que permita un acceso coordinado a un determinado recurso o método de la clase de acceso.

```
public static synchronized DatabaseAccess getInstance(Context context)
{
    instance = new DatabaseAccess(context);}
return instance;}
```

Con las siguientes líneas de código se configura la consulta de la tabla de la base de datos, se crea un objeto *QueryOperationConfig* en donde se especifica la clave de partición y que se lea en orden ascendente los datos de la tabla, además que únicamente se retorne el último valor almacenado.

```
QueryOperationConfig query = new QueryOperationConfig(){
```

```

@Override
public QueryOperationConfig withLimit(int limit) {
    return super.withLimit(limit);}};

query.withBackwardSearch(true);

query.withLimit();

dbTable.query(query);

return dbTable.query(new Primitive(" ")).getAllResults();

```

Cada cierto intervalo de tiempo se ejecuta una tarea asíncrona que llama al método *getdata* de la clase *DatabaseAccess*, el resultado de la operación se procesa en el método *onPostExecute* de la tarea asíncrona de modo que se pueda actualizar los datos de la interfaz del usuario.

Con la tarea asíncrona *GetAllItemsAsyncTask* se obtiene una instancia de la clase de acceso a la base de datos y luego se llama al método de obtención de datos, se adjunta la llamada en una declaración *try-catch*, de modo que cualquier excepción que se produzca sea capturada en el método *doInBackground*.

```

private class GetAllItemsAsyncTask extends AsyncTask<Void, Void, List
<Document>> implements
com.example.tesis_primeaparte.GetAllItemsAsyncTask {
    protected List<Document> doInBackground(Void... params) {
        try{context = getActivity().getApplicationContext();
            databaseAccess = DatabaseAccess.getInstance(context);
            resultado = databaseAccess.getdata();
        } catch (Exception e) {e.printStackTrace();}
        return resultado;}

    protected void onPostExecute(List<Document> documents) {

```

```
try {obtenerdatos(documents);} catch (IOException e) {
    e.printStackTrace();}
```

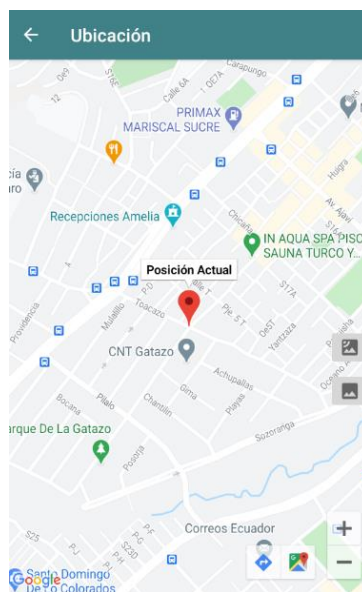
Los datos recuperados de la base de datos se encuentran en forma de un objeto de tipo *Document* al cual se le convierte a cada uno de sus elementos en objetos *DynamoDBEntry* para manipular sus valores dentro de la aplicación.

```
Document datos = lista.get();
DynamoDBEntry latdb = payloaddocument.get("lat");
latitud = latdb.convertToAttributeValue().getS();
```

Ubicación. Mediante esta opción se pueden visualizar los datos en un mapa de Google mediante un marcador como se muestra en la Figura 40, como ya fue explicado en la sección anterior la información de la latitud y longitud es obtenida de la clase *DatabaseAccess* cada cierto intervalo de tiempo.

Figura 40

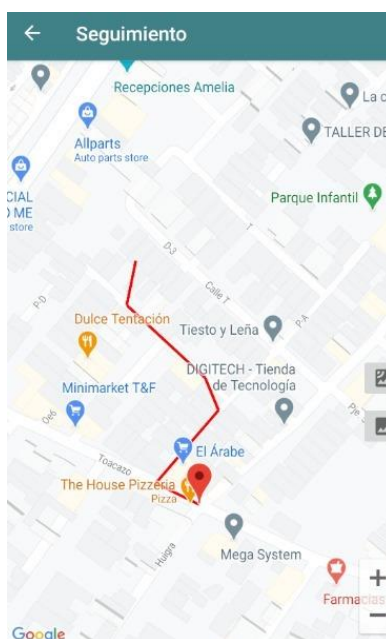
Ventana de ubicación de la aplicación del rastreo de niños



Seguimiento. La ventana de seguimiento al igual que la de ubicación permite la visualización de las coordenadas en un mapa, pero adicionalmente permite ver la ruta recorrida por el dispositivo como se muestra en la Figura 41, mediante la siguiente función *addPolyline* se puede graficar la ruta al adquirir las coordenadas previas y la actual para su visualización.

Figura 41

Ventana de seguimiento de la aplicación del rastreo de niños

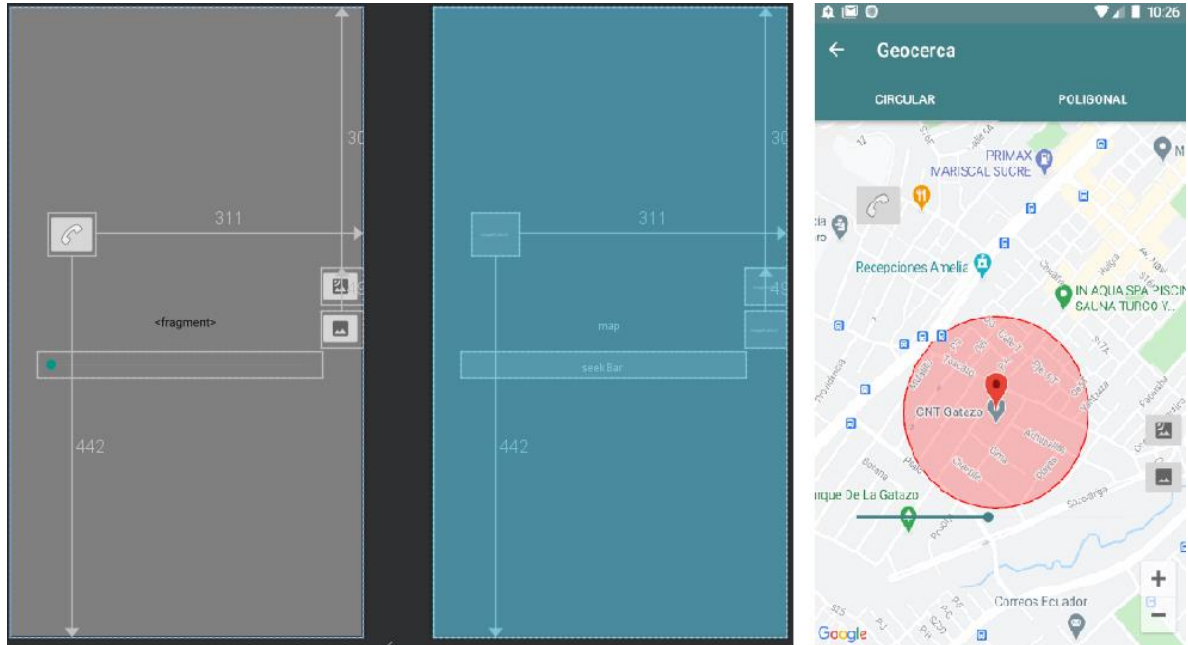


Geocercas. Se han establecido dos tipos de geocercas de acuerdo a su forma, pueden ser de tipo circular o poligonal. En el caso de la geocerca circular se establece tanto el punto central como el radio que tiene la geocerca tal como se presenta en la Figura 42. Para obtener el valor del radio se declara un objeto de tipo *DiscreteSeekBar* al cual se configura de manera que siempre se encuentre a la escucha de un nuevo

posible valor y este sea almacenado, en las siguientes sentencias se detalla dicha configuración.

Figura 42

Geocerca circular



```

DiscreteSeekBar s = (DiscreteSeekBar) root.findViewById(R.id.seekBar);
s.setOnProgressChangeListener(new
DiscreteSeekBar.OnProgressChangeListener()
public void onProgressChanged(DiscreteSeekBar seekBar, int value,
boolean public void onStartTrackingTouch(DiscreteSeekBar seekBar) {}
public void onStopTrackingTouch(DiscreteSeekBar seekBar) {
Toast.makeText(getContext(), "Radio de "+seekBar.getProgress()
GEOFENCE_RADIUS=seekBar.getProgress());

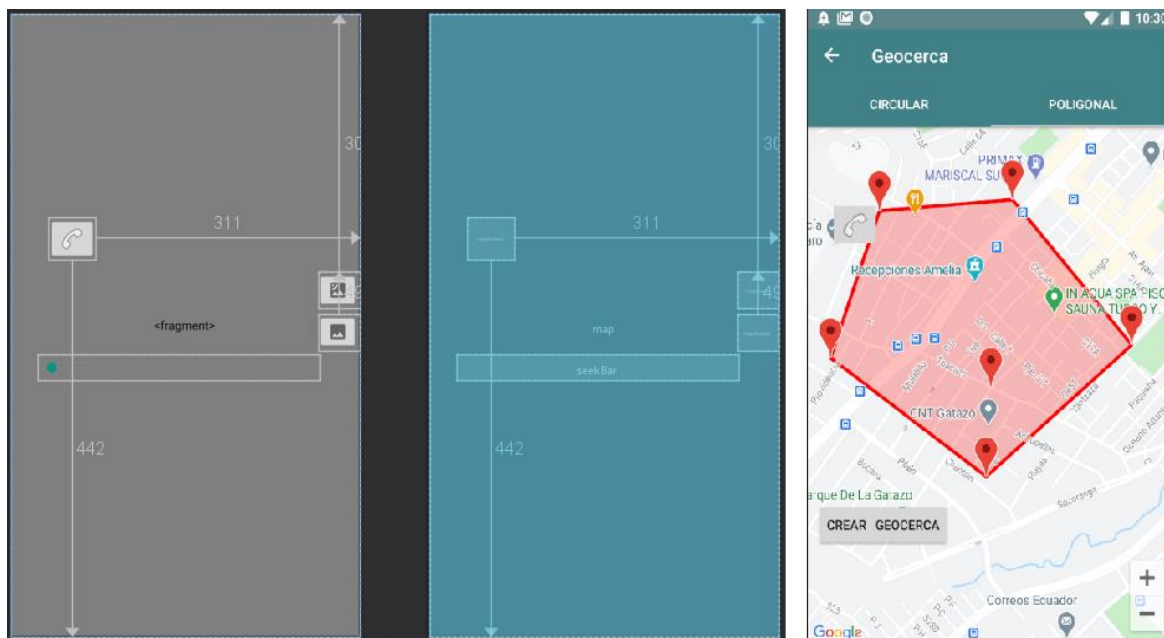
```

Para establecer el punto central se hace uso del método *onMapLongClick* que extrae y almacena las coordenadas seleccionadas y se despliega un indicador *Marker*, una vez establecidos estos valores la geocerca puede ser visualizada y entra en funcionamiento. Para determinar si el niño se encuentra dentro de la geocerca primero se obtiene su posición actual mediante la llamada a un método asíncrono como se detalló en la sección anterior, una vez obtenida esta información se realiza una comparación entre el radio y la distancia existente entre la posición del niño y el centro de la geocerca, en caso de que el radio sea menor a la distancia se da inicio a la notificación. En las siguientes sentencias se establece lo anteriormente detallado.

```
if(disResultado[0] > GEOFENCE_RADIUS){
createNotificacion();
createNotificacionChannel();} else {
Toast.makeText(getContext(),"Esta dentro de la geocerca",}
```

Figura 43

Geocerca Poligonal



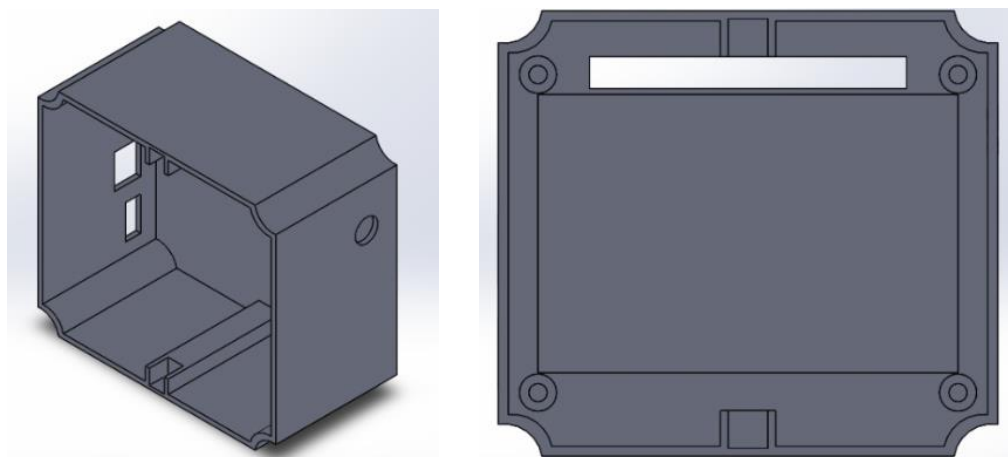
En la geocerca poligonal para el ingreso de los puntos que determinarán la forma de la geocerca se emplea el método *onMapLongClick* y una vez que se hayan establecidos todos los puntos se crea la geocerca como se muestra en la Figura 43 y para determinar si el niño se encuentra dentro o fuera de la misma se realiza el mismo proceso empleado en la geocerca circular.

Implementación

Para la implementación se han considerado los puertos de entrada y salida de las placas de desarrollo, así como los elementos de conexión como la antena de Sigfox para las dimensiones y diseño de la misma. La carcasa diseñada tiene como dimensiones un ancho de 5.7 cm, de largo de 6.4 cm y una profundidad de 3.7 cm y se realizó en el software SolidWorks para su posterior impresión en 3D con el uso de filamentos de plástico. En la Figura 44 se presenta el diseño de la carcasa con las consideraciones anteriormente mencionadas.

Figura 44

Diseño de la carcasa en Solid Works



El prototipo colocado en la carcasa se muestra en la Figura 45:

Figura 45

Prototipo de implementación para el trabajo de investigación



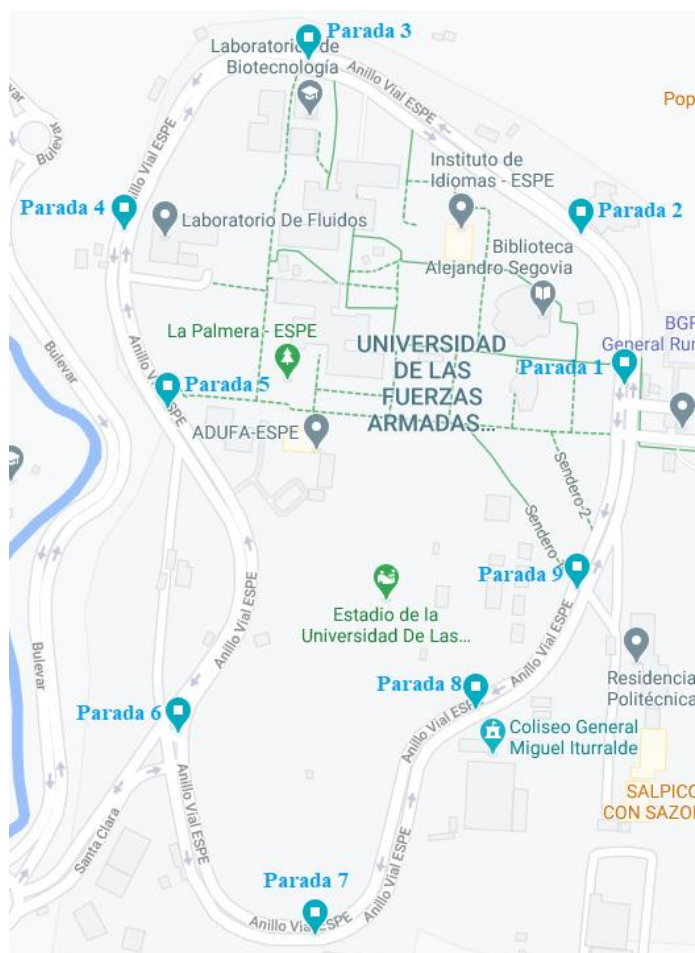
Paradas Inteligentes

Para la implementación en las paradas inteligentes se tiene establecido que se va a definir dos tipos de escenarios. El primer escenario es realizar las pruebas dentro del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y el segundo escenario se considera el tramo Amaguaña-La Marín

Implementación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Se han establecido 9 paradas como puntos estratégicos dentro del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, como se detalla en la Tabla 13 y se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Paradas en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

**Tabla 13**

Coordenadas de las paradas establecidas en el anillo vial

	Descripción	Latitud	Longitud
Parada 1	Ingreso a la universidad	-0.34447222	-78.44308333
Parada 2	Biblioteca Alejandro Segovia	-0.31325	-78.44344444
Parada 3	Laboratorios de Electrónica	-0.31183333	-78.44566667
Parada 4	Laboratorio de Fluidos	-0.31322222	-78.44716667

	Descripción	Latitud	Longitud
Parada 5	Laboratorio de	-0.31466667	-78.44680556
Parada 6	Centro de Postgrados	-0.31730556	-78.44672222
Parada 7	CICTE	-0.31894444	-78.44561111
Parada 8	Coliseo General Miguel Iturralde	0.31711111	-78.44430556
Parada 9	Ingreso a las residencias	-0.31613889	-78.44347222

Nota. La tabla muestra las coordenadas adquiridas con el GPSMAP 60CSx pertenecientes a las paradas establecidas en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Implementación en el tramo Amaguaña – La Marín. Para la ruta desde Amaguaña al playón de la Marín se ha realizado un acercamiento con la Compañía Libertadores del Valle S.A. mediante la cual se obtuvieron los puntos de control a ser implementados y que se encuentran detallados en la Tabla 14, además para tener una monitorización más detallada se añadieron dos puntos de control : Puente 2 y Puente 8.

Tabla 14

Coordenadas de las paradas en la Ruta Amaguaña – La Marín

	Descripción	Latitud	Longitud
Parada 1	La Marín	-0.229871	-78.506541
Parada 2	Puente 2	-0.254289	-78.483780
Parada 3	Puente 8	-0.281722	-78.471095
Parada 4	Iglesia de Conocoto (La Ganga)	-0.291512	-78.477204

	Descripción	Latitud	Longitud
Parada 5	San Lorenzo	-0.3213056	-78.48625
Parada 6	Las palmas	-0.33125	-78.4809445
Parada 7	Av. Huancavilca (La foto)	-0.3408056	-78.48405556
Parada 8	Iglesia de Amaguaña	-0.375560	-78.506098
Parada 9	Amaguaña(El Ejido)	-0.384819	-78.511072

Nota. La tabla muestra las coordenadas adquiridas con el GPSMAP 60CSx pertenecientes a los puntos de control en la ruta Amaguaña – La Marín.

Rastreo de niños

Para la implementación del prototipo de rastreo de niños se estableció como escenario la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el objetivo de realizar pruebas de campo para determinar la eficiencia del prototipo. Con el fin de definir el tiempo de muestreo del prototipo, se estima que la hora promedio en la que un menor de edad sale de su hogar a su institución educativa es a las 6:00 a.m. y el retorno a su hogar es a las 14:00 p.m. (El Comercio, 2014); con lo que se obtiene un rango de 8 horas en las que el niño debe ser monitorizado. Al tener disponibles 140 mensajes al día en la red de Sigfox y con el rango de 8 horas anteriormente mencionadas, se tiene que el tiempo de envío de mensajes es cada 3 minutos con 30 segundos.

Además, para el apartado de las geocercas se ha desarrollado un protocolo de actuación en caso de que el menor salga de la geocerca establecida; el protocolo mencionado se detalla a continuación.

Protocolo. Hace referencia al procedimiento a seguir por parte del tutor del niño, niña o adolescente al momento de recibir una notificación de que ha cruzado la geocerca definida en el aplicativo móvil.

1. Una vez que se recibe la notificación se debe verificar el estado del niño mediante una llamada a la institución educativa para que su personal lo localice.
2. La Unidad Educativa hará uso del intercomunicador para verificar la última ubicación conocida del estudiante.
3. El personal de la institución disponible revisará los baños, salones de clases, laboratorios, canchas y áreas cercanas de la institución.

Nota: En caso de que el personal de la institución note algún indicador de que el menor ha sido secuestrado se deberá notificar de manera inmediata al ECU911

4. En caso de no ser localizado el niño, se debe evaluar el riesgo de la situación antes de comunicarse directamente con el ECU911 o a la Policía Nacional. De acuerdo a la Fiscalía General del Estado no es necesario que transcurran 24 horas para reportar que el menor de edad se encuentra desaparecido. Para reportar a las autoridades competentes se debe considerar lo establecido en la resolución N° 160-2012 del Consejo de la Judicatura en el cual se establece el proceso de actuación en las siguientes tres etapas:
 - Presentación de la denuncia.
 - Recolección de la información.
 - Alertar y coordinar con las dependencias públicas y privadas.
5. Si el niño es localizado antes de la llegada de la Policía Nacional, se debe informar a la policía y seguir los procedimientos de la unidad educativa.

Capítulo IV

Pruebas de implementación y Análisis de Resultados

Las pruebas realizadas en el presente proyecto de investigación dependen de las muestras que se adquieran de la población, al no tener conocimiento de la población con la que se va a trabajar se considera una población infinita, se considera como evento a la adquisición y envío de la geolocalización y para conocer el tamaño de la muestra se aplica la siguiente fórmula (Gallego, 2004):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{E^2}$$

Donde:

n : tamaño de la muestra

Z : nivel de confianza

p : posibilidad de ocurrencia de un evento

q : posibilidad de no ocurrencia de un evento, $q = 1 - p$

E : error de estimación

Se utilizó un nivel de confianza del 95% que corresponde a la desviación estándar de 1.96, de acuerdo a (De León, Vázquez, Flores Jiménez, Hernández Torres, Resendiz Torres, & Yañez Martínez, 2015) en el caso de no tener estudios previos a la investigación se debe considerar que la posibilidad de ocurrencia de un evento sea del 0.5 complementaria a la no ocurrencia del evento y un error de estimación del 5%; lo que conlleva a tener el siguiente tamaño de muestra:

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2} = 384.16$$

Precisión

Con el objetivo de obtener las medidas de precisión, las pruebas se realizaron en un punto fijo durante 3 días con un tiempo de muestreo de 30 segundos, en los primeros dos días se obtuvieron 140 mensajes por día y en el tercer día los restantes 104.

La probabilidad de error circular (CEP, del inglés *Circular Error Probability*) es una medida empleada para definir la precisión de un receptor de los Sistemas de Posicionamiento Global, y se define como el radio del círculo que contiene alrededor del 50% de los datos de localización emitidos por un receptor GPS. El valor de CEP es definido por:

$$CEP = 0.59 \times (\sigma_x + \sigma_y). (1)$$

Donde:

σ_x : desviación en longitud

σ_y : desviación en latitud

Adicionalmente se adquiere otra medida de precisión denominada error cuadrático medio de la raíz de dos veces la distancia (2DRMS, del inglés *Twice Distance Root Mean Square Error*) que a diferencia de CEP tiene el 95% de probabilidad y se la define como:

$$2DRMS = 2 \times \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}. (2)$$

Se emplea la desviación estándar para calcular el valor de CEP y 2DRMS con las siguientes fórmulas. La media es calculada mediante:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}, (3)$$

donde \bar{x} es la media de un conjunto de datos y n es el número de datos. La desviación estándar σ es calculada de la siguiente manera:

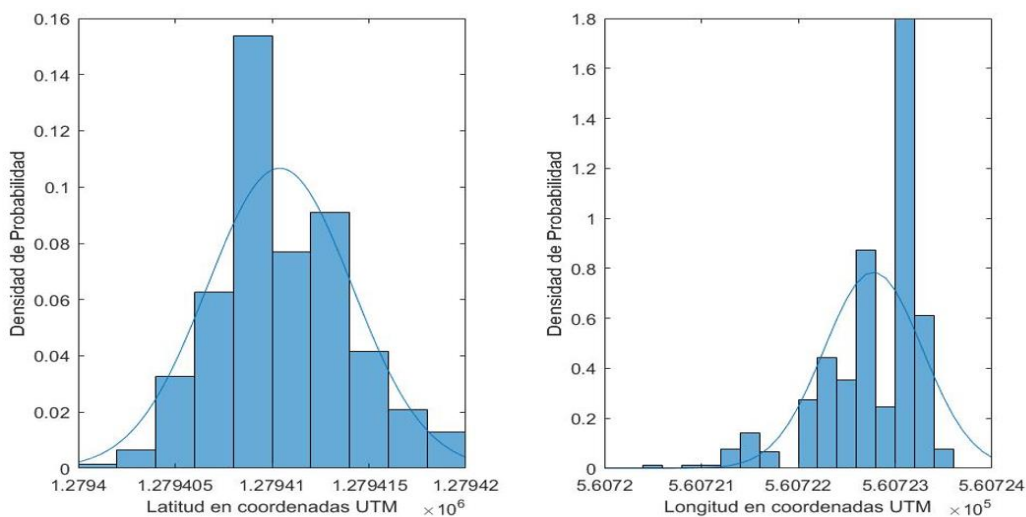
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, (4)$$

de donde x_i representa la diferencia entre el valor de las coordenadas y su respectiva media (Fallas, 2002) (García, Mercurio, Noveloso, & Reyes, 2019).

Para el análisis de los datos adquiridos se transformó las mediciones al sistema de coordenadas transversal de Mercator (UTM, del inglés *Universal Transverse Mercator*), donde las coordenadas son expresadas en metros, con lo que se obtiene la densidad de probabilidad tanto de la latitud y longitud como se presenta en la Figura 47.

Figura 47

Densidad de probabilidad de la latitud y longitud en coordenadas UTM



En la Figura 48 se presenta el anillo CEP y 2DRMS de las mediciones realizadas y en la Tabla 15 se muestra un resumen de los valores obtenidos para el cálculo de

estos datos, de lo que se obtiene que el 50% de las muestras se encuentran a 4.24 m de la ubicación real y el 95% de las muestras se encuentran a 7.82 m de la ubicación real con referencia al GPSMAP Garmin 60CSx.

Figura 48

Representación del CEP y 2DRMS

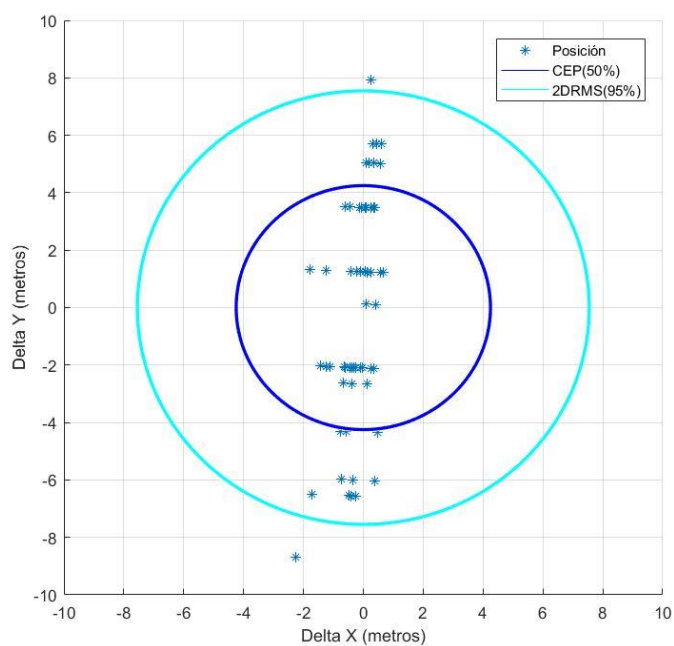


Tabla 15

Valores obtenidos para el cálculo del CEP y 2DRMS.

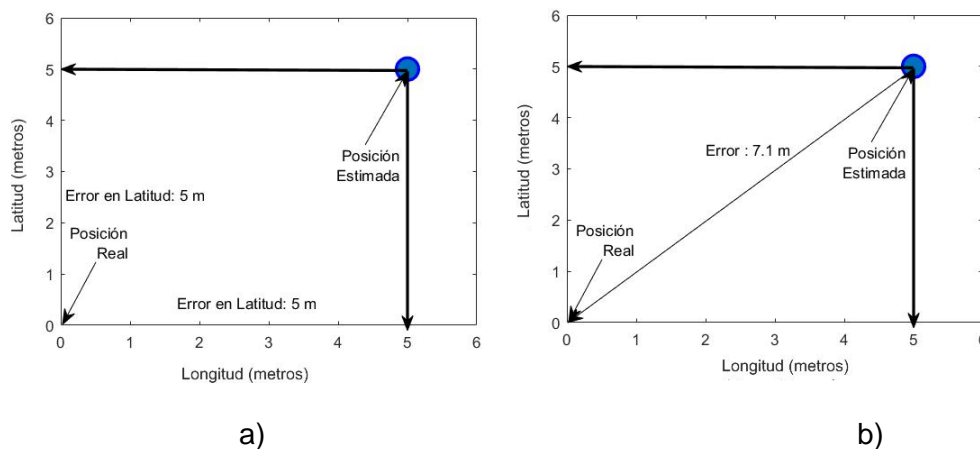
Descripción	Valor
Desviación de Longitud	0.5080 m
Media de Longitud	$5.607227747462135 \times 10^5$
Desviación de Latitud	3.7393 m
Media de Latitud	$1.279410401946191 \times 10^6$
CEP(50%)	4.2473 m
2DRMS(95%)	7.8218 m

Exactitud

Con el objetivo de obtener las medidas de exactitud se toma como referencia al Estándar Nacional para la Exactitud de Datos Espaciales (NSSDA, del inglés *The National Standard for Spatial Data Accuracy*), que permite la implementación de un tipo de metodología para estimar la exactitud posicional mediante el error cuadrático medio (RMSE, del inglés *Root Mean Square Error*) con un nivel de confianza del 95%. Además, se tienen dos tipos de estimaciones de errores: el error horizontal y el error radial como se presenta en la Figura 49.

Figura 49

Estimación de Error



Nota. a) Estimación del error horizontal latitud y longitud b) Estimación del error radial

Para calcular la exactitud horizontal se aplican las siguientes fórmulas:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(x_{data_i} - x_{check_i})^2}{n}}, (5)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (y_{data_i} - y_{check_i})^2}{n}}, (6)$$

donde:

x_{data_i}, y_{data_i} : Son las coordenadas del prototipo

x_{check_i}, y_{check_i} : Son las coordenadas del GPSMAPS Garmin 60CSx

n : Son el número de muestras

i : Es el rango desde 1 hasta n

De igual manera para el cálculo del error radial en el punto de evaluación es definido de la siguiente manera:

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}. (7)$$

De acuerdo con el NSSDA se tiene dos casos. El primer caso se basa en que si el $RMSE_x = RMSE_y$, entonces el error cuadrático medio horizontal es definido por:

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y, (8)$$

mientras que la exactitud se encuentra definida con un nivel de confianza del 95 % por:

$$Exactitud = 1.7308 \times RMSE_r. (9)$$

El segundo caso se basa en que si los valores son $RMSE_x \neq RMSE_y$, se define mediante:

$$Exactitud = 2.447 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y). (10)$$

Estática

En este escenario se han adquirido 384 muestras en el campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para el intervalo de tiempo de muestreo se ha considerado lo expuesto en (California Department of Transportation, 2006), en donde se establece que para procedimientos estáticos se debe considerar un período de 2 a 10 minutos, por lo que se ha establecido un tiempo de muestreo de 2 minutos. En la Figura 50 se presenta la densidad de probabilidad de la distancia existente correspondiente a la latitud del punto medido con respecto al GPSMAPS Garmin 60CSx y como resultados se obtiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 10.0059 m. En la Figura 51 se presenta la densidad de probabilidad con respecto a la longitud y se tiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 2.7582 m.

Figura 50

Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario estático

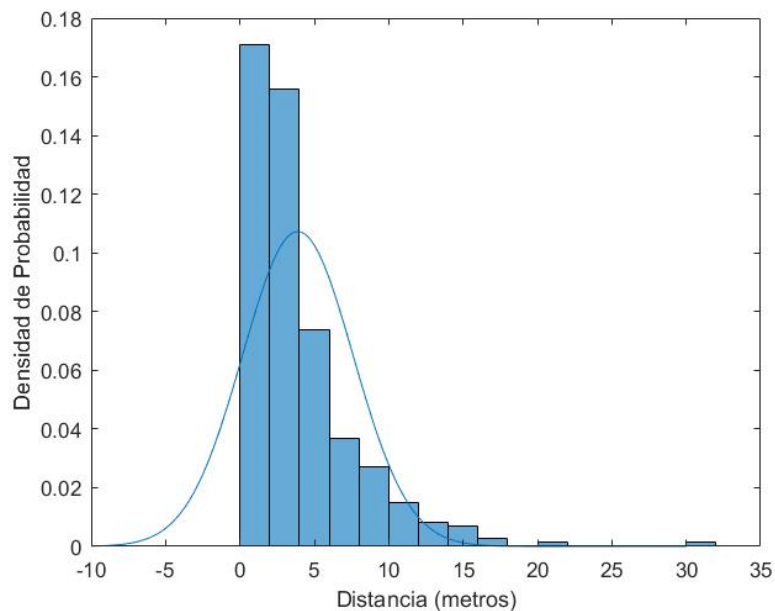
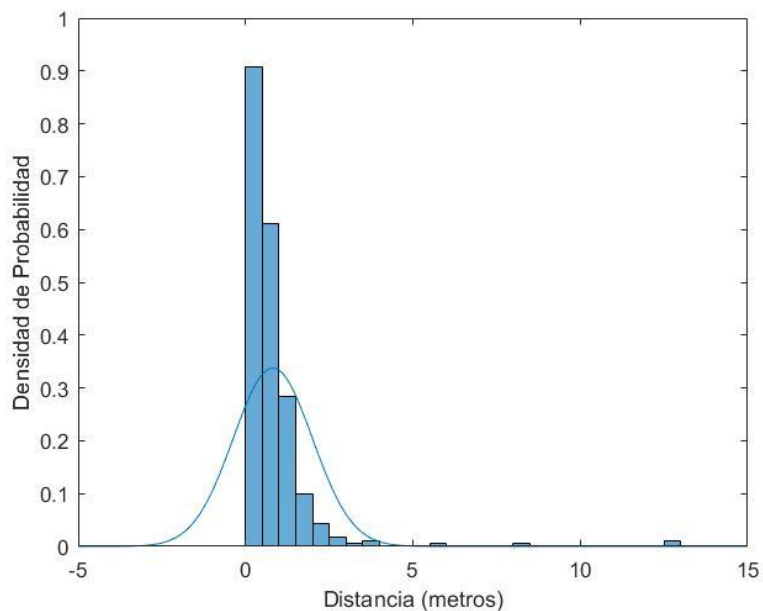


Figura 51

Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario estático



Al realizar una comparativa con las características dadas en la hoja de especificaciones del módulo Quactel L76-L, en donde bajo un sistema de exteriores en un escenario estático el módulo tiene una exactitud de posición horizontal CEP menor a 2.5 m, mientras que, con las mediciones realizadas con el prototipo se obtuvo una exactitud de posición horizontal CEP menor a 2.8912 m, de acuerdo a esto se concluye que el prototipo reduce su exactitud en un 15% respecto a la hoja de especificaciones.

La calidad del enlace en la red Sigfox está determinado 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 16, los parámetros que se especifican corresponden a la configuración de la red de radio de las zonas RC2 y RC4.

Tabla 16*Calidad del enlace y valores del RSSI para Sigfox*

RSSI	Número de estaciones base	Calidad del enlace
-144dBm < RSSI	3	Excelente
-127dBm < RSSI ≤ -114dBm	3	Bueno
-114 < RSSI	1 o 2	Bueno
-127dBm < RSSI ≤ -114dBm	1 o 2	Promedio
RSSI ≤ -127	Alguna	Límite

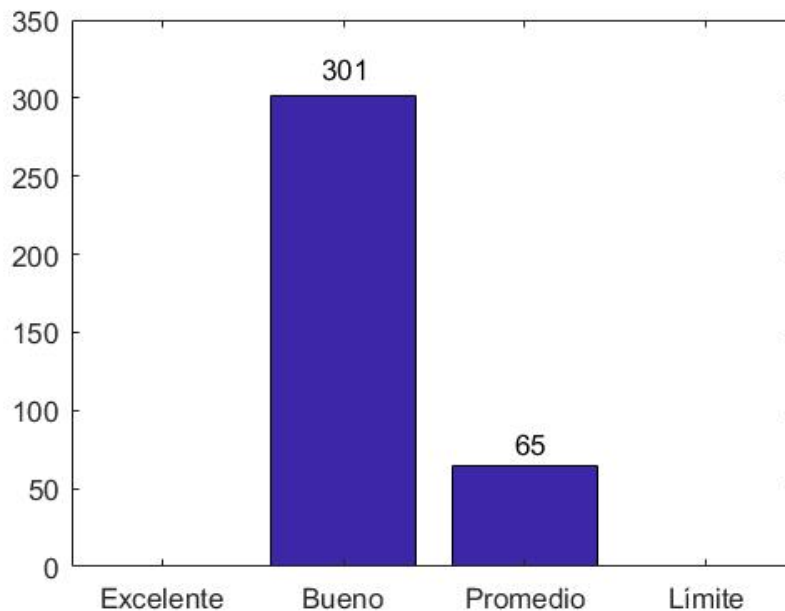
Mediante este enfoque se tiene que, en el escenario estático el prototipo se conectó a 3 diferentes estaciones base como se detalla en la Tabla 17, además se obtiene que el 78.39% de los enlaces tuvieron una calidad del tipo buena y el 16.93% tuvieron una calidad de enlace tipo promedio tal como se muestra en la Figura 52. Se debe considerar que una de las estaciones base se encuentra ubicada en el edificio central de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 17*Estaciones utilizadas en el escenario estático*

	Identificación de la estación
Estación 1	9141
Estación 2	8F46
Estación 3	8D03

Figura 52

Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario estático

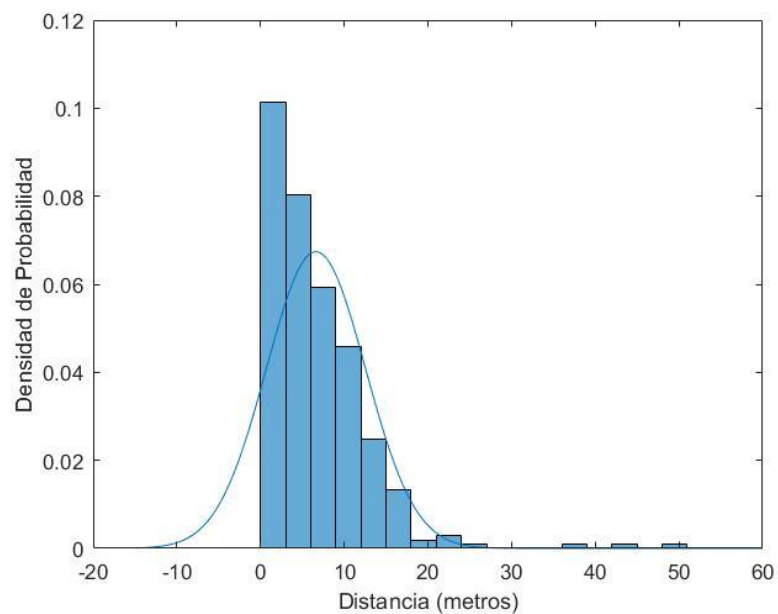


Movimiento

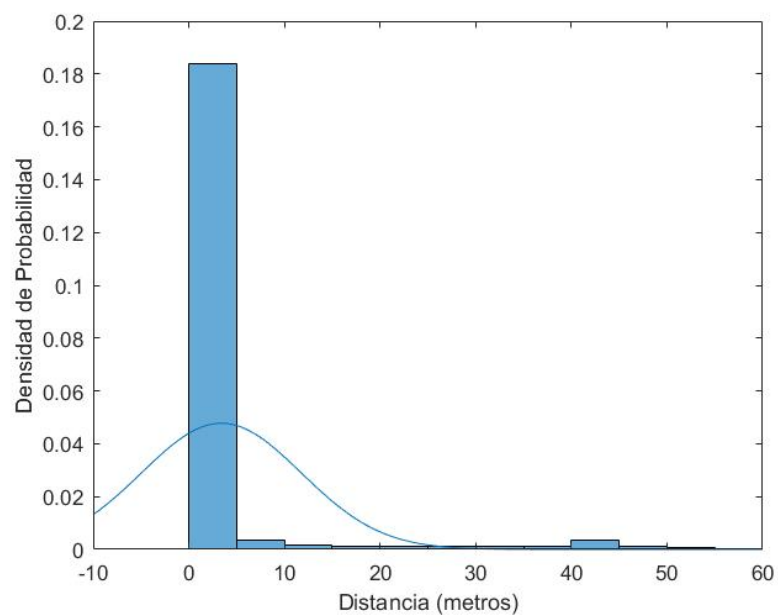
Caminando. En este escenario se han adquirido 384 muestras en el campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con un intervalo de tiempo de muestreo de 30 segundos, este tiempo de muestreo se toma como base a lo establecido en (Zhou & Flora , 2018). En la Figura 53 se presenta la densidad de probabilidad de la distancia existente correspondiente a la latitud del punto medido con respecto al GPSSMAPS Garmin 60CSx y como resultados se obtiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 16.3605 m. En la Figura 54 se presenta la densidad de probabilidad con respecto a la longitud y se tiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 17.1411 m.

Figura 53

Probabilidad de densidad en la latitud en el escenario caminando

**Figura 54**

Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario caminando



En el escenario caminando el prototipo se conectó a 2 diferentes estaciones base como se detalla en la Tabla 18 y además se obtiene que el 80.21% de los enlaces tuvieron una calidad del tipo buena y el 10.42% tuvieron una calidad de enlace tipo promedio como se presenta en la Figura 55.

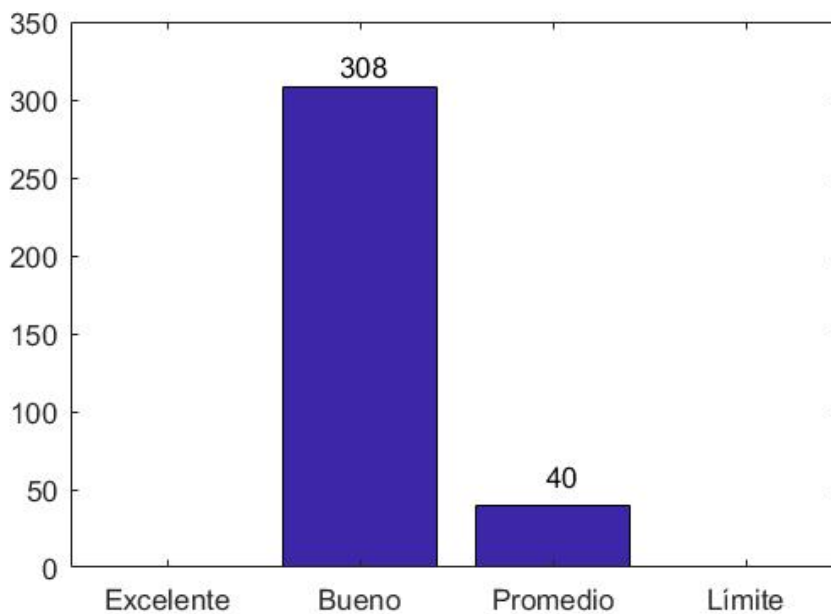
Tabla 18

Estaciones utilizadas en el escenario caminando

	Identificación de la estación
Estación 1	9141
Estación 2	8F46

Figura 55

Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario caminando



Vehicular. En este escenario se han adquirido muestras en el anillo del campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y en la ciudad de Quito en la avenida Mariscal Sucre en el sentido norte-sur hacia el terminal Quitumbe, en el sector de la Villaflora en sentido sur-norte y adicionalmente en la ruta la Marín – Amaguaña. Las mediciones se las realizó con un intervalo de tiempo de muestreo de 30 segundos, al igual que se realizó en el escenario caminando. En la Figura 56 se presenta la densidad de probabilidad de la distancia existente correspondiente a la latitud del punto medido con respecto al GPSMAPS Garmin 60CSx y como resultados se obtiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 31.3641 m. En la Figura 57 se presenta la densidad de probabilidad con respecto a la longitud y se tiene que el 95% de los datos tienen un rango de error menor o igual a 19.4216 m.

Figura 56

Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario vehicular

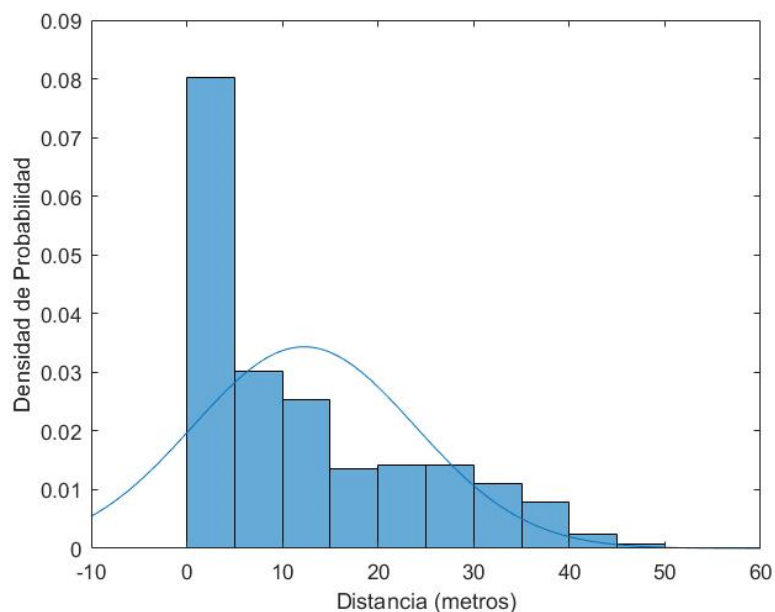
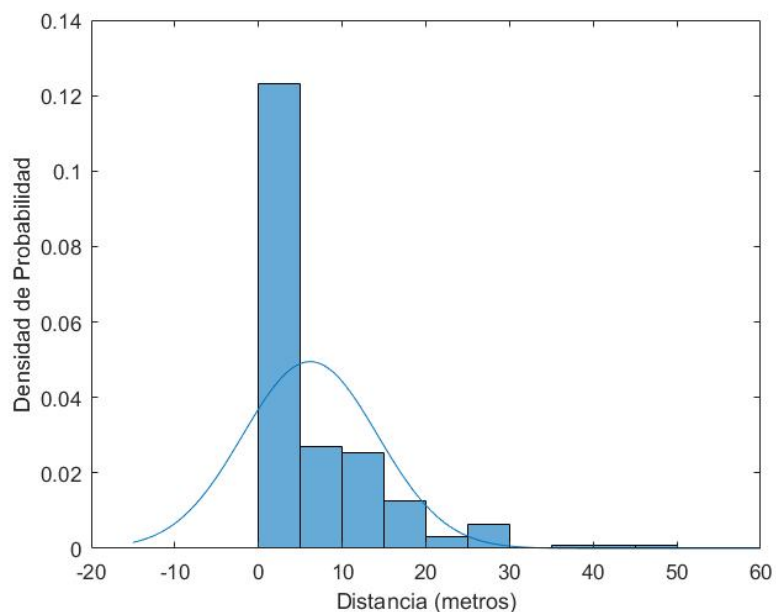


Figura 57

Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario vehicular



En el escenario de movimiento vehicular el prototipo se conectó a 7 diferentes estaciones base como se detalla en la Tabla 19, además se obtiene que el 36.49% de los enlaces tuvieron una calidad del tipo buena, el 26.30% tuvieron una calidad de enlace tipo promedio, el 2.60% tuvieron una calidad de enlace tipo límite y el 0.26 % una calidad de enlace tipo excelente como se muestra en la Figura 58.

Tabla 19

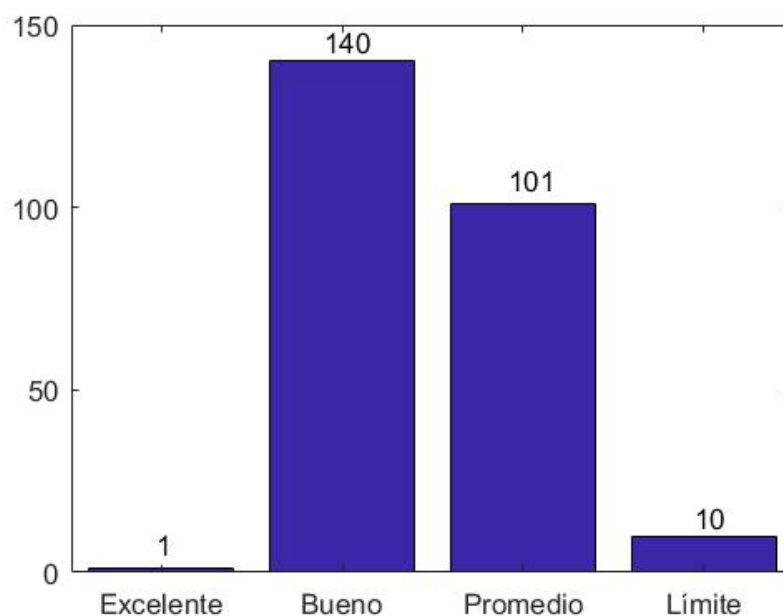
Estaciones utilizadas en el escenario vehicular

	Identificación de la estación
Estación 1	9141
Estación 2	8F46
Estación 3	8FF3
Estación 4	8EEE

	Identificación de la estación
Estación 5	9002
Estación 6	8715
Estación 7	8D03

Figura 58

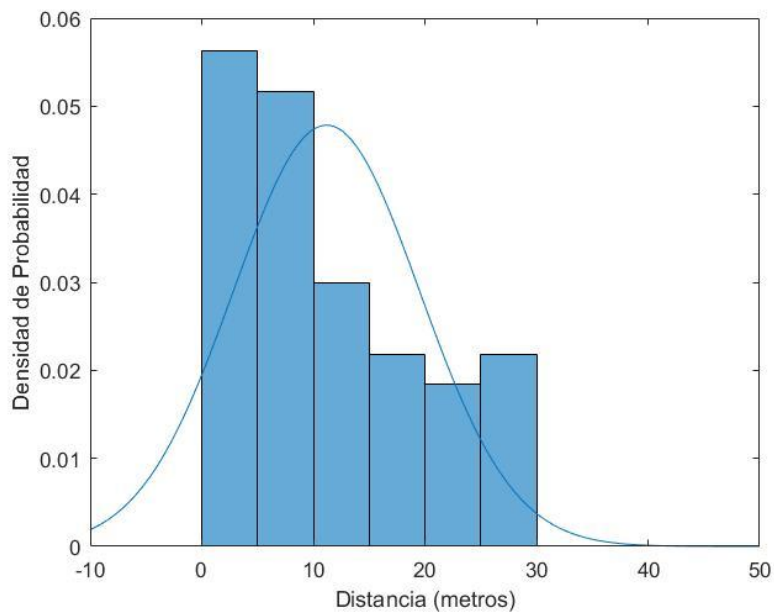
Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario vehicular



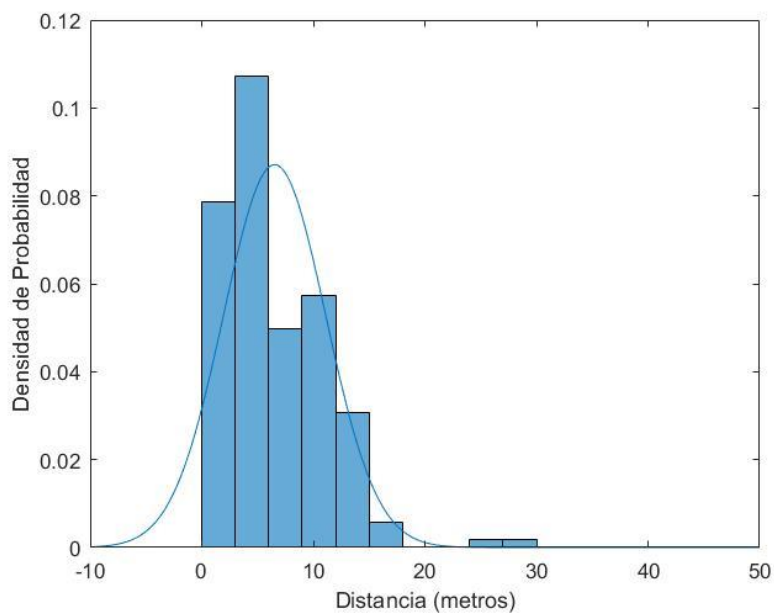
La adquisición de datos en el escenario vehicular depende de varios factores tales como la velocidad del vehículo, tráfico, factores ambientales, visibilidad de los satélites y disponibilidad de la red Sigfox. Al analizar estos factores se ha considerado un escenario controlado dentro del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con una velocidad máxima permitida de 20 km/h y se ha considerado un 50% de las muestras totales, con lo que se obtiene la densidad de probabilidad en latitud con una probabilidad del 95% que los datos tengan un error menor o igual a 24.8933 m como se presenta en la Figura 59, mientras que para la longitud se tiene un error menor o igual a 14.0622 m como se presenta en la Figura 60.

Figura 59

Probabilidad de densidad de la latitud en el escenario vehicular – anillo vial

**Figura 60**

Probabilidad de densidad de la longitud en el escenario vehicular – anillo vial



En la Tabla 20 se presenta un resumen de las medias estadísticas consideradas en los diferentes escenarios de pruebas, en donde se hace evidente que el escenario estático tiene un mayor desempeño en cada una de las métricas, a diferencia del escenario vehicular en donde el error radial incrementa en 14.1164 m y la exactitud disminuye en 24.7171 m. Además, en el escenario vehicular del anillo vial se tiene un mejor desempeño respecto al vehicular debido a que se encuentra en un escenario ideal con una velocidad promedio y disponibilidad de la red Sigfox, existe una diferencia de 3.6311 m respecto al error radial y de 6.2499 m en la exactitud. Finalmente, en el escenario estático se obtuvo un 4.69%, en el escenario caminando de 3.11% y en el vehicular de 34.8% de paquetes perdidos.

Tabla 20

Resultados obtenidos para los distintos escenarios

	Estático	Caminando	Vehicular	Vehicular anillo vial
RMSE _{longitud}	1.4339 m	9.0081 m	10.1370 m	7.9670 m
RMSE _{latitud}	5.3774 m	8.8771 m	16.8704 m	13.9337 m
RMSE _{radial}	5.5653 m	12.6471 m	19.6817 m	16.0506 m
Exactitud	8.3360 m	21.8888 m	33.0531 m	26.8032 m
$\sigma_{longitud}$	1.18167 m	8.35334 m	8.06126 m	4.58062 m
$\sigma_{latitud}$	3.71866 m	5.92058 m	12,2546 m	8.33911 m
Media longitud	0.81455 m	3.40107 m	6.16704 m	6.52776 m
Media latitud	3.8892 m	6.6220 m	12.2546 m	11.1807 m
# Paquetes Perdidos	18	35	132	20
Retardo	3.88 s	3.87 s	2.58 s	2.09 s

Pruebas de implementación de las paradas inteligentes.

Para el escenario del anillo vial se realizaron varios recorridos con el objetivo de obtener el tiempo promedio de arribo a cada una de las paradas definidas, de este modo se logró generar un reporte donde se indique la fecha y hora en la que la unidad arribo a la parada, así como también la hora establecida de modo que se realice la comparación y determinar la diferencia de la hora real y la hora fijada, como se presenta en la Figura 61.

Figura 61

Paradas en el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

UNIDADES				
Unidades				
Unidad 1 <input type="text"/>				
Fecha de inicio				
Seleccione la fecha: 09/04/2021 <input type="text"/>				
Fecha final				
Seleccione la fecha: 10/04/2021 <input type="text"/>				
Reporte Final				
Fecha	Parada	Hora Fija	Hora Real	Comparacion
4/9/2021	Parada 1	10:00:00	10:03:09	3:09
4/9/2021	Parada 2	10:00:34	10:03:55	3:21
4/9/2021	Parada 3	10:01:34	10:05:09	3:35
4/9/2021	Parada 4	10:02:28	10:06:02	3:34
4/9/2021	Parada 5	10:03:07	10:06:52	3:45
4/9/2021	Parada 6	10:04:12	10:08:12	4:00
4/9/2021	Parada 7	10:05:09	10:09:28	4:19
4/9/2021	Parada 8	10:06:08	10:10:30	4:22
4/9/2021	Parada 9	10:06:51	10:11:33	4:42
4/9/2021	Parada 1	10:40:00	10:39:29	31
4/9/2021	Parada 2	10:40:34	10:40:58	24
4/9/2021	Parada 3	10:41:34	10:42:53	1:19
4/9/2021	Parada 4	10:42:28	10:43:49	1:21
4/9/2021	Parada 5	10:43:07	10:52:45	9:38
4/9/2021	Parada 6	10:44:12	10:54:02	9:50
4/9/2021	Parada 7	11:05:09	10:55:19	9:50
4/9/2021	Parada 8	11:06:08	10:57:17	8:51
4/9/2021	Parada 2	10:40:34	10:40:58	24
4/9/2021	Parada 3	10:41:34	10:42:53	1:19
4/9/2021	Parada 4	10:42:28	10:43:49	1:21
4/9/2021	Parada 5	10:43:07	10:52:45	9:38
4/9/2021	Parada 6	10:44:12	10:54:02	9:50
4/9/2021	Parada 7	11:05:09	10:55:19	9:50
4/9/2021	Parada 8	11:06:08	10:57:17	8:51
4/9/2021	Parada 9	11:06:51	10:58:01	8:50
4/9/2021	Parada 1	11:00:00	10:59:44	16
4/9/2021	Parada 2	11:00:34	11:00:23	11
4/9/2021	Parada 3	11:01:34	11:01:58	24
4/9/2021	Parada 4	11:02:28	11:03:09	41
4/9/2021	Parada 5	11:03:07	11:04:10	1:03
4/9/2021	Parada 6	11:04:12	11:05:37	1:25
4/9/2021	Parada 7	11:05:09	11:06:51	1:42
4/9/2021	Parada 7	11:05:09	11:07:35	2:26
4/9/2021	Parada 8	11:06:08	11:08:45	2:37
4/9/2021	Parada 9	11:06:51	11:09:47	2:56
Total				1:39:02

Para el escenario de la ruta Marín - Amaguaña se logró generar un reporte tal como se presenta en la Figura 62, con las mismas características que se especificaron en el reporte del escenario del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Figura 62

Paradas en la ruta Marín - Amaguaña

UNIDADES

Unidades

Unidad 1

Fecha de inicio

Seleccione la fecha:

Fecha final

Seleccione la fecha:

Reporte Final

Fecha	Parada	Hora Fija	Hora Real	Comparacion
5/10/2021	Parada 9	10:27:00	10:28:54	1:54
5/10/2021	Parada 8	10:42:00	10:34:02	7:58
5/10/2021	Parada 7	10:52:00	10:46:11	5:49
5/10/2021	Parada 6	10:56:00	10:51:18	4:42
5/10/2021	Parada 5	11:02:00	10:58:13	3:47
5/10/2021	Parada 4	11:14:00	11:09:29	4:31
5/10/2021	Parada 3	11:17:00	11:13:54	3:06
5/10/2021	Parada 2	11:22:00	11:21:03	57
5/10/2021	Parada 1	11:30:00	11:31:22	1:22
Total				34:06

Pruebas de implementación de rastreo de niños

Las pruebas de funcionamiento de la aplicación móvil para el rastreo de niños se realizaron en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en donde se verificó que la aplicación presentará la ubicación como se muestra en la Figura 63a, para la opción de seguimiento se realizó un recorrido desde el bar hacia las residencias con lo que se

obtiene el seguimiento presentado en la Figura 63b. A continuación, para la opción de la geocerca poligonal se definieron los puntos de modo que cubra toda el área del patio principal como se muestra en la Figura 64a, se logró obtener la monitorización del niño y recibir la notificación en el momento en que se salió de la geocerca con la opción de la llamada. Finalmente, se estableció la geocerca circular en el estadio con un radio de 42 m, de la misma manera que en la geocerca poligonal se verificó su correcto funcionamiento como se presenta en la Figura 64b.

Figura 63

Pruebas de implementación de la aplicación móvil.



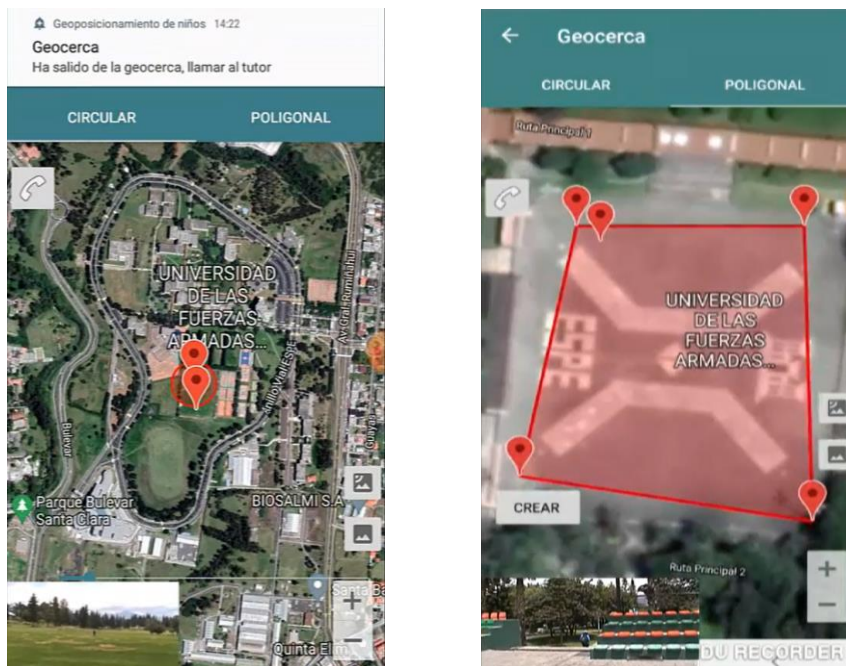
a)



b)

Figura 64

Pruebas de implementación de la aplicación móvil: geocercas.



a)

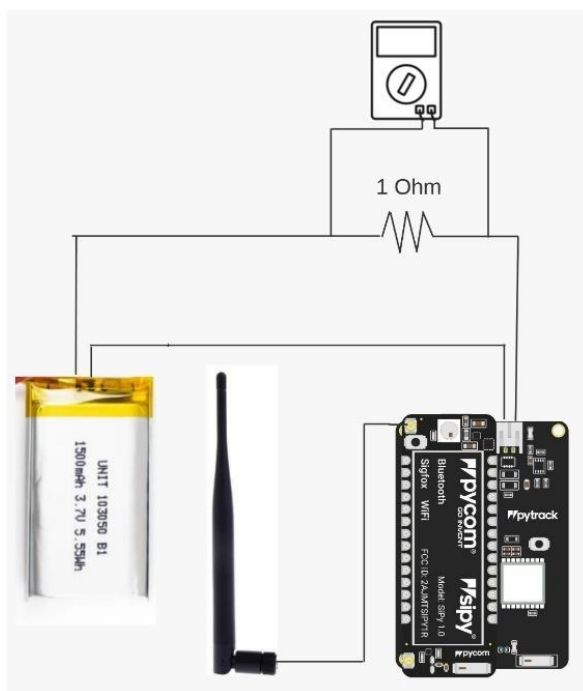
b)

Duración de la batería

De acuerdo a (Zhou & Flora , 2018) para medir el consumo de energía de una placa Sipy se realiza la medición de voltaje sobre una resistencia de 1 Ohm conectada en serie con la batería LiPo y la placa de desarrollo. Para el presente trabajo de investigación se emplea el mismo concepto al conectar el prototipo en serie con una resistencia de 1 Ohm y una batería LiPo recargable de 3.7 V de 1500 mAh como se muestra en el diagrama de la Figura 65.

Figura 65

Diagrama de conexión para la medición del consumo de energía



El escenario considerado para esta prueba ha sido el estático, con un periodo de muestreo de 10 minutos durante 8 horas, se ha considerado el tiempo de muestreo de 10 minutos debido a que en pruebas previas en ese rango de tiempo se mostró una variación de voltaje. Es necesario considerar que los mensajes se han enviado cada 3 minutos con 30 segundos. En la Figura 66 se visualizan las mediciones adquiridas, donde el voltaje inicial es de 3.88 V y un voltaje final de 3.54 V; por lo tanto, se concluye que la batería es capaz de energizar al prototipo sin llegar a un voltaje crítico que cause daños graves a la batería. Se debe tener en cuenta que el consumo energético varía al

momento de inicializar el módulo Pytrack, búsqueda de satélite o pérdida de recepción (Zhou & Flora , 2018).

Figura 66

Calidad del enlace en los mensajes enviados en el escenario estático

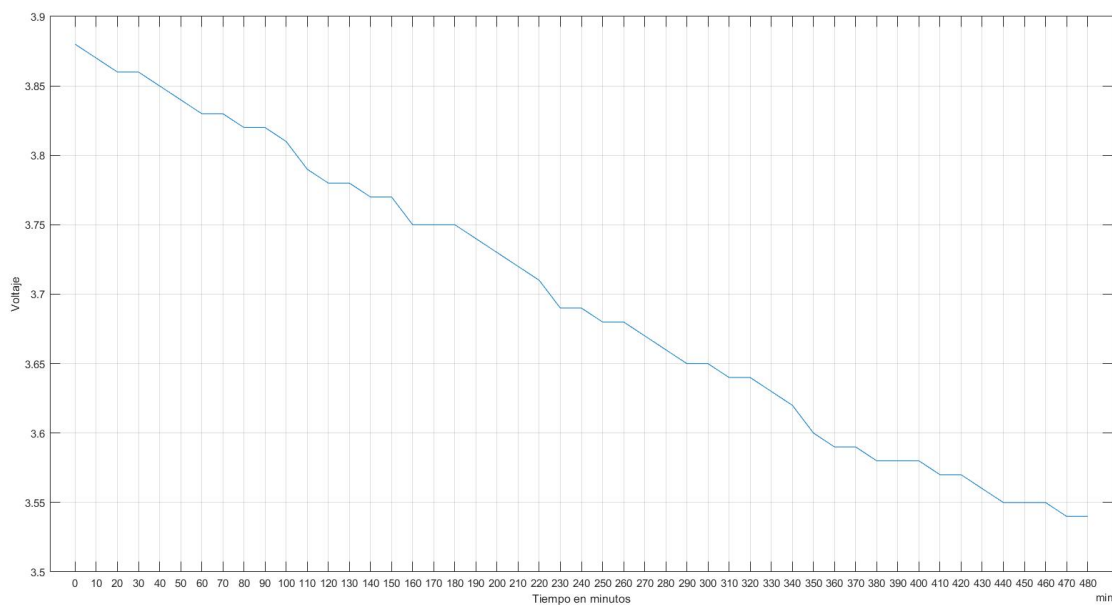
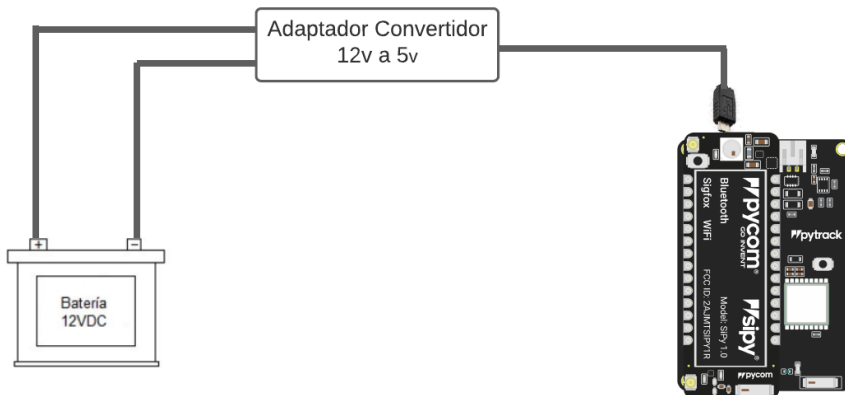


Figura 67

Conexión del prototipo a la batería interna del autobús.



La batería especificada anteriormente es usada tanto para el rastreo de niños como para las paradas inteligentes, debido a la situación actual de la Covid-19 y las restricciones de bioseguridad existentes no se ha realizado una implementación en un autobús de transporte público, sin embargo, se ha considerado el diseño presentado en la Figura 67 para la conexión del prototipo al autobús, en donde se prioriza la autonomía del prototipo al ser conectado directamente a la batería interna del autobús mediante un adaptador convertir de 12 V a 5 V con una salida micro USB; el prototipo debe ser ubicado en el tablero de la unidad debido a que se requiere de visibilidad para que el módulo Pytrack obtenga conexión con al menos 3 satélites y adquiera las coordenadas.

Capítulo V

Conclusiones y Trabajos futuros

Conclusiones

Para obtener el geoposicionamiento de los dispositivos, se diseñó una red de sensores conformada por dos nodos distribuidos para el rastreo de niños y paradas inteligentes de modo que se envió la localización adquirida a la red Sigfox y mediante un *Callback* se estableció conexión con la base de la plataforma AWS lo que permitió conseguir una adecuada monitorización.

Para una correcta visualización de los datos se desarrolló una aplicación móvil y una página Web de acuerdo al aplicativo propuesto, de esta manera se tiene que para el rastreo de niños se logró desarrollar una aplicación móvil amigable al usuario, esta aplicación cuenta con las opciones de ubicación, seguimiento y geocercas, cada una de estas opciones permite al tutor designado monitorizar los recorridos del niño, incluso especificar qué zonas puede recorrer mediante la designación de una geocerca tanto circular como poligonal y recibir una notificación en el caso de que haya salido de estos límites para actuar de acuerdo al protocolo planteado. La aplicación web está enfocada a las paradas inteligente, en ella se puede acceder a las rutas, ubicación de las unidades de transporte, además de la generación de un reporte que se enfatiza en el control de arribo de las unidades a las paradas determinadas en los tiempos establecidos, así en este reporte se tiene información de la fecha y hora en la que el autobús llegó a la parada, la hora establecida y una comparación para determinar con qué tiempo se adelantó o atrasó en llegar. Finalmente, al concluir el reporte se tiene la suma total del tiempo excedido y se tiene la opción de exportar a un documento Excel para facilitar su manejo y organización.

Se determina que se tiene un menor error de posicionamiento en el escenario estático a comparación con los escenarios en movimiento ya que su error no supera los 10 m tanto para la latitud como para la longitud. Para los escenarios en movimiento se identifica que al caminar el error no supera los 17.1411 m mientras que en vehicular este error incrementa hasta los 31.3641m. Bajo los resultados presentados se concluye que el error de posicionamiento varía de acuerdo a si el prototipo se encuentra estático o en movimiento, y para los casos de movimiento este error incrementa acorde al aumento de la velocidad con la que se mueva el dispositivo.

Se logró determinar la precisión del prototipo bajo los conceptos de CEP y 2DRMS, bajo este enfoque se obtuvo que el 50% de las muestras adquiridas se encuentran a 4.2473 m de la ubicación real y que el 95% a una distancia de 7.8218 m de la ubicación real en un escenario estático, de acuerdo a la información proporcionada del módulo Pytrack la precisión es de 2.5 m CEP, por lo tanto, se determina que la precisión obtenida se encuentra fuera del rango de los valores teóricos.

Una de las métricas analizadas fue la exactitud, la cual se ve afectada por el tipo de movimiento en el que se encuentre el dispositivo, debido a que se identifica una mejor exactitud cuándo se encuentra en el escenario estático en donde se tiene una exactitud de 8.3360 m. La exactitud disminuye para los escenarios caminando y vehicular, tal que se tiene una exactitud de 21.8888 m y de 33.0531 m respectivamente. Esto se debe a que el GPS tarda en adquirir la posición de los satélites lo que produce lecturas retardadas y dispersas.

Los paquetes perdidos tienen un comportamiento similar a la exactitud, al depender del tipo de movimiento. De los tres diferentes escenarios se obtuvo un mejor rendimiento en el estático al tener el 4.69% de paquetes perdidos, le sigue el escenario caminando con un 9.11% y el peor resultado se obtuvo en el escenario vehicular con un 34.8% de paquetes perdidos. Se debe considerar que en el escenario vehicular se obtiene un mayor número de paquetes perdidos debido a que se realizó el recorrido por varios sectores de Quito (Quitumbe, La Villafora, Amaguaña – La Marín) y en varias zonas no existe cobertura de la red Sigfox, por lo que se incrementa el tamaño de los paquetes perdidos.

Con respecto a la batería se concluye que para la monitorización de los niños una batería LiPo de 3.7 V recargable de 1500 mAh es suficiente para que el prototipo sea capaz de funcionar continuamente durante 8 horas sin llegar a un voltaje crítico que pueda ocasionar daños graves a la batería.

Dentro de los parámetros de desempeño de la red Sigfox se encuentra el RSSI y el LQI, de las pruebas realizadas en los diferentes escenarios se determina que los escenarios estáticos y caminando tienen un comportamiento similar respecto al LQI ya que se obtuvo una calidad de enlace tipo Bueno en el 78.9% y el 80.1% de los enlaces, respecto al RSSI se obtuvo un valor promedio de -91 dBm y -97 dBm respectivamente. Se obtienen estos resultados debido a que la distancia entre el nodo y la estación base no supera los 800 m, sin embargo, no se tiene una calidad de enlace tipo Excelente ya que los mensajes son recibidos por máximo dos estaciones base.

Al ser Sigfox una red LPWAN tiene una baja velocidad de transmisión y de acuerdo a las pruebas realizadas se identifica que el retardo varía entre los 3.88 a 2.09 segundos, este retardo es adecuado para aplicativos IoT por lo que se concluye que Sigfox es una tecnología adecuada para la monitorización y seguimiento de personas y objetos.

Trabajos futuros

Al disponer de este tipo de sensores, se recomienda verificar la cobertura y niveles de RSSI de Sigfox en el cantón Quito y Rumiñahui, de modo que se genere un mapa de cobertura que permita identificar las zonas en donde se tendría mayores problemas de conectividad y paquetes perdidos.

Nuestro grupo de investigación está interesado en la implementación del prototipo en diferentes zonas geográficas y climáticas, de manera que se pueda verificar el comportamiento tanto de la tecnología de Sigfox, así como el desempeño del módulo Quactel L76-L al momento de obtener los datos de los Sistemas de Geoposicionamiento.

La pérdida de paquetes se debe principalmente a la disponibilidad de la red de Sigfox, es por eso que estamos interesados en la implementación de una tecnología secundaria que entre en funcionamiento al momento que se pierda cobertura de Sigfox.

El presente trabajo de investigación respecto a las paradas inteligentes está orientado hacia el control de las unidades por parte de los directivos de la compañía de transporte, estamos interesados en continuar con el desarrollo de un aplicativo

enfocado a los usuarios del medio de transporte de modo que se notifique al usuario el tiempo exacto en que la unidad va a llegar a la parada de interés.

Estamos interesados en personalizar los tiempos de muestreo en el aplicativo del rastreo de niños, de modo que el tutor pueda determinar una franja horaria en la que desee que se realice la monitorización al niño y se pueda distribuir de mejor manera los 140 mensajes disponibles en la red Sigfox, pero se debe considerar que para ello se emplearían los mensajes de tipo downlink y que se tiene límite un máximo de 4 mensajes al día por la red.

Se propone modificar el tamaño del prototipo para que sea miniaturizado a manera que sea de fácil portabilidad y que permita que el dispositivo sea colocado de manera discreta, además considerar la adquisición de un GPS de mayor precisión y exactitud que se acople con el módulo Sipy y la red Sigfox, de manera que se logre reducir el porcentaje de error.

Al fin de continuar con la línea de investigación se propone desarrollar el sistema con la implementación de otras redes LPWAN de modo que se comparen las métricas de rendimiento y determinar cuál es la tecnología que hace al sistema más eficiente.

Referencias

- Quito Informa. (23 de Octubre de 2019). Arrancó proceso para que Quito se convierta en 'Smart City'. Obtenido de <http://www.quitoinforma.gob.ec/2019/10/23/arranco-proceso-para-que-quito-se-convierta-en-smart-city/>
- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. *Revista ABB*, 2, 39-42.
- Aernouts, M., Berkvens, R., Van Vlaenderen, K., & Weyn, M. (2018). Sigfox and LoRaWAN Datasets for Fingerprint Localization in Large Urban and Rural Areas. *Data*, 3(2). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/data3020013>
- Aldama, A., Chourabi, H., Pardo, T., Garcia, R., Mellouli, S., & Jochen, H. (2012). Smart cities and service integration initiatives in North American cities: a status report. *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Digital Government Research*, 289-290. doi:10.1145/2307729.2307789
- Aldás, N. A. (2018). *Sistemas de Información Integrado para el monitoreo y control de estaciones de transporte público urbano en la ciudad de Ambato*. [Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, Universidad técnica de Ambato].
- Alexopoulos, C., Viale, G., Charalabidis, Y., & Madrid, L. (2019). A Taxonomy of Smart Cities Initiatives. *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 281-290. doi:10.1145/3326365.3326402
- AlfaloT. (19 de Marzo de 2021). *AlfaloT*. Obtenido de <https://alfaiot.com/vs/nbiot-lorawan-sigfox/>

- ASFADEC. (2018). *Informe sobre las inconsistencias de las Cifras Oficiales de las Personas Desaparecidas del Ecuador Período(2013-2017)*. Quito. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1BCbWjSjsoyM9OCTSimlDISu_GhE22K0c/view
- Ávila Mejía , Ó. (2011). Computación en la nube. *ContactoS 80, 80*, 45-52. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39094328/nube.pdf?1444516086=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNube.pdf&Expires=1603235673&Signature=aiWeUI9HHSPiZxHfkZbQDeF-4Q38cGC2umfus47fZ6wuj5KBju2vBH8dTeStK7CrmkJB0UW-RnLhh1lLwsN2djHmwbGWxwQRGZH>
- AWS. (2017). *Connect your devices to AWS IoT using the Sigfox network*. Obtenido de Sigfox: <http://aws.amazon.com/es/blogs/iot/connect-your-devices-to-aws-iot-using-the-sigfox-network>
- Baldeón Puga, A. L. (2017). *Desaparecidos en Ecuador, Situación Actual*. [Tesis de pregrado, UDLA]. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8084/1/UDLA-EC-TPE-2017-20.pdf>
- Bustamante , J. (2019). *Dispositivo logger IoT con tecnologías de comunicación Sigfox y Lora*. Universidad de Buenos Aires.
- Cabrera Solano, C., & Salazar Correa, F. (2016). *Análisis de nuevas tecnologías para el despliegue de servicios Smart City aplicadas en Guayaquil*. Universidad de Guayaquil, Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19821/1/B-CINT-PTG.172%20Cabrera%20Solano%20Christian%20Armando.pdf>
- California Department of Transportation. (Septiembre de 2006). Global Positioning System (GPS) Survey Specifications. *Caltrans Surveys Manual*. Obtenido de

<https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/right-of-way/documents/lsm-manual/06-surveys-a11y.pdf>

- Cao, X., & Li, Y. (2018). Data Collection and Network Architecture Analysis in Internet of Vehicles Based on NB-IoT. *International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*. doi:10.1109/ICITBS.2018.00048
- Castilla Sierra, R. M., & Meza Jiménez, V. M. (2005). Descripción y evolución de tecnologías para redes de datos en ambiente GSM. *Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Electrónica*.
- Castro Correa, J. A., Sepúlveda Mora, S. B., Medina Delgado, B., Guevara Ibarra, D., & López Bustamante, O. (2019). Sistema de geolocalización de vehículos a través de la red GSM/GPRS y tecnología Arduino. *Revista EIA, 16(31)*, 145-157. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.24050/reia.v16i31.1269>
- Catargiu, G., Dulf, E., & Miclea, L. (2020). Connected Bike-smart IoT-based Cycling Training Solution. *MDPI, Sensors, 20(1473)*. doi: doi:10.3390/s20051473
- Celi Ortega, S. F. (2018). Análisis del sistema de transporte público privado de la ciudad de Quito - Ecuador. *Revista Espacios, 39*. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n19/a18v39n19p01.pdf>
- Chaudhari, B., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. *Future Internet, 12(3)*. doi:10.3390/fi12030046
- Chillaron Farré, E. (2003). Introducción al sistema GPRS y a su gestión de recursos radio. *Buran(19)*, 38-42. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/Buran/article/view/178852>
- De León, Vázquez, I. I., Flores Jiménez, I., Hernández Torres, E., Resendiz Torres, C., & Yañez Martínez, L. (2015). Análisis de la Administración Financiera desde la

perspectiva de la interpretación de los estados financieros de las PyMes. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 3(6).

doi:<https://doi.org/10.29057/xikua.v3i6.1311>

Di Bella, E., Odone, F., Corsi, M., Sillitti, A., & Breu, R. (2014). Smart Security: Integrated Systems for Security Policies in Urban Environments. *Proogress in IS*, 193-219. doi:10.1007/978-3-319-06160-3_10

Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Quito. Obtenido de <https://www.quito.gob.ec/documents/PMDOT.pdf>

Duarte Muños, C. (1 de Agosto de 2016). *Secretaría de Comunicaciones y Transporte:Hacia el Espacio*. Obtenido de Galileo: el sistema europeo de navegación por satélite: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=381>

Duarte Muñoz, C. (1 de Junio de 2016). *Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Hacia el Espacio*. Obtenido de El Sistema GLONASS: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=201>

El Comercio. (25 de Mayo de 2014). En el país aún hay niños que hacen largos viajes para ir a sus escuelas. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/estudiantes-viajan-largos-trayectos-ecuador.html>

Enriquez Escobar, L. (2016). *Elaboración de un protocolo que establezca un procedimiento legal a seguir por parte de la Fiscalía especializada en nvestigaciones de personas desaparecidas en el cantón Quito*. [Tesis de pregrado,Universidad Central del Ecuador], Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6725>

- España, M. (2017). Sistema Satelitales de Navegación Global. En M. España, *Sistemas de Navegación Integrada con Aplicaciones* (págs. 185-188). CONAE. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Martin_Espana/publication/318431460_Sistemas_de_Navegacion_Integrada_con_Aplicaciones_2_Edicion_2017_While_free_to_use_this_material_you_are_kindly_asked_to_cite_the_source/links/5968fe98aca2728ca67bff70/Sistemas-de-Na
- Fallas, J. (2002). *Sistema de Posicionamiento Global*. Universidad Nacional, Costa Rica. Obtenido de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf
- Flórez Zuluaga, J. A., Orozco Montero, S. G., Daza Hernández, W. A., Cardenal Moreno, E. R., & Amariles Saldarriaga, L. M. (2019). A Comparison of the Implementation of Traditional and Cloud-Based Platforms: Meteorological Report System. *Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana*, 14(2), 20-45. doi: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.632>
- Gallego, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas profesión*, 5(13). Obtenido de <https://www.federacion-matronas.org/wp-content/uploads/2018/01/vol5n18pag5-13.pdf>
- García, H., Mercurio, M., Noveloso, D., & Reyes, R. (2019). POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT USING SINGLE AND MULTI-GNSS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 223-227. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-223-2019>, 2019.
- Guerrero, J. C. (3 de Enero de 2020). *EWebik*. Obtenido de ¿Qué es y cómo funciona BEIDOU?: <https://gpstotal.org/es/que-es-beidou>

- Gupta, A., & Harit, V. (2016). Child Safety & Tracking Management System by Using GPS, Geo-Fencing & Android Application: An Analysis. *2016 Second International Conference on Computational Intelligence Communication Technology (CICT)*, 683-686. doi:10.1109/CICT.2016.141
- Hammi, B., Khatoun, R., Zeadally, S., Fayad, A., & Khoukhi, L. (s.f.). Internet of Things (IoT) Technologies for Smart Cities. *IET Networks*, 7(1), 1-13. doi:10.1049/iet-net.2017.0163
- Hemjal, A. (2019). *Sigfox based Internet of Things: Technology, Measurements and Development*. [Master's thesis, Tampere University].
- Hernández Gutiérrez, M. E. (2012). *Análisis de la plataformas para la publicación de información geográfica en la nube*.
- Hernandez Quintero , N. L., & Florez Fuente , A. S. (2014). Computación en la nube. *Revista Mundo FESC*, 46-51. Obtenido de <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/48/90>
- Hernández, S. (2020). *Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico*. Catalunya. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>
- IESE Business School. (2019). *Índice IESE Cities in Motion*. University of Navarra. doi:DOI: <https://dx.doi.org/10.15581/018.ST-509>
- J, S., & J, S. (2013). Implementation of children tracking system on android mobile terminals. *2013 International Conference on Communication and Signal Processing*, 961-965. doi:10.1109/iccsp.2013.6577199

- Jiobit . (19 de Marzo de 2020). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.com/Jiobit-4188N8762W-Location-Tracker-Lightweight/dp/B07CWFBM5S>
- Joyanes Aguilar , L. (2012). Computación en la nube. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 89-112. Obtenido de <https://revista.ieee.es/article/view/406/706>
- Kashoash, A., & Kemp, A. (2017). Comparison of 6LoWPAN and LPWAN for the Internet of Things. *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/1448837X.2017.1409920>
- Kehua, S., Jie, L., & Hongbo, F. (2011). Smart city and the applications. 2011 *International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 1028-1031. doi:10.1109/ICECC.2011.6066743
- Kumari, M., Kumar, A., & Khan, A. (2020). IoT Based Intelligent Real-Time System for Bus Tracking and Monitoring. *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)*, 226-230. doi:10.1109/PARC49193.2020.246240.
- Kushwah, R., Batra, P. K., & Jain, A. (2020). Internet of Things Architectural Elements, Challenges and Future Directions. *Kushwah, R., Batra, P. K., & Jain, A. (2020). Internet of Things Architectural Elements, Challenges and Future Directions. 2020 6th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)*. doi:10.1109/icsc48311.2020.9182773.
doi:doi:10.1109/icsc48311.2020.9182773
- Lacinák*, M., & Ristvej, J. (s.f.). Smart city, Safety and Security. *Procedia Engineering*, 522–527. doi:doi:10.1016/j.proeng.2017.06.090
- Lacinák, M., & Ristvej, J. (2017). Smart City, Safety and Security , 192, 522–527. *Procedia Engineering*, 192, 522-527. doi:doi:10.1016/j.proeng.2017.06.090

- López, D. (19 de Marzo de 2020). *Socialab*. Obtenido de <https://impaqto.socialab.com/challenges/RetoExportaAlMundo2018/idea/78497>
- Lopez, J., & Zhou, J. (2008). *Wireless Sensor Network Security* (Vol. 1).
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *The Korean Institute of Communications and Information Sciences KICS*, 5, 1-7.
doi:10.1016/j.icte.2017.12.005
- Mendivil, L. (2017). *Comparación de soluciones basadas en LPWAN e IEEE 802.15.4*. Baja California: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior. Obtenido de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1274/1/tesis_LJGM_2017.pdf
- Michael, K., McNamee, A., & Michael, M. G. (2006). The emerging ethics of humancentric GPS tracking and monitoring. Obtenido de <https://ro.uow.edu.au/infopapers/2879>
- Mineo , A., Pelasi, M., Patti, D., & Catania, V. (2020). Cloud-Based Energy Efficient Scheme for Sigfox Monarch as Asset Tracking Service. *International Conference on Omni-layer Intelligent Systems*, 1-6. doi:10.1109/COINS49042.2020.9191398
- Mohammad Zulhafiz, I., Muhammad Mahadi , A. J., Tengku Nadzlin , T. I., Muhammad Shukri , A., Nur Adilah , A. R., & Mohamad Nazib , A. (2019). Children Security and Tracking System Using Bluetooth and GPS Technology. *2019 9th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 184-187. doi:10.1109/ICCSCE47578.2019.9068542
- Mohammad Zulhafiz, M. I., Muhammad Mahadi, A. J., Tengku Nadzlin, T. I., Muhammad Shukri, A., Nur Adilah, A. R., & Mohamad Nazib, A. (2019). Children Security and

Tracking System Using Bluetooth and GPS Technology. *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 184-187.
doi:doi: 10.1109/ICCSCE47578.2019.9068542

Montesinos, R. (2018). *Estudio Y Análisis De Tecnologías Habilitadoras 5G Y Sus Factibilidades Para El Desarrollo Del Internet De Las Cosas*. Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones, Facultad de Educación Técnica para el desarrollo. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11343/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-315.pdf>

Moreno Alonso, C., Baucells Aletà, N., & Arce Ruiz, R. (2016). Smart Mobility in Smart Cities. *In XII Congreso de ingeniería del transporte*, 1209-1219.
doi:<http://dx.doi.org/10.4995/CIT2016.2016.3485>

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2009). Plan Maestro de Movilidad 2009-2025. Obtenido de <http://openbiblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/39700.pdf>

Murty, J. (2008). En J. Murty, *Programming Amazon Web Services* (págs. 262-238). O'Reilly. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=NtqbAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Nam, T., & Pardo, T. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times*, 282-291.
doi:10.1145/2037556.2037602

- ÖZDEMİR, Z., & TUĞRUL, B. (2019). Geofencing on the Real-Time GPS Tracking System and Improving GPS Accuracy with Moving Average, Kalman Filter and Logistic Regression Analysis. 1-16. doi:10.1109 / ISMSIT.2019.8932766
- Padilla, R., Quintero Rosas, V., & Días Ramírez, A. (2015). Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM/GPS. *Industrial Data*, 18(1), 128-134. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81642256015>
- Papa, E., & Lauwers, D. (2015). Smart mobility: opportunity or threat to innovate places and cities. *In 20th international conference on urban planning and regional development in the information society*, 549-550. Obtenido de <https://biblio.ugent.be/publication/5937340/file/5937341>
- Pérez, N. B., Bustos, M. A., & Berón, M. (2018). Análisis sistemático de la seguridad en Internet of Things. *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 1066-1071. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68387>
- Perpelova, V. (2017). Obtenido de Posicionamiento: <http://www3.uah.es/libretics/concurso2014/files2014/Trabajos/Posicionamiento.pdf>
- Petäjäjärvi, J., Mikhaylov, K., Hämä, M., & Linatti, J. (2016). Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Remote Health and Wellbeing Monitoring . *10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*. doi:doi:10.1109/ismict.2016.7498898
- Pycom . (2021). *Pycom - FiPy*. Obtenido de <https://pycom.io/product/fipy/>
- Pycom. (3 de Diciembre de 2020). *Pycom go invent*. Obtenido de <https://pycom.io/product/sipy/>

- QUECTEL. (13 de Diciembre de 2020). *GNSS L76-L*. Obtenido de <https://www.quectel.com/product/l76l.htm>
- Rey , J. (2006). El Sistema de Posicionamiento Global - GPS. *EDIS*, 14. Obtenido de <https://journals.flvc.org/edis/article/view/115973>.
- Rojas, J. P., Bustos, J. C., & Ordoñez Camacho, D. (2017). Transporte público inteligente al alcance de sus manos. *Enfoque UTE*, 8(1), 122-134. Obtenido de <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.143>
- Sajee, M. (Noviembre de 2014). *Overview of Amazon web services*. Obtenido de <https://www.sysfore.com/Assets/PDF/aws-overview.pdf>
- Sánchez Ramos, I. (2017). *Las “Smart Cities”: Un nuevo paradigma*. [Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos].
- Sánchez Rosado, D. (2019). *NB-IoT. Tecnologías celulares narrow-band. Análisis práctico de las soluciones de Telefónica y Vodafone*. Obtenido de https://eprints.ucm.es/id/eprint/57472/1/DAVID_SANCHEZ_ROSADO.pdf
- Sánchez Wevar, J. Á. (2005). Análisis y Estudio de Redes GPRS. *Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería*.
- Sigfox. (2017). *Sigfox Technica Overview*. Obtenido de <https://www.ismac-nc.net/wp/wp-content/uploads/2017/08/sigfoxtechnicaloverviewjuly2017-170802084218.pdf>
- Sigfox. (8 de Octubre de 2020). Obtenido de <https://www.sigfox.com/en/sigfox-story>
- Sigfox. (7 de Diciembre de 2020). *Radio Configurations*. Obtenido de <https://build.sigfox.com/sigfox-radio-configurations-rc>
- Sigfox. (2021). *DVK-SFAZ-1-GEVK*. Obtenido de <https://partners.sigfox.com/products/multi-sensor-sigfox-embedded-development-kit-edk>

- Soriano, F., Samper, J., Martínez, J., Cirilo, R., & Martínez, J. (2018). Smart Mobility Trends. Open Data and Other. *Intelligent Transportation System Magazine*. doi:10.1109/MITS.2017.2743203
- Thinextra. (s.f.). *Thinextra Sigfox Developer Xkit*. Obtenido de <https://thinextra.com/iot-connectivity/xkit/>
- Tomaszewska, E. J., & Florea, A. (2018). Urban smart mobility in the scientific literature — bibliometric analysis. *Engineering Management in Production and Services*, 10(2), 41-56. Obtenido de <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0010>
- UNICEF. (2018). *Ecuador alista alerta temprana para niños desaparecidos en situación de alto riesgo*. Quito. Obtenido de <https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/ecuador-alista-alerta-temprana-para-ni%C3%B1os-desaparecidos-en-situaci%C3%B3n-de-alto>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (Junio de 2012). Descripción general de Internet de los objetos. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-l/en>
- Urbano Molano, F. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 46-52.
- Vanolo, A. (2013). Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy. *Urban Studies*, 51(5), 883-898. doi:10.1177/0042098013494427
- Vashi, S., Ram, J., Modi, J., Verma, S., & Prakash, C. (2017). Internet of Things (IoT) A Vision, Architectural Elements, and Security Issues. *International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*. doi:doi:10.1109/i-smac.2017.8058399

- Vasileios A, M., Kostas E, P., Yutaka, I., Byung-Gyu, K., & B.B, G. (2018). An Efficient Algorithm for Media-based Surveillance System (EAMSuS) in IoT Smart City Framework. *Future Generation Computer Systems*, 83, 619-6128. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.04.039>
- Vílchez, S. (Junio de 2019). Obtenido de Descripción y Representación de las Señales GNSS:
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/97367/8/svilchez10TFM0619presentaci%C3%B3n.pdf>
- Villavicencio , I., Verduzco Ramírez, J. A., García Díaz, N., Figueroa Millán, P. E., González Valladares, J. E., & Ortiz Figueroa, A. (2020). Plataforma IoT para el rastreo y monitoreo remoto de parámetros de vehículos. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 95-113. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1276>
- Vitalij, F., Robnik, A., & Alexey, T. (2012). "Safe City" – an Open and Reliable Solution for a Safe and Smart City. *ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK*, 79(5), 262-267. Obtenido de <https://ev.fe.uni-lj.si/5-2012/Vitalij.pdf>
- Zhang, H., Li, J., Xun, Y., & Liu, J. (2018). Connecting Intelligent Things in Smart Hospitals Using NB-IoT. *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, 5(3), 1550--1560. doi:10.1109/jiot.2018.2792423
- Zhou, X., & Flora , E. (2018). *Comparison of Performance and Power Consumption Between GPS and Sigfox Positioning Using Pycom Modules*. [Bachelor of Science in Engineering, Kristianstad University]. Obtenido de <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1228137&dswid=4480>