

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN IOT BASADAS EN SIGFOX PARA EL RASTREO DE ESTUDIANTES ESCOLARES DEL CASCO CENTRAL EN LA CIUDAD DE AMBATO

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Electrónica, Telecomunicaciones y sistemas de control

AUTOR: Jhon Anderson Maldonado Cuenca

TUTOR: Ing. Edgar Freddy Robalino Peña, Mg.

Ambato - Ecuador

julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN IOT BASADAS EN SIGFOX PARA EL RASTREO DE ESTUDIANTES ESCOLARES DEL CASCO CENTRAL EN LA CIUDAD DE AMBATO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Jhon Anderson Maldonado Cuenca estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2025.

Firmado electrónicamente por:
EDGAR FREDDY
ROBALINO PENA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Edgar Freddy Robalino Peña, Mg.
TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN IOT BASADAS EN SIGFOX PARA EL RASTREO DE ESTUDIANTES ESCOLARES DEL CASCO CENTRAL EN LA CIUDAD DE AMBATO, es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2025.



Jhon Anderson Maldonado Cuenca

C.C. 2100722434

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, julio 2025.



Jhon Anderson Maldonado Cuenca

C.C. 2100722434

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Jhon Anderson Maldonado Cuenca estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN IOT BASADAS EN SIGFOX PARA EL RASTREO DE ESTUDIANTES ESCOLARES DEL CASCO CENTRAL EN LA CIUDAD DE AMBATO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2025.

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
CARLOS DIEGO GORDON GALLEGOS
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. Carlos Gordón Gallegos
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
LIVIO DANILO MINIGUANO MINIGUANO
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Danilo Miniguano Miniguano, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi madre Piedad Cuenca y padre Juan Maldonado que han sido un pilar fundamental en este proceso apoyándome siempre en cada paso que voy, no es fácil salir de casa a cumplir tus sueños, pero con esfuerzo y sacrificio se logró.

A mis hermanos Nixon y Víctor que a pesar de estar a la distancia nunca me han dejado solo en este proceso, dándome ánimos en los momentos que más los necesitaba.

A mi abuelita que está en cielo, este logro también es de ella.

Jhon Maldonado

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme sabiduría. A mi familia, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional durante estos años de estudio. Su amor y motivación fueron fundamentales para llegar hasta aquí.

A mis amigos Danilo, Juan, Santiago, Edison, Darío y Fernando, por ser mis compañeros de camino en esta aventura universitaria. Por las risas, los momentos de estrés compartidos, las reuniones de estudio y por recordarme que hasta en los momentos más difíciles siempre hay motivos para sonreír. Esta tesis también es suya.

Al ingeniero Freddy Robalino, quien desde el primer día demostró su total disposición para brindarme su apoyo. Fue mi guía profesional en cada etapa del desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xii**

INDICE DE FIGURAS ..... **xiii**

INDICE DE ANEXOS ..... **xvii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xix**

ABSTRACT ..... **xx**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 2

1.3 Fundamentación teórica 6

1.3.1 Internet de las cosas (IoT) 6

1.3.2 Comparación con otras tecnologías LPWAN 16

1.4 Objetivos 30

1.4.1 Objetivo general 30

1.4.2 Objetivos específicos 30

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 31

2.1 Materiales 31

2.2 Métodos 31

2.3 Modalidad de la investigación 31

2.4 Recolección de información 32

2.5 Procesamiento y análisis de datos 33

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34

3.1 Descripción de la problemática. 34

3.2 Esquema del Sistema. 34

3.2.1 Etapa de adquisición de datos. 36

3.2.2 Etapa de comunicación IoT. 40

3.2.3 Etapa de procesamiento de datos y almacenamiento. 42

3.2.4 Etapa de visualización 46

3.3 Implementación y validación del circuito electrónico propuesto. 47

3.3.1 Circuito de envió de datos. 48

3.3.2 Circuito de alimentación. 48

3.3.3 Diseño del Case del Dispositivo. 50

3.4 Codificación del sistema de localización 51

3.4.1 GPS Ublox Neo 6M 52

3.4.2 Envío de datos mediante un módulo basado en la tecnología Sigfox. 53

3.5 Diseño funcional del software de localización 56

3.5.1 Sigfox Cloud 56

3.5.2 Protocolo Osmand 60

3.5.3 Servicio de proxy NGROK 61

3.5.4 Instalación de NGROK 62

3.6 Descripción de las Plataformas de Visualización 64

3.7 Análisis del Desempeño de las Plataformas 71

3.8 Evaluación Complementaria de Plataformas Bajo Criterios de Servicios. 77

3.8.1 Seguridad y privacidad 77

3.8.2 Desempeño operativo 78

3.8.3 Costos y soporte técnico 78

3.8.4 Funcionalidades integradas 79

3.9 Pruebas de Funcionamiento 80

3.9.1 Pruebas en Área Urbana 81

3.9.2 Analisis Comparativo de rutas escolares y eficiencia del sistema 106

3.9.3 Costos del Prototipo e implementación. 107

3.9.4 Limitaciones geográficas o Climáticas del sistema implementado..... 108

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 110

4.1 Conclusiones 110

4.2 Recomendaciones..... 111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113

ANEXOS 122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones en el Entorno Educativo 20

Tabla 2: Cuadro comparativo de Plataformas IoT para dispositivos Sigfox [34]. 25

Tabla 3. Comparación de Plataformas por métricas 28

Tabla 4. Módulos de posicionamiento Global.[42][43][44] 37

Tabla 5. Módulos de Comunicación Inalámbrica Sigfox [45] 39

Tabla 6. Funciones disponibles del callback.[47] 43

Tabla 7. Servicios de Proxi [48] [49] [50]. 45

Tabla 8. Herramientas de Visualización [51] [52] [53]. 46

Tabla 9.Consumo de energía y corrientes del prototipo. 49

Tabla 10. Evaluación de Plataformas enfoque cuantitativo. 72

Tabla 11.Ruta Colegio Juan León Mera la Salle 74

Tabla 12.Ruta Unidad Educativa Bolívar. 74

Tabla 13. Ruta Unidad Educativa Mario Cobo Barona. 74

Tabla 14.Ruta Escuela Manuela Espejo. 75

Tabla 15.Ruta Unidad Educativa Ricardo Discalzi 75

Tabla 16. Indicadores Cualitativos de Plataformas 76

Tabla 17.Prueba Unidad Educativa Juan León Mera la Salle 85

Tabla 18. Porcentaje General de éxito del prototipo en las pruebas de campo. 105

Tabla 19. Costo del dispositivo. 107

Tabla 20. Costos de recursos Informáticos. 107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Internet de las cosas IoT 7

Figura 2. Analisis de datos [6][14]..... 11

Figura 3 Mapa Global de tecnología Sigfox [8]..... 15

Figura 4. Arquitectura de Red Sigfox [19]..... 16

Figura 5. Tarjeta electrónica Devkit Ufox [30]..... 23

Figura 6. Sheild de Ufox.[31] 24

Figura 7. Esquema del Sistema. 35

Figura 8. Arquitectura de etapa de comunicación Sigfox. 41

Figura 9: Mapa de Cobertura de Red Sigfox. 42

Figura 10. Diseño del circuito electrónico. 48

Figura 11. Medidas del Case del dispositivo. 50

Figura 12. Incorporación de los elementos en el prototipo 51

Figura 13. Diagrama de flujo GPS NEO 6M 53

Figura 14. Diagrama de flujo de envío de datos con tecnología Sigfox. 54

Figura 15.Código para convertir a hexadecimal 55

Figura 16. Código para él envió de datos. 55

Figura 17. Diagrama de localización. 56

Figura 18.Backend de Sigfox. 58

Figura 19. Página principal del backend de Sigfox. 58

Figura 20. Mensajes recibido hexadecimal. 59

Figura 21.Custom Callback del dispositivo 60

Figura 22.Diagrama de secuencia técnica. 60

Figura 23. Protocolo Osmand. 61

Figura 24. Estructura del Protocolo Osmand. 61

Figura 25. Prueba de Funcionamiento del Protcolo Osmand..... 61

Figura 26. Descarga del servicio del proxy..... 62

Figura 27. Archivo NGROK descomprimido. 62

Figura 28. url publica para un servidor local. 63

Figura 29. Información del túnel creado. 63

Figura 30. Creación de un Convertidor de enlace ascendente 65

Figura 31. Agregar Integraciones..... 66

Figura 32. Campo del convertidor de datos de enlace descendente..... 67

Figura 33. Integración Final del dispositivo. 68

Figura 34. Plataforma de Visualización. 68

Figura 35.Ingreso a la plataforma Traccar 69

Figura 36. Registro de Dispositivo. 70

Figura 37. Panel de administración. 70

Figura 38. Gráficos de Métricas de las plataformas utilizadas. 73

Figura 39. Mapa de Cobertura en Ambato..... 80

Figura 40.Mapa de Cobertura Parroquia Celiano Monge-Ambato. 82

Figura 41. Mapa de Cobertura Unidad Educativa Juan León Mera la Salle..... 82

Figura 42. Área seleccionada en Unidad Educativa la Salle. 83

Figura 43.Ruta generada por el prototipo desde el Colegio la salle hasta el domicilio del estudiante. 86

Figura 44. Diferencia mínima y máxima de distancia cada 40 segundos. 87

Figura 45. Variación de distancia entre cada punto cada 40 segundos. 87

Figura 46. Estado de la batería del dispositivo prueba cada 40 segundos 88

Figura 47. Temperatura del dispositivo de 40 segundos. 88

Figura 48:Backend de Sigfox con las coordenadas recibidas. 89

Figura 49.Porcentaje de éxito del prototipo cada 40 segundos 89

Figura 50. Posición del equipo al hacer encendido 90

Figura 51. Ruta trazada desde la Unidad Educativa Mario Cobo Barona 91

Figura 52. Optima Cobertura en la Unidad educativa Mario Cobo Barona. 92

Figura 53. Variación de Distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Mario Cobo Barona. 92

Figura 54. Porcentaje de éxito del dispositivo 93

Figura 55. Posición del prototipo al hacer encendido Escuela Fe y Alegría. 93

Figura 56. Trayectoria del prototipo 94

Figura 57.Porcentaje de éxito del prototipo en la Escuela Fe y Alegría cada 20 segundos. 95

Figura 58.Mapa de Cobertura parroquia la Matriz- Ambato 95

Figura 59. Posición del prototipo al ser encendido 96

Figura 60. Variación de la Distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Bolívar. 97

Figura 61. Porcentaje de éxito del dispositivo en la Unidad Educativa Bolívar. 97

Figura 62. Ruta Obtenida en la Unidad Educativa Bolívar. 98

Figura 63. Cobertura de la red Sigfox en la Unidad Educativa Bolívar. 98

Figura 64. Encendido del dispositivo Prueba Manuela Espejo. 99

Figura 65. Cobertura Optima en la Unidad Educativa Manuela Espejo. 100

Figura 66. Variación de distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Manuela Espejo. 101

Figura 67. Porcentaje de éxito Unidad Educativa Manuela Espejo. 101

Figura 68. Mapa de Cobertura de la parroquia Huachi Chico-Ambato. 102

Figura 69. Dispositivo encendido 102

Figura 70. Ruta del prototipo desde la Unidad Educativa Ricardo Descalzi. 103

Figura 71. Variación de distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Ricardo Discalzi. 104

Figura 72. Porcentaje de éxito del dispositivo en la Unidad Educativa Ricardo Discalzi. 104

Figura 73. Porcentaje de éxito y efectividad de cada prueba realizada. 106

INDICE DE ANEXOS

Anexo. A Prueba de Traccar Unidad Educativa Juan León Mera la Salle con el prototipo 122

Anexo. B Prueba Plataforma Traccar Unidad Educativa Bolívar. 123

Anexo. C Prueba plataforma traccar Unidad Educativa Mario Cobo Barona. 124

Anexo. D. Prueba Plataforma Traccar Escuela Manuela Espejo. 125

Anexo. E. Prueba Plataforma Traccar Unidad Educativa Ricardo Discalzi 126

Anexo. F. Prueba Plataforma Traccar escuela Fe y Alegría. 127

Anexo. G. Prueba plataforma Datacake Unidad Educativa Juan León Mera la Salle. 128

Anexo. H. Prueba plataforma datake escuela Manuela Espejo. 129

Anexo. I. Prueba plataforma Datacake Unidad Educativa Mario Cobo Barona..... 130

Anexo. J. Prueba de Plataformas Unidad Educativa Ricardo Discalzi 131

Anexo. K. Prueba Datacake Escuela Fe y Alegría. 132

Anexo. L. Prueba plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle. 133

Anexo. M. Prueba Plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Bolívar. 134

Anexo. N Prueba plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Mario Cobo Barona 135

Anexo. O. Código de Configuración del Devkit Ufox..... 136

Anexo. P Planos del prototipo desarrollado. 138

Anexo. Q Diseño del Case 139

Anexo. R Características técnica devkit Ufox. 140

Anexo. S.Características técnicas Sheild Ufox y Neo GEO-6M 141

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se orienta al diseño e implementación de un sistema de geolocalización basado en tecnología IoT utilizando la red Sigfox, con el propósito de mejorar el monitoreo y la seguridad de estudiantes en el casco central de la ciudad de Ambato. Para cumplir este fin, se desarrollaron tres etapas fundamentales: el análisis del desempeño de plataformas de visualización, el diseño del sistema de transmisión de datos y la evaluación de su rendimiento en escenarios reales.

En la primera etapa se realizó una revisión exhaustiva de plataformas compatibles con Sigfox, analizando precisión, latencia, interoperabilidad y facilidad de uso. Esta evaluación permitió seleccionar Traccar como la plataforma más adecuada para el entorno del proyecto.

En la segunda fase, se desarrolló un prototipo físico integrado por un módulo GPS NEO-6M y un transmisor Ufox, configurado para enviar datos de ubicación, temperatura y batería cada 35 segundos. Estos datos son redireccionados a través de la función Custom Callback de Sigfox, permitiendo su transmisión segura mediante el protocolo HTTP hacia el servidor Traccar, a través de un túnel creado con Ngrok.

La tercera fase consistió en pruebas en campo dentro de instituciones educativas, donde se evaluó el rendimiento del sistema. Los resultados evidenciaron precisión promedio de 3.5 metros y tiempos de transmisión aceptables, aunque con variaciones en zonas de baja cobertura.

Se concluye que el sistema es viable, de bajo consumo energético, y representa una solución funcional y replicable para mejorar la seguridad estudiantil mediante tecnologías IoT.

Palabras clave: Geolocalización, IoT, Sigfox, LPWAN, rastreo escolar, Traccar, transmisión de datos.

ABSTRACT

This research focuses on the design and implementation of an IoT-based geolocation system using the Sigfox network, aiming to improve the safety and monitoring of students in the central area of Ambato. To achieve this, the project was structured into three main phases: performance analysis of compatible visualization platforms, system design for real-time data transmission, and field evaluation of its operational behavior.

In the first phase, an in-depth analysis was conducted on platforms compatible with Sigfox, assessing parameters such as accuracy, latency, interoperability, and usability. Based on the evaluation, Traccar was selected as the most suitable platform for the project context.

In the second phase, a physical prototype was developed using a NEO-6M GPS module and a Ufox Sigfox transmitter, configured to send geolocation data, temperature, and battery status every 15 seconds. These data packets were transmitted using Sigfox's Custom Callback function via HTTP protocol, securely redirected to a local Traccar server through a tunnel created with Ngrok.

The third phase involved field testing in educational institutions in Ambato. The results showed an average location accuracy of 3.5 meters and acceptable data transmission intervals, with some variations in areas with low signal strength.

It is concluded that the proposed system is technically feasible, energy-efficient, and represents a functional and scalable solution for improving student safety through IoT technologies.

Keywords: Geolocation, IoT, Sigfox, LPWAN, school tracking, Traccar, data transmission.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN IOT BASADAS EN SIGFOX PARA EL RASTREO DE ESTUDIANTES ESCOLARES DEL CASCO CENTRAL EN LA CIUDAD DE AMBATO

1.1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la implementación de sistemas de geolocalización basados en Sigfox para el monitoreo de estudiantes en Ambato enfrenta un desafío significativo: la falta de estudios comparativos sobre el rendimiento de las diferentes plataformas de visualización disponibles. Según el Instituto Nacional de Estadística y censos (INEC), la población estudiantil en Ecuador requiere soluciones tecnológicas efectivas para su monitoreo y seguridad, sin embargo, no existe una evaluación sistemática de las plataformas que mejor se adapten a las necesidades específicas del contexto educativo local[1].

Las instituciones educativas de Ambato que buscan implementar sistemas de geolocalización Sigfox se enfrentan a una variedad de plataformas de visualización, cada una con diferentes características y capacidades. La ausencia de información comparativa sobre la precisión, facilidad de integración y rendimiento de estas plataformas en diferentes escenarios educativos dificulta la toma de decisiones efectivas para su implementación. Esta situación se ve agravada por la falta de datos sobre el comportamiento de estos sistemas en diferentes entornos urbanos y condiciones de operación específicas de la ciudad [2].

Actualmente, el Ministerio de Educación reporta que las instituciones educativas de Ambato carecen de información técnica validada sobre la efectividad de las diferentes plataformas de visualización que podrían integrarse con dispositivos Sigfox[3].

La carencia de datos comparativos genera una incertidumbre significativa en aspectos clave relacionados con la implementación de plataformas de geolocalización para el rastreo de estudiantes. Entre estos aspectos se encuentra la precisión real de las diferentes tecnologías en la localización, la facilidad de integración de los dispositivos Sigfox con dichas plataformas y el desempeño en diversos escenarios educativos, como zonas urbanas, rurales y edificios escolares. Asimismo, esta falta de información dificulta evaluar la confiabilidad de la transmisión de datos en tiempo real, lo que limita la capacidad de las instituciones para tomar decisiones informadas y asegurar soluciones efectivas [3].

1.2 Antecedentes investigativos

A continuación, se referencian tesis y Artículos científicos que se han realizado en la misma línea de investigación, las cuales se relacionan en el desarrollo de sistemas de geolocalización y rastreo de estudiantes.

En la Universidad Técnica de Ambato, en el año 2024, Edison Fernando Cando Toapanta llevo a cabo la investigación de "Sistema de comunicación IOT para el rastreo y localización de niños con tecnología Sigfox para la ciudad de Ambato, Ecuador". Este proyecto se centro en la seguridad de los niños es una prioridad indiscutible en cuidad de Ambato, ya que. La puesta en marcha de un sistema inteligente fundamentado en la tecnología Sigfox para su seguimiento satisface la urgencia de proporcionar una solución fiable y asequible. Este enfoque busca tranquilizar a padres y a la sociedad en general, ofreciendo una herramienta efectiva ante situaciones de peligro o extravío que pueden generar preocupación y ansiedad en las familias. La innovación tecnológica se convierte así en un aliado esencial para la protección de los más pequeños en esta área. El sistema electrónico de seguimiento y localización se ocupa de recolectar datos en tiempo real, recogiendo información de localización como latitud, longitud, temperatura del aparato y estado de la batería. Este sistema se materializa en un prototipo físico que puede transportarse dentro de una maleta y enviar información en intervalos de tiempo de 15 segundos, utilizando la capacidad de transmisión de datos de la tecnología Sigfox. Para transmitir estos datos

geográficos, se utiliza la función Custom Callback, en la que se definen parámetros como el tipo de comunicación, la configuración del payload y la URL. Esta función sigue la estructura del protocolo OsmAnd y funciona en el puerto 5055 para establecer comunicación con el servidor Traccar. Para visualizar estos datos, la herramienta Traccar establece una conexión con la nube de Sigfox mediante el protocolo HTTP usando un proxy ngrok. Este proxy posibilita la creación de túneles seguros y veloces, exponiendo de manera temporal servidores locales a internet, simplificando el acceso a servicios o aplicaciones locales desde internet[4].

Traccar facilitará a los usuarios la exposición de los datos recolectados en un panel de gestión que presenta todas las variables de seguimiento y ubicación del prototipo, junto con un mapa que especifica el camino seguido, proporcionando así datos exactos sobre su camino de manera integral y ordenada[4].

En la Universidad Nacional de Loja, en el año 2023, el Ing. Pablo Andrés Rojas Mora llevó a cabo un "Estudio Comparativo de seguridad y cobertura en las tecnologías de IoT: LoRaWAN y Sigfox" [5]. Este proyecto destaca el aumento exponencial en la cantidad de dispositivos conectados a Internet en los últimos años, lo que ha contribuido al rápido crecimiento del Internet de las Cosas (IoT). Sin embargo, no todos los dispositivos IoT establecen su conexión a través de redes convencionales como Wi-Fi y redes celulares. Las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) están diseñadas para vincular dispositivos que requieren tasas de transferencia de datos bajas, una duración prolongada de la batería y la capacidad de operar en ubicaciones remotas. Esto incluye dispositivos IoT que necesitan conectividad en sectores tan diversos como la agricultura, la industria, la logística, la manufactura, el transporte, la energía y la salud [5].

Este análisis presenta una comparación de cobertura y seguridad entre LoRaWAN y Sigfox, dos tecnologías de LPWAN IoT que, a pesar de ser parecidas en varias áreas, exhiben modelos empresariales muy diferentes. Se realiza una revisión exhaustiva de las características técnicas que rigen estas tecnologías para comprender y comparar sus fortalezas y debilidades en el competitivo mundo del IoT. Para llevar a cabo una comparativa válida, se utilizó un software de simulación de cobertura, lo que permitió

analizar los resultados obtenidos. Además, se examinaron los distintos enfoques de seguridad de Sigfox y LoRaWAN frente a las amenazas que pueden enfrentar[5].
Los resultados de la investigación revelaron que, en términos de cobertura, LoRaWAN ofrece una mayor extensión geográfica en comparación con Sigfox, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones que requieren conectividad en áreas rurales o de difícil acceso. Sin embargo, Sigfox demostró ser más eficiente en la gestión del consumo de energía, lo que se traduce en una mayor duración de la batería para dispositivos que operan en entornos urbanos. En cuanto a la seguridad, se identificaron diferencias significativas en los enfoques de ambas tecnologías. LoRaWAN implementa un sistema de encriptación de extremo a extremo, lo que proporciona una capa adicional de protección contra posibles ataques. Por otro lado, Sigfox utiliza un enfoque más simplificado, lo que puede ser una ventaja en términos de facilidad de uso, pero también presenta vulnerabilidades que deben ser consideradas[5].

En el año 2022, en la Escuela Politécnica Nacional, los investigadores Ayala Guachamín Jefferson Javier llevaron a cabo un proyecto titulado “Implementación de un prototipo para la localización de personas de la tercera edad utilizando una aplicación móvil con sistema operativo Android y tecnología Sigfox”. Este estudio surge como respuesta a la creciente preocupación por la desaparición de personas de la tercera edad en los últimos años, motivando la necesidad de desarrollar un dispositivo que facilite el monitoreo de su ubicación como medida preventiva [6].
El prototipo diseñado se compone de tres subsistemas interconectados. El primer componente, el subsistema sensor, es responsable de obtener la ubicación de la persona de la tercera edad mediante tecnología GPS. El segundo, el subsistema nube, utiliza la red Sigfox como medio de comunicación entre el subsistema sensor y el subsistema de la aplicación móvil, garantizando una transmisión eficiente y de bajo consumo energético. Por último, el subsistema aplicación móvil, desarrollada para dispositivos Android, permite a los usuarios consultar la ubicación en tiempo real de la persona monitoreada y establecer zonas seguras, enviando alertas en caso de que se sobrepase estas áreas[6]. El proyecto se organiza en cuatro capítulos. En el primer capítulo, se presentan los objetivos, el alcance y los conceptos generales relacionados con la tecnología Sigfox, aplicaciones para la localización de personas, lenguajes de programación, GPS y tableros de desarrollo Pycom. El segundo capítulo describe la

arquitectura y el funcionamiento del prototipo, explicando en detalle cada uno de los componentes del subsistema sensor, la comunicación entre el subsistema sensor y Sigfox, así como el desarrollo de la aplicación móvil. En el tercer capítulo, se presentan las pruebas realizadas con el prototipo, donde se evalúa el correcto funcionamiento de cada uno de los subsistemas. Los resultados obtenidos indican que el sistema es capaz de localizar con precisión a las personas de la tercera edad, con un margen de error mínimo en la transmisión de datos. Finalmente, en el cuarto capítulo, se concluye con las recomendaciones y conclusiones derivadas de la investigación, destacando la efectividad del prototipo en la mejora de la seguridad y el monitoreo de personas de la tercera edad. Se sugiere la posibilidad de implementar mejoras en la interfaz de usuario de la aplicación móvil y la ampliación del rango de cobertura del sistema. Los resultados de las pruebas realizadas con el prototipo demostraron que el sistema logró una precisión de localización de aproximadamente 10 metros en entornos urbanos, lo que es adecuado para el monitoreo de personas. Además, la utilización de la red Sigfox permitió una comunicación eficiente, con un bajo consumo de energía, lo que es crucial para dispositivos portátiles. La aplicación móvil fue bien recibida por los usuarios, quienes destacaron su interfaz intuitiva y la facilidad para establecer zonas seguras. Este prototipo no solo proporciona una herramienta de localización, sino que también contribuye a la tranquilidad de familiares y cuidadores, al ofrecer un medio efectivo para monitorear la seguridad de las personas de la tercera edad[6].

En el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, en el año 2020, el señor Calixto Rivera Héctor Jair llevó a cabo una investigación titulada “Reducción de error de geolocalización de la red Sigfox asistido por GPS”. Este estudio se centra en la mejora de la geolocalización que ofrece el sistema Sigfox, el cual presenta un considerable margen de error, dificultando la determinación precisa de la posición en el mapa mundial. Para abordar esta limitación, se propone el uso de un dispositivo GPS que permita obtener datos de geolocalización más exactos [7]. El sistema GPS, por sí solo, devuelve únicamente la ubicación solicitada por el dispositivo, sin transmitir esta información a otras plataformas, dispositivos o correos electrónicos. En este contexto, se implementó un módulo GPS Neo6m Gy-neo6mv2, que se conecta mediante un enlace serial y utiliza comandos AT para registrar la ubicación real. Esta información

es enviada a un dispositivo Arduino Uno, que a su vez transmite los datos a través de un módulo Breakout Sigfox Rcz2/4, también mediante conexión serial y comandos AT. Este enfoque permite la integración de los datos de geolocalización en una plataforma IoT, facilitando su visualización y almacenamiento [7]. El sistema desarrollado permite el envío de datos al backend de Sigfox, lo que posibilita la visualización de las coordenadas en una página web y su redirección a un servidor thinger.io para su almacenamiento y representación en un mapa. Para evaluar la efectividad del sistema, se comparó la exactitud de las coordenadas de latitud y longitud obtenidas con las proporcionadas por Google Maps, así como con coordenadas estáticas previamente conocidas [7]. Los resultados de la investigación mostraron una notable reducción en el margen de error de geolocalización al utilizar el módulo GPS en combinación con la red Sigfox. Se logró una precisión significativamente mayor en la determinación de la ubicación, con un margen de error reducido a menos de 5 metros en comparación con las coordenadas estáticas. Esta mejora en la exactitud de los datos de geolocalización no solo optimiza la funcionalidad del sistema Sigfox, sino que también amplía sus aplicaciones potenciales en áreas como la logística, el monitoreo de activos y la seguridad personal [7].

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) representa un novedoso cambio de paradigma en el ámbito de las TI. El término "Internet de las Cosas", también conocido brevemente como IoT, proviene de dos palabras: "Internet" y "Cosas". Internet es un sistema mundial de redes de computación vinculadas que emplean el protocolo estándar de Internet (TCP/IP) para proporcionar servicio a miles de millones de usuarios a nivel global. Es una red de redes compuesta por millones de redes privadas, públicas, académicas, empresariales y gubernamentales, de alcance local a global, conectadas mediante una amplia gama de tecnologías de redes electrónicas, inalámbricas y

ópticas[8]. Hoy en día, más de 100 países están conectados para intercambiar datos, noticias y opiniones a través de Internet [8].



Figura 1.Internet de las cosas IoT

a. Recolección de Datos IoT en Diferentes Industrias

La recopilación de datos de dispositivos IoT está teniendo un impacto significativo en una amplia variedad de industrias, transformando procesos y creando nuevas oportunidades.

- En el sector de la automoción, empresas como Audi utilizan sus sistemas connect para recopilar datos sobre el estado de carga de vehículos eléctricos y analizar el comportamiento de conducción de los usuarios, lo que les permite ofrecer servicios más personalizados y mejorar la eficiencia de sus vehículos. Zubie ofrece soluciones de seguimiento de flotas basadas en IoT que recopilan datos GPS en tiempo real, así como información sobre la salud del vehículo y el rendimiento del conductor, lo que ayuda a las empresas a optimizar sus operaciones y mejorar la seguridad. Tesla integra una gran cantidad de sensores en sus vehículos para recopilar datos para funciones como la navegación, el streaming de música y el control remoto a través de su aplicación móvil, mejorando la experiencia del usuario y permitiendo el diagnóstico remoto de problemas [9].

- En el ámbito de los hogares inteligentes, los electrodomésticos LG ThinQ recopilan datos sobre su funcionamiento y las necesidades de mantenimiento, enviando notificaciones a los usuarios a través de una aplicación móvil para mejorar la comodidad y potencialmente prolongar la vida útil de los dispositivos. Los electrodomésticos Samsung Smart permiten a los usuarios gestionar tareas de forma remota, como programar la limpieza de aspiradoras robot o recibir alertas sobre puertas de refrigeradores abiertas. Las cámaras de seguridad Wyze recopilan video que los usuarios pueden ver en tiempo real desde cualquier lugar, mejorando la seguridad de sus hogares. Los termostatos inteligentes aprenden de los hábitos de los residentes y monitorean las condiciones climáticas para ajustar automáticamente la temperatura interior, lo que se traduce en ahorros de energía y mayor comodidad [10].

- La gestión de energía es otra área donde la recopilación de datos de IoT juega un papel crucial. Las redes inteligentes utilizan datos en tiempo real sobre la demanda y la generación de energía para optimizar la distribución y gestionar la integración de fuentes de energía renovable. Los medidores inteligentes recopilan datos precisos sobre el consumo de energía en hogares y empresas, proporcionando información valiosa tanto a los consumidores como a los proveedores. Electrolux utiliza datos de sensores IoT en sus electrodomésticos para analizar patrones de uso y optimizar el consumo de energía, contribuyendo a la eficiencia energética y la sostenibilidad [11].

- En la agricultura inteligente, los sensores IoT recopilan datos sobre la humedad del suelo, la temperatura, los niveles de nutrientes y otras variables importantes para optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, lo que conduce a una mayor productividad y a prácticas más sostenibles. Se están utilizando máquinas autónomas controladas por sistemas IoT para realizar tareas agrícolas de manera más eficiente y reducir la necesidad de mano de obra. Empresas como HerdDogg utilizan sensores para rastrear la ubicación y la salud del ganado, mientras que AGCO Fuse agrega datos de equipos agrícolas para ayudar a los agricultores a optimizar el rendimiento de su maquinaria [12].

- El sector de la salud también se está beneficiando enormemente de la recopilación de datos de IoT. Los dispositivos wearables monitorean continuamente las constantes vitales de los pacientes, como la frecuencia cardíaca y los niveles de glucosa en sangre, y transmiten esta información a los profesionales médicos, lo que permite la detección temprana de problemas y una atención más oportuna. Los hospitales inteligentes están conectando diversos dispositivos médicos a sistemas centrales para recopilar y analizar datos en tiempo real, lo que mejora la calidad de la atención al paciente y permite respuestas más rápidas a situaciones críticas. Empresas como Endotronix utilizan monitores cardíacos implantados que recopilan datos para la monitorización proactiva de la insuficiencia cardíaca, y Propeller Health rastrea el uso de inhaladores para ayudar a los pacientes a controlar mejor su asma [13] .

- En el ámbito del comercio minorista, los sensores IoT se utilizan para rastrear los movimientos de los clientes dentro de las tiendas, lo que permite a los minoristas personalizar las ofertas y mejorar la experiencia de compra. Los sistemas de pago inteligentes agilizan el proceso de compra, y los estantes inteligentes monitorean los niveles de inventario y activan automáticamente los pedidos cuando los productos escasean. Empresas como Enevo utilizan sensores para optimizar la gestión de residuos en los comercios, y Zippin ofrece tecnología de pago sin caja que utiliza sensores y cámaras para rastrear los artículos seleccionados por los compradores [9].

- Las urbes inteligentes están empleando la recopilación de datos de IoT para optimizar la eficacia de los servicios de la ciudad y elevar el nivel de vida de sus habitantes. Los sensores en los contenedores de basura detectan los niveles de llenado para optimizar las rutas de recolección, los sensores de estacionamiento informan sobre la disponibilidad de espacios, y los sistemas de iluminación inteligente ajustan la intensidad de las luces en función del tráfico o la hora del día. Empresas como UrbanFootprint analizan datos recopilados de dispositivos IoT para ayudar en la planificación de ciudades más sostenibles, y HAAS Alert facilita la comunicación en tiempo real entre los servicios de emergencia y los conductores para mejorar la seguridad vial [12] .

- Finalmente, en la Industria 4.0, la recopilación de datos de IoT está transformando los procesos de fabricación. Los sensores monitorean la condición de las máquinas para predecir posibles fallas, lo que permite realizar un mantenimiento predictivo y reducir el tiempo de inactividad. Se recopilan datos de producción en tiempo real para mejorar el control de calidad y automatizar diversas tareas. Empresas como Amper utilizan sensores IoT para rastrear el uso de energía y el tiempo de inactividad en las fábricas, mientras que Tulip integra datos de hardware y sensores para proporcionar información detallada sobre las operaciones de producción [10] .

b. Analisis de datos IoT Data Analytics

El análisis de datos de Internet de las cosas (IoT) implica analizar cantidades masivas de datos de dispositivos IoT. El objetivo es convertir estos datos diversos y no estructurados en información valiosa para las decisiones comerciales inteligentes. El análisis de datos de IoT también ayuda a identificar patrones en datos actuales e históricos para hacer predicciones y ajustes futuros. Entonces, el valor real de IoT radica en los datos que producen. Pero si los datos son el rey en IoT, las ideas son las joyas de la corona que las empresas codician. Las valiosas ideas que aporta una aplicación de análisis de IoT pueden resolver problemas comerciales, detectar fallas en los equipos y predecir tendencias futuras. Las organizaciones pueden descubrir patrones y tendencias previamente ocultos mediante la aplicación de técnicas de análisis avanzadas como ML y modelado predictivo. El proceso de análisis de datos de IoT tiene tres pasos: capturar y procesar datos, aplicar lógica para extraer información y producir información procesable para la toma de decisiones y las operaciones. El análisis de datos en tiempo real permite a las empresas optimizar los procesos, optimizar las operaciones y mejorar la productividad. Por ejemplo, mantenimiento predictivo impulsado por el análisis de IoT puede reducir el tiempo de inactividad y extender la vida útil del equipo [14].



Figura 2. Analisis de datos [6][14]

c. Introducción a la Geolocalización y dispositivos IoT.

La geolocalización constituye una metodología tecnológica avanzada que posibilita la determinación exacta de las coordenadas geográficas de una entidad —ya sea un objeto inanimado, un individuo o un dispositivo electrónico— en cualquier instante temporal y en cualquier punto del espacio geográfico. Esta capacidad se basa en la integración de sistemas de posicionamiento global, redes de comunicación inalámbrica y otras técnicas de localización, lo que permite mapear con precisión la ubicación de dicha entidad dentro de un marco de referencia espacial universal. Esta información se obtiene generalmente a través de sistemas globales de navegación por satélite, como el GPS, pero también puede complementarse con redes inalámbricas, torres de telefonía móvil o puntos de acceso Wi-Fi. El concepto de geolocalización ha evolucionado significativamente [15].

Por otro lado, el Internet de las Cosas (IoT) consiste en la interconexión de dispositivos físicos a través de redes digitales, lo que permite recopilar, procesar y compartir datos en tiempo real. Este paradigma tecnológico se basa en sensores y módulos de comunicación que envían información automáticamente, eliminando la necesidad de intervención humana. La combinación de IoT y geolocalización ha transformado diversos sectores, como la logística, la agricultura y, más recientemente, la educación. En este último ámbito, estas tecnologías permiten desarrollar sistemas innovadores

para el monitoreo de estudiantes, aumentando la seguridad durante sus desplazamientos y mejorando los procesos de control dentro de las instituciones [15].

En el contexto educativo, los sistemas de geolocalización son especialmente útiles para el seguimiento de rutas escolares y actividades extracurriculares. Permiten, por ejemplo, rastrear en tiempo real a los estudiantes mientras viajan de casa a la escuela o durante excursiones escolares. Esto no solo mejora la seguridad de los estudiantes, sino que también ofrece tranquilidad a los padres y facilita la logística para las instituciones. La implementación de estas soluciones es especialmente relevante en ciudades como Ambato, donde existen tanto áreas urbanas como rurales con distintas necesidades de conectividad y monitoreo [15].

d. Red Sigfox

Sigfox despliega toda una infraestructura propietaria. La red de Sigfox se distingue por contar con una infraestructura centralizada en la nube que posibilita una conectividad a escala global, reduciendo al mínimo la afectación sobre los dispositivos terminales y la red de acceso por radio. Excluyendo los dispositivos de usuario, esta red está formada por estaciones base dotadas de radios cognitivas programables por software, las cuales se vinculan a servidores de soporte mediante una red fundamentada en el protocolo de Internet. La topología más utilizada es la estrella de estrellas. Los servidores backend, como elementos centrales de la red, se encargan de la conectividad de datos entre las estaciones base e Internet, así como del control y la gestión de las estaciones base y dispositivos finales. Una gran ventaja de esta red es que mediante HTTP Callbacks fácilmente los datos recibidos de los dispositivos finales pueden ser reenviados hacia otros servidores de cliente con el fin de gestionar aplicaciones IoT [16].

La red de acceso radio incluye diversas estaciones base vinculadas directamente a los servidores back-end, en las que cada estación base lleva a cabo funciones complejas L1 / L2, otorgando a los servidores algunas funciones L2 y L3. Los objetos, como sensores o actuadores, son los dispositivos finales que transmiten la información de la aplicación IoT. Es importante resaltar que la comunicación entre los dispositivos

finales y las estaciones base puede llevarse a cabo de forma bidireccional, aunque normalmente solo se efectúen envíos en uplink[16].

La transmisión downlink, o sea, desde las estaciones base hasta los dispositivos finales, solo puede realizarse tras una transmisión uplink [16]. En Sigfox, el número de mensajes de subida está limitado a 140 mensajes por día con un payload máximo de 12 bytes, mientras que el número de mensajes de bajada está limitado a 4 mensajes por día con un payload de 8 bytes. Estas restricciones pueden variar ligeramente según las condiciones en las que se encuentre la red. En la figura.1 se muestra la estructura de conectividad de diferentes dispositivos de la red Sigfox [16].

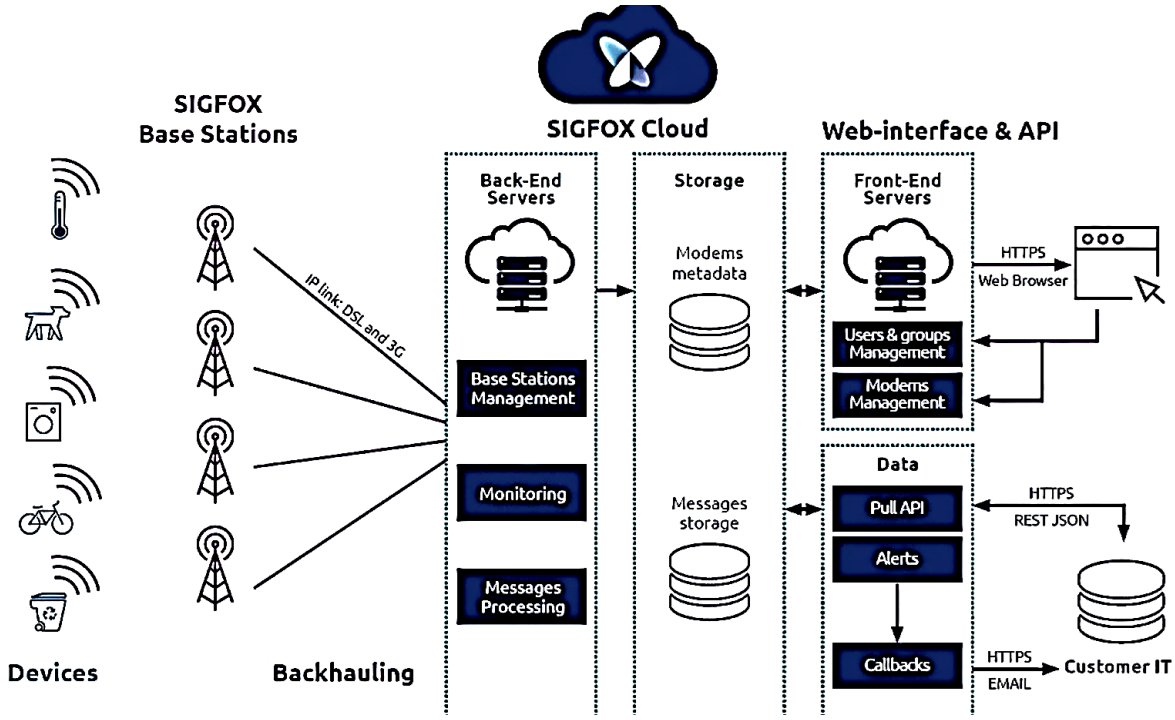


Fig. 1. Conectividad de diferentes dispositivos a la red Sigfox [16].

e. Sigfox en Sistemas IoT

Sigfox es una de las principales tecnologías de comunicación inalámbrica de bajo consumo y largo alcance (LPWAN, por sus siglas en inglés), diseñada específicamente para aplicaciones de Internet de las Cosas. A diferencia de tecnologías tradicionales como Wi-Fi o 4G, que están optimizadas para altas tasas de transferencia de datos,

Sigfox se especializa en transmitir pequeñas cantidades de información a muy bajo costo energético. Esto la convierte en una opción ideal para dispositivos IoT que requieren un funcionamiento continuo durante largos períodos con baterías de bajo consumo [17].

La red Sigfox utiliza una banda de frecuencia sin licencia, lo que permite su despliegue a nivel global sin restricciones costosas. Su arquitectura simplificada permite transmitir mensajes cortos, como datos de ubicación, de manera eficiente. En el contexto de sistemas de geolocalización, Sigfox destaca por su capacidad para mantener la conectividad en áreas remotas donde otras tecnologías, como el Wi-Fi o el LTE, podrían ser inviables debido a la infraestructura limitada o altos costos de implementación. Entre las principales ventajas de Sigfox se encuentran:
Bajo consumo energético: Los dispositivos pueden funcionar durante años con baterías estándar, lo que reduce los costos de mantenimiento y operación [17].

Cobertura extensa: Con un alcance que puede superar los 10 kilómetros en áreas urbanas y hasta 50 kilómetros en entornos rurales, Sigfox asegura una conectividad confiable en casi cualquier lugar. Bajo costo operativo: Tanto los módulos Sigfox como las tarifas de suscripción son significativamente más económicas en comparación con otras tecnologías de comunicación inalámbrica, como LTE o redes 5G [17].

El uso de Sigfox permite desarrollar un sistema de geolocalización eficiente y accesible, especialmente para el rastreo de estudiantes en entornos educativos. Los dispositivos como el Ufox DevKit y el Sens'it Discovery ofrecen capacidades avanzadas para la recopilación y transmisión de datos, adaptándose perfectamente a las necesidades de monitoreo en tiempo real. Además, la baja latencia y la capacidad de cobertura de Sigfox aseguran que los trayectos escolares puedan ser monitoreados con precisión, incluso en áreas rurales donde las tecnologías convencionales suelen fallar [17].

- **Cobertura de red Sigfox.** La red Sigfox 0G, gestionada por UnaBiz desde 2022, es una infraestructura de comunicación LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)

de bajo consumo y amplio alcance, basada en tecnología de banda ultra estrecha (UNB), que ofrece cobertura global en más de 70 países, abarcando una población superior a mil millones de personas y más de 5 millones de kilómetros cuadrados. Diseñada para conectar dispositivos IoT de bajo consumo, permite aplicaciones como el seguimiento de activos, la gestión de servicios públicos y la monitorización ambiental, impulsando soluciones masivas y energéticamente eficientes. La estrategia de expansión de UnaBiz ha reforzado su rol en el ecosistema global de IoT, y la consistencia de los datos de cobertura, respaldada por fuentes recientes, confirma su fiabilidad, aunque las diferencias en las fechas de actualización entre plataformas sugieren variaciones en la frecuencia de reporte [7] [8].

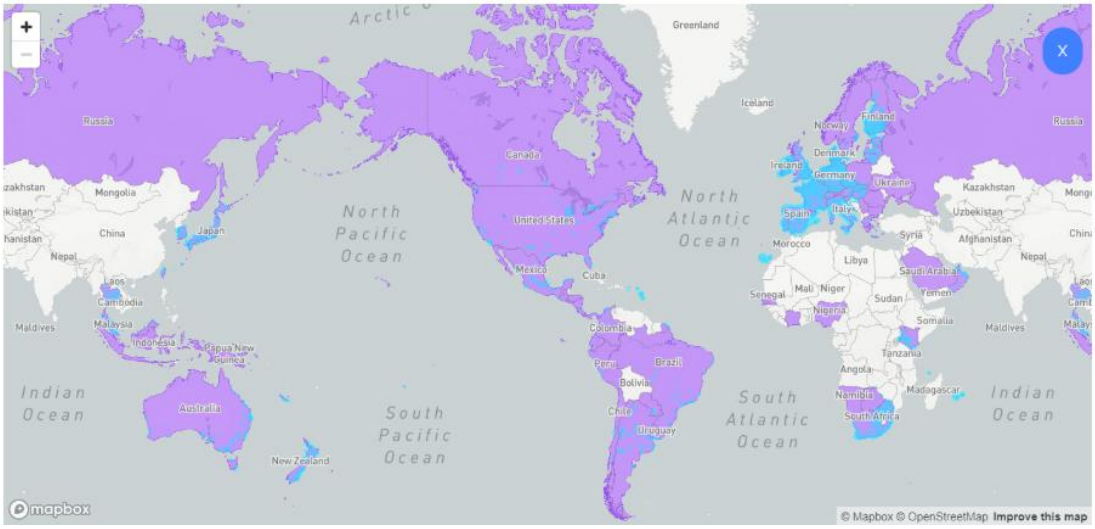


Figura 3 Mapa Global de tecnología Sigfox [8].

f. Tecnología IoT basada en Sigfox.

La tecnología Sigfox se ha posicionado como una solución óptima para dispositivos IoT debido a su capacidad para operar en condiciones de baja potencia, lo que permite mantener dispositivos conectados durante largos periodos de tiempo sin necesidad de recargas frecuentes. Esta red es particularmente útil en escenarios donde se requiere transmitir datos de ubicación en tiempo real y a bajo costo. En el contexto del rastreo estudiantil, Sigfox ofrece ventajas significativas,(Cobertura y conectividad) Sigfox

cubre amplias áreas geográficas, incluyendo zonas urbanas y rurales, lo que lo hace ideal para aplicaciones educativas en regiones como Ambato [18].

Integración con plataformas de visualización: Los datos generados por dispositivos compatibles con Sigfox pueden ser fácilmente integrados en plataformas de visualización como OpenGTS, OwnTracks o GPSd. Estas herramientas permiten monitorear la ubicación de los estudiantes en tiempo real y generar reportes personalizados para usuarios específicos (padres o administradores escolares). En la figura2 muestra como es la Arquitectura de una red Sigfox para enviar datos [19].

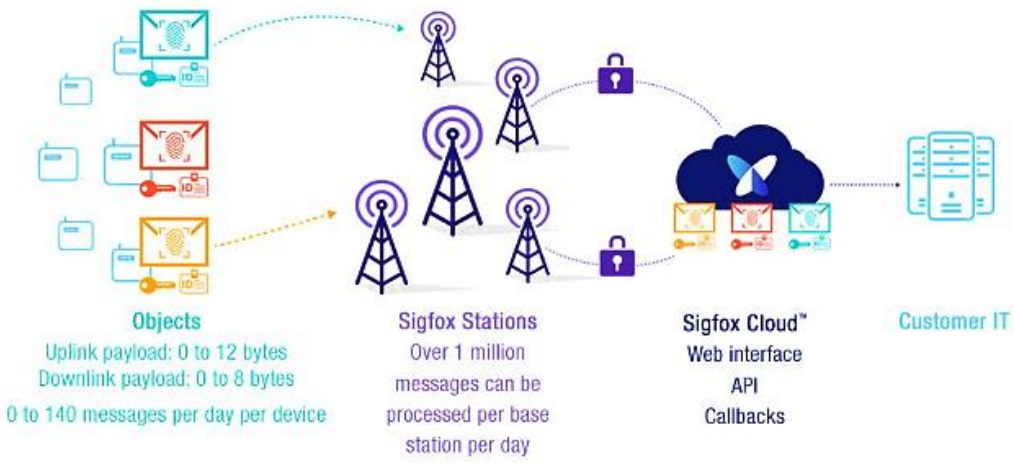


Figura 4. Arquitectura de Red Sigfox [19].

1.3.2 Comparación con otras tecnologías LPWAN

En el contexto de las tecnologías de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), Sigfox, LoRaWAN y NB-IoT destacan como soluciones clave para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), cada una con características técnicas distintivas. Sigfox, una tecnología propietaria, se caracteriza por su consumo de energía ultrabajo y su capacidad de largo alcance (hasta 50 km en áreas rurales), utilizando un enfoque de banda estrecha que lo hace ideal para aplicaciones de baja tasa de datos y transmisión poco frecuente, como monitoreo ambiental y rastreo de activos. Sin embargo, su ancho de banda limitado (100 bps) y su comunicación mayormente unidireccional restringen su uso en escenarios que requieren transferencia de datos voluminosa o frecuente. Por

otro lado, LoRaWAN, basado en un estándar abierto, ofrece un equilibrio entre tasa de datos moderada (hasta 50 kbps), comunicación bidireccional y flexibilidad, siendo adecuado para aplicaciones diversas como ciudades inteligentes y automatización industrial, aunque su uso de espectro no licenciado puede generar interferencias en entornos densos. Finalmente, NB-IoT, una tecnología celular estandarizada por 3GPP, proporciona las tasas de datos más altas (hasta 250 kbps) y la menor latencia, aprovechando el espectro licenciado para garantizar comunicación confiable y segura, lo que lo hace óptimo para aplicaciones en tiempo real o con movilidad, como vehículos conectados. No obstante, su mayor consumo energético y costos de implementación pueden limitar su adopción en ciertos casos. La elección entre estas tecnologías depende de las necesidades específicas de la aplicación IoT, incluyendo restricciones de energía, requerimientos de datos y entorno de despliegue. Es importante considerar cómo se compara con otras tecnologías LPWAN disponibles en el mercado, como LoRaWAN y NB-IoT [20].

Característica	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Alcance Típico (Rural)	Hasta 40 km	Hasta 15 km	Depende de la red celular (fuerte en áreas urbanas)
Alcance Típico (Urbano)	Variable	2-5 km	Fuerte
Infraestructura Propia	No se pueden desplegar estaciones base propias	Requiere gateways, pero fácil de configurar para redes privadas	Se basa en la infraestructura de la red celular existente
Roaming	Roaming global facilitado por un único contrato	El roaming entre operadores es posible, pero más complejo	El roaming depende de los acuerdos entre operadores de redes móviles
Cobertura Global	Amplia cobertura en regiones	Cobertura depende del despliegue de	Cobertura celular amplia, pero no

	habilitadas, red gestionada global	gateways y operadores de red	siempre roaming sin problemas

Tabla 1. Comparativa de tecnologías LPWAN [20].

- **Funcionamiento de la Red Sigfox**

Sigfox es una tecnología de comunicación diseñada para el Internet de las Cosas (IoT), que opera en el espectro de radio sin licencia utilizando técnicas de modulación de banda ultra estrecha (UNB) [21]. Esta modulación permite transmisiones de largo alcance con un consumo energético mínimo, ideal para dispositivos IoT que requieren una vida útil prolongada de la batería [22].

Arquitectura de Red: La red Sigfox se organiza en una topología de estrella. Esto significa que cada dispositivo final, como un sensor o un rastreador, se comunica directamente con una o varias estaciones base. A diferencia de las redes en malla, donde los dispositivos pueden comunicarse entre sí para reenviar datos, en Sigfox, la comunicación es siempre entre el dispositivo y la estación base. Las estaciones base actúan como puntos centrales que reciben los mensajes de los dispositivos dentro de su área de cobertura. Estos mensajes luego se reenvían a la infraestructura central de la red Sigfox, que reside en la nube. Esta arquitectura simplificada reduce la complejidad y el costo de los dispositivos finales y contribuye al bajo consumo de energía [23].

Banda de Frecuencia ISM sin Licencia: Sigfox opera en las bandas de frecuencia ISM (Industrial, Científica y Médica) de sub-GHz que no requieren licencia para su uso. Estas bandas son accesibles a nivel mundial, aunque las regulaciones específicas pueden variar ligeramente de un país a otro [23]. La utilización de espectro sin licencia permite reducir significativamente los costos operativos de la red. Sin embargo, también implica que Sigfox debe gestionar posibles interferencias de otros dispositivos que operan en las mismas bandas. La elección de frecuencias sub-GHz proporciona

una mejor propagación de la señal y penetración en obstáculos en comparación con frecuencias más altas, lo cual es crucial para lograr una amplia cobertura [23][24].

Modulación D-BPSK: Sigfox utiliza la modulación D-BPSK para transmitir datos de los dispositivos a las estaciones base. Esta técnica de modulación se caracteriza por su robustez frente al ruido y su eficiencia en términos de consumo de energía. En D-BPSK, la información no se codifica en la fase absoluta de la señal, sino en el cambio de fase entre símbolos consecutivos. Esto simplifica el diseño del receptor y reduce los requisitos de energía. La señal transmitida ocupa un ancho de banda muy estrecho, de aproximadamente 100 Hz (banda ultra estrecha), lo que ayuda a minimizar las interferencias y maximizar la sensibilidad del receptor [24].

Tasa de Datos Baja: Sigfox se considera una red de bajo rendimiento debido a su tasa de datos relativamente baja, con un máximo de 100 bits por segundo [24]. Esta limitación es una compensación deliberada para lograr los objetivos principales de Sigfox: bajo consumo de energía, largo alcance y bajo costo. La transmisión de pequeñas cantidades de datos de forma intermitente es suficiente para muchas aplicaciones de IoT, como la lectura de contadores, la monitorización ambiental, el seguimiento de activos y la detección básica. La baja tasa de datos también contribuye a una mejor sensibilidad del receptor y a un mayor alcance de la señal [24].

Proceso de Comunicación End-to-End: El proceso de comunicación en la red Sigfox comienza cuando un dispositivo final necesita enviar información. Utilizando la modulación D-BPSK en la banda de frecuencia adecuada, el dispositivo transmite un mensaje corto. Varias estaciones base que estén dentro del alcance pueden recibir este mensaje simultáneamente. Luego, estas estaciones base reenvían los datos recibidos a la red central de Sigfox a través de conexiones de red IP. En la infraestructura de la nube de Sigfox, los mensajes se procesan, se autentican y se ponen a disposición de las aplicaciones de usuario a través de interfaces API [23]. Este proceso asegura la entrega de mensajes, incluso si son recibidos por múltiples estaciones base, ya que el backend de Sigfox se encarga de la deduplicación y el enrutamiento adecuado [23].

Bajo Consumo de Energía para una Larga Vida Útil de la Batería: El bajo consumo de energía es una característica fundamental de la tecnología Sigfox, lo que permite que los dispositivos alimentados por batería funcionen durante años sin necesidad de reemplazo o recarga. Esto se logra mediante varios factores, incluyendo la transmisión de mensajes cortos, la baja tasa de datos, el uso de una modulación eficiente en energía

y un protocolo de comunicación simple. Los dispositivos Sigfox suelen estar en modo de suspensión profunda la mayor parte del tiempo, activándose solo brevemente para transmitir datos. Esta eficiencia energética es crucial para aplicaciones de IoT desplegadas en lugares remotos o de difícil acceso, donde el mantenimiento de la energía puede ser costoso o impracticable [23][25].

- **Aplicación en el Entorno Educativo**

En el ámbito educativo, la implementación de sistemas de geolocalización tiene como objetivo principal mejorar la seguridad estudiantil. Estos sistemas, que forman parte del Internet de las Cosas (IoT), se integran con tecnologías de rastreo avanzadas que permiten conocer con precisión la ubicación de los estudiantes en tiempo real. Esto resulta especialmente útil durante su trayecto hacia la escuela, ya que los padres y educadores pueden monitorear su desplazamiento y asegurarse de que lleguen a su destino de manera segura. Además, durante actividades extracurriculares, como excursiones o eventos deportivos, la geolocalización proporciona una capa adicional de seguridad, permitiendo a los responsables de la actividad tener un control más efectivo sobre la ubicación de los estudiantes en situaciones de emergencia, estos sistemas pueden ser cruciales, ya que permiten una respuesta rápida y eficiente [26].
Al tener acceso a datos sobre los patrones de movilidad de los estudiantes, las instituciones educativas pueden optimizar rutas de transporte escolar, planificar mejor las actividades y, en general, crear un entorno más seguro y eficiente para el aprendizaje [26].

Tabla 1. Aplicaciones en el Entorno Educativo

Precisión en la localización	Los dispositivos Sigfox logran una alta exactitud en la transmisión de datos geolocalizados. Esto es crucial para minimizar riesgos relacionados con la pérdida de estudiantes o retrasos en rutas escolares

Impacto en la seguridad estudiantil	Estos sistemas fortalecen la confianza de los padres y el personal educativo al proporcionar alertas en tiempo real y un monitoreo constante.

- **Internet de las cosas (IoT) para movilidad estudiantil.**

El Internet de las Cosas (IoT) ha permitido una evolución significativa en los sistemas de rastreo al facilitar la conexión de sensores inteligentes con plataformas de análisis y visualización de datos. En el contexto educativo, dispositivos portátiles como pulseras inteligentes, chips en uniformes o sensores integrados en mochilas permiten recopilar información continua sobre el movimiento del estudiante. Estos datos pueden enviarse en tiempo real a una nube mediante protocolos de comunicación como MQTT o HTTP, permitiendo el monitoreo en aplicaciones móviles o sistemas administrativos escolares [27].

Además de permitir la localización, algunos sistemas pueden registrar eventos clave como entradas y salidas del aula, tiempos de permanencia en zonas específicas o incluso niveles de actividad física. Esta integración de hardware y software fortalece la construcción de ambientes escolares inteligentes, donde se prioriza la seguridad sin comprometer la autonomía del estudiante [27].

- **Control y Monitoreo**

Los sistemas de rastreo permiten a las instituciones educativas y a los padres monitorizar la ubicación de los estudiantes durante los desplazamientos entre el hogar y el centro educativo, así como durante actividades extracurriculares, han documentado que la implementación de estos sistemas puede reducir significativamente los tiempos de respuesta ante incidentes de seguridad, proporcionando ubicaciones precisas en situaciones de emergencia [29].

La capacidad de establecer perímetros virtuales (geofencing) permite generar alertas automáticas cuando los estudiantes abandonan zonas predefinidas como seguras o ingresan en áreas restringidas [29]. Esta funcionalidad resulta particularmente útil para la gestión de grupos numerosos durante excursiones y actividades fuera del centro educativo [29].

- **Dispositivos de Rastreo Sigfox.**

Devkit Ufox

El DevKit uFOX es una placa de desarrollo diseñada específicamente para facilitar la integración de dispositivos con la red Sigfox, una tecnología de comunicación caracterizada por su bajo consumo energético y su capacidad de largo alcance, lo que la hace idónea para aplicaciones dentro del ámbito del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés: Internet of Things). Este kit fue desarrollado por la empresa UnaBiz, anteriormente conocida como Sigfox Singapore, en colaboración con TDK InvenSense. Está orientado principalmente a desarrolladores e investigadores que buscan una plataforma eficiente para prototipar de manera rápida y efectiva soluciones basadas en la red Sigfox.[30]

Parámetros técnicos	**Descripción**
Modulo Integrado	WSSFM10R1AT(Wisol Sigfox Monarch)
Frecuencia	915 Mhz
Interfaz de comunicación	UART
Programación	Via pines SWD
Alimentación	3.3V – 5VDC
Antena	Incluye antena PCB o conector UFL para antenas externas.
Indicadores Led	Tx,Rx, Reset, Estado
Botón	Reset manual
Firmware precargado	Envio de mensajes Sigfox mediante comandos AT.
Compatible con Arduino	A través del Shield Ufox
Dimensiones	Largo:66mm, Ancho:25mm, Alto:10-12 mm



Figura 5. Tarjeta electrónica Devkit Ufox [30]

Ufox Shield

El Ufox Shield es una placa adaptadora que convierte el Ufox DevKit en un shield compatible con el formato Arduino UNO, permitiendo su integración directa con placas como Arduino UNO, MEGA o Leonardo. Esta placa facilita la comunicación entre el microcontrolador y el módulo Sigfox mediante UART, y está pensada para quienes desean desarrollar aplicaciones IoT combinando la versatilidad del ecosistema Arduino con las capacidades de comunicación de Sigfox. Su diseño modular simplifica la prueba de conceptos y reduce el tiempo de desarrollo [31].

Características técnicas:

Parámetros técnicos	Descripción
Factor de forma	Shield compatible con Arduino UNO/Mega.
Interfaz	Interconexion entre Arduino y Devkit via Uart
Conexiones disponibles	Gnd, VCC, TX, Rx, RsT
Uso	Permite conectar fácilmente el Devkit Ufox a una placa Arduino sin necesidad de cables ni soldadura.
Dimensiones	Largo 68.6mm, ancho:53.4mm, altura:15mm
Ventaja principal.	Simplicidad de integración en plataformas educativas y prototipos Arduino

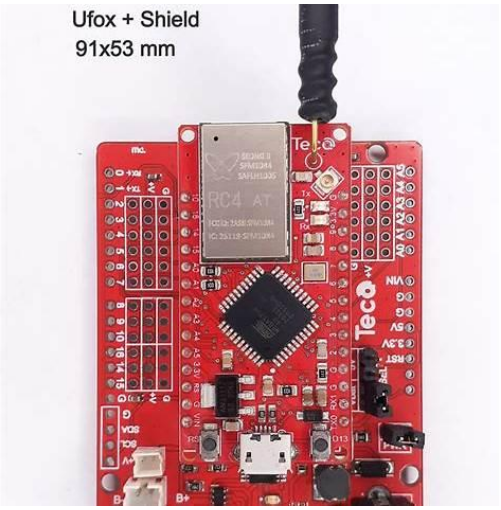


Figura 6. Sheild de Ufox.[31]

- **Sigfox**

Sigfox constituye una tecnología de comunicación inalámbrica perteneciente a las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN, por sus siglas en inglés), diseñada específicamente para aplicaciones en el contexto del Internet de las Cosas (IoT). Su arquitectura de red está optimizada para la transmisión eficiente de pequeñas cargas de datos, minimizando el consumo energético mediante el uso de modulación de banda ultra estrecha (Ultra Narrow Band, UNB). Esta característica le permite alcanzar rangos de cobertura superiores a 10 km en entornos urbanos y hasta 50 km en zonas rurales. Además, opera en bandas de frecuencia sin licencia, como la ISM de 868 MHz en Europa y 915 MHz en América, lo que facilita su despliegue global sin requerimientos regulatorios complejos. La simplicidad en la conexión de dispositivos, combinada con una velocidad de transmisión reducida y un consumo energético extremadamente bajo, permite que los nodos Sigfox funcionen durante años con una sola batería, sin necesidad de infraestructura de red por parte del usuario final, consolidándola como una solución viable para implementaciones IoT a gran escala [32].

- **Evaluación del rendimiento de plataformas de visualización**

A partir de los objetivos establecidos, nuestro proyecto tiene como objetivo valorar el desempeño de varias plataformas de visualización que manejan datos de dispositivos Sigfox en directo. Este estudio permitirá establecer cuáles instrumentos son más

eficientes para proporcionar datos precisos, fiables y de fácil comprensión en contextos educativos [33]. Planteamos examinar el intervalo de respuesta entre la transmisión de la señal del dispositivo Sigfox y su representación en la plataforma. Entre las plataformas más habituales para estas aplicaciones están OpenGTS, OwnTracks y Traccar, que proporcionan interfaces personalizables y compatibilidad con Sigfox para la creación de proyectos IoT [33].

- **Cuadro Comparativo de Plataformas IoT para dispositivos Sigfox.**

El comparativo de plataformas IoT para dispositivos Sigfox es un análisis detallado que permite evaluar las capacidades, características técnicas y funcionales de diferentes herramientas diseñadas para integrar y gestionar dispositivos conectados a la red Sigfox. Estas plataformas son fundamentales en aplicaciones de IoT, ya que actúan como un puente entre los dispositivos físicos (sensores o actuadores) y los usuarios finales, facilitando la visualización, procesamiento y toma de decisiones basadas en los datos recopilados. El siguiente cuadro comparativo evalúa plataformas IoT basadas en dispositivos Sigfox, considerando las investigaciones previas mencionadas. Los indicadores clave incluyen compatibilidad, facilidad de uso, soporte para mapas GPS, precisión de datos, y otros factores relevantes [34].

Tabla 2: Cuadro comparativo de Plataformas IoT para dispositivos Sigfox [34].

Indicador	**Blynk**	**ThingsBoard**	**Mainflux**	**OpenRemote**	**Kaa IoT**
Compatibilidad con Sigfox	Integración mediante API HTTP y MQTT	Integración nativa con Sigfox Backend	API REST y MQTT (requiere configuración)	Compatible con API mediante flujos	Compatible con HTTP y MQTT (requiere módulos)

Facilidad de uso	Intuitiva, diseño gráfico amigable	Interfaz fácil con widgets	Requiere conocimientos técnicos	Interfaz personalizable	Curva de aprendizaje inicial
Soporte para mapas GPS	Sí, incluye widgets para datos GPS	Sí, con widgets personalizables	No, requiere integración adicional	Sí, visualización geolocalizada	Sí, pero con ajustes manuales
Precisión de datos	Alta (± 5-10 m)	Alta (± 5-10 m)	Variable, depende del backend	Alta, datos en tiempo real	Alta, ajustable según configuración
Consumo energético	Optimizado para baja potencia	Diseñado para eficiencia energética	Mayor consumo inicial	Moderado	Moderado, optimizado
Costo	Gratuito (limitado)	Gratuito (comunitario)	Gratuito (código abierto)	Gratuito (código abierto)	Gratuito (código abierto)
Escalabilidad	Limitada (gratuito)	Altamente escalable	Escalable según configuración	Altamente escalable	Alta, orientada a grandes proyectos
Soporte técnico	Amplia comunidad	Comunidad activa	Soporte limitado	Soporte profesional opcional	Soporte empresarial

Los datos presentados en el cuadro comparativo fueron obtenidos y adaptados de investigaciones realizadas por autores reconocidos en el ámbito de plataformas IoT. García Macavilca (2023) analizó la integración y el control remoto de equipos a través

de plataformas como ThingsBoard, resaltando su compatibilidad y facilidad de uso [34][24]. Carrera Hidalgo (2021) exploró el desarrollo de plataformas IoT para supervisión industrial, lo que permitió destacar la escalabilidad y soporte técnico de Mainflux y OpenRemote [35]. Por último, Martínez (2021) comparó diversas plataformas cloud con servicios IoT, contribuyendo a identificar las características clave de compatibilidad y eficiencia energética de Kaa IoT[36].

- **Identificación de las plataformas más precisas de geolocalización.**

En el ámbito de las plataformas de visualización para sistemas de geolocalización IoT, diversas soluciones han demostrado niveles variables de precisión y funcionalidad. OpenGTS (Open GPS Tracking System) destaca como una solución de código abierto que ha demostrado alta fiabilidad en entornos educativos. La plataforma permite la implementación de geocercas personalizadas y un sistema robusto de alertas en tiempo real, características esenciales para el monitoreo estudiantil [37].

GpsGate, por otro lado, representa una solución empresarial más robusta, con capacidades avanzadas de análisis y reportes. Su sistema de notificaciones y la capacidad de manejar múltiples dispositivos simultáneamente la hacen particularmente adecuada para implementaciones a escala institucional [38].

OwnTracks se distingue por su enfoque en la privacidad y la facilidad de uso, características cruciales en aplicaciones educativas. La plataforma destaca especialmente en la gestión de privacidad y la personalización de interfaces de usuario[38].

Traccar ofrece un equilibrio notable entre precisión y funcionalidad. Su compatibilidad con más de 200 protocolos y una API RESTful bien documentada facilitan la integración con infraestructuras escolares existentes [39].

IoT Fleet Management emerge como una solución específicamente optimizada para redes LPWAN como Sigfox. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y generar reportes automatizados la hace especialmente útil para instituciones educativas de gran escala [40].

La selección de la plataforma más adecuada depende de diversos factores técnicos y operativos. La precisión de estas plataformas puede verse afectada por la densidad urbana, las condiciones atmosféricas y la ubicación de las estaciones base Sigfox. Estos factores deben considerarse cuidadosamente durante la fase de implementación para optimizar el rendimiento del sistema [40].

Tabla 3. Comparación de Plataformas por métricas

Plataforma	Precisión (urbana/rural)	Latencia	Interoperabilidad	Usabilidad
OpenGTS	± 5-10 m urbana / ± 10-15 m rural	15-30 s (media)	Alta interoperabilidad: código abierto, requiere integración manual.	Baja usabilidad: interfaz básica, requiere experiencia técnica para configuraciones.
GpsGate	± 3-8 m urbana / ± 8-12 m rural	10-20 s (baja latencia)	Moderada: enfoque comercial con soporte para múltiples dispositivos, pero con costo asociado.	Alta: interfaz profesional, fácil de usar y rápida implementación.
OwnTracks	± 5-10 m urbana / ± 10-15 m rural	20-30 s (media-alta)	Moderada: orientada a usuarios individuales o pequeños proyectos, soporte limitado	Moderada: diseño básico y limitada en funciones avanzadas.

			para dispositivos Sigfox.	
Traccar	± 4-9 m urbana / ± 9-14 m rural	15-25 s (media-baja)	Alta: código abierto, soporta más de 200 dispositivos GPS y opciones de personalización.	Moderada: interfaz sencilla, pero requiere conocimientos técnicos para ajustes.
IoT Fleet	± 3-7 m urbana / ± 7-12 m rural	10-20 s (baja latencia)	Moderada: solución comercial diseñada para flotas, menos flexible en personalización.	Alta: amigable para usuarios finales, con soporte profesional.

Los datos incluidos en el cuadro comparativo se basan en análisis de plataformas GPS disponibles en el mercado. Por ejemplo, OpenGTS y Traccar, al ser de código abierto, destacan en interoperabilidad, pero requieren conocimientos técnicos avanzados [37]. GpsGate e IoT Fleet presentan latencias más bajas y son más intuitivas, aunque tienen un enfoque comercial con costos asociados [38]. OwnTracks ofrece una solución básica adecuada para proyectos individuales con limitaciones técnicas [39].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Estudiar el rendimiento de plataformas de visualización de datos de geolocalización mediante dispositivos Sigfox para mejorar la seguridad y el monitoreo de estudiantes en el casco central en la ciudad de Ambato.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el desempeño de las plataformas de visualización compatibles con Sigfox en términos de precisión, latencia, interoperabilidad y usabilidad mediante la revisión de literatura científica y estudios previos.
- Diseñar un sistema de transmisión de datos geolocalizados en tiempo real utilizando dispositivos Sigfox, priorizando la eficiencia energética y la cobertura en diferentes escenarios.
- Evaluar el rendimiento de las plataformas seleccionadas mediante la medición de métricas como precisión, latencia e integración con el backend de Sigfox en escenarios controlados**.**

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El presente proyecto de investigación se centra en el desarrollo de un sistema de geolocalización basado en el Internet de las Cosas (IoT), empleando tecnología Sigfox y dispositivos especializados. Este sistema integra un sensor GPS, un microcontrolador y diversos componentes electrónicos diseñados para detectar variaciones en la ubicación física. Su función principal consiste en la recopilación de datos geoespaciales, los cuales son procesados mediante un microcontrolador programable. Posteriormente, la información procesada se transmite a un servidor en la nube, específicamente al Backend de Sigfox. Este proceso se orienta a la creación de un sistema integral de geolocalización, cuyos resultados son visualizados a través de plataformas óptimas seleccionadas. Además, se aprovecha la cobertura de la red Sigfox desplegada en la ciudad de Ambato, constituyendo un elemento fundamental para el éxito del proyecto.

2.2 Métodos

2.3 Modalidad de la investigación

El marco de investigación actual combina de manera fuerte y precisa varias metodologías aplicadas, experimentales, bibliográficas y de campo para abordar científicamente la geolocalización y la visualización de datos en el contexto de IoT a través de dispositivos Sigfox. La investigación aplicada caracteriza la capacidad técnica en IoT y la geolocalización y luego se ocupa de las plataformas de visualización de datos, considerando la facilidad de uso, la interdependencia, la escalabilidad y la precisión, identificando herramientas efectivas y sugiriendo mejoras relacionadas con el impacto aplicado. La investigación experimental aprovecha las pruebas controladas en ambientes geográficos y entornos de comportamiento para medir el desempeño de la tecnología Sigfox en términos de precisión, retraso y

autonomía de la batería, demostrando robustez y corresponsabilidad con un enfoque empírico y robusto fuerte. La investigación bibliográfica se basa en una revisión sistemática de la literatura científica y técnica para identificar patrones, desafíos y oportunidades, ofreciendo una estructura de conceptos que guíe el examen con profundidad y claridad. La investigación de campo recopila información de entornos operativos y documenta el desempeño tecnológico y la conexión del usuario a través de cuestionarios y reuniones, complementando el enfoque mediante una aplicación contextual y práctica. A través de un grupo disciplinario que se prepara con un cuidado procesal, el marco no solo amplía la percepción de la geolocalización y la percepción de datos en IoT, sino que también facilita cambios directos y asombrosos que mejoran la eficiencia de los marcos tecnológicos y relacionados con el modelo de empresa.

2.4 Recolección de información

La recolección de información para este proyecto de investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, consultando libros especializados, revistas científicas indexadas, recursos en línea de reconocida reputación técnica y académica, y documentación de proyectos previos, lo que permitió establecer una base sólida de conocimiento sobre geolocalización y tecnologías IoT, identificando metodologías validadas, mejores prácticas y configuraciones óptimas; un aspecto clave fue la configuración actual de la tarjeta Ufox para geolocalización, seleccionada como referencia por su fiabilidad comprobada, parámetros optimizados y adaptabilidad, sirviendo como modelo confiable para la implementación del sistema propuesto, con ajustes específicos para maximizar precisión, eficiencia y compatibilidad con otros componentes IoT, asegurando así que la solución final cumpla con los estándares más exigentes del campo y se alinee con los objetivos del proyecto.

2.5 Procesamiento y análisis de datos

Para el proceso y el análisis de datos en el sistema hay que considera el hardware y software más adecuado que permitan el desarrollo optimo del sistema mediante los siguientes pasos.

- Revisión de información teórica obtenida
- Determinación de materiales e implementos a ser utilizados en el prototipo
- Pruebas de funcionamiento del prototipo
- Puesta en funcionamiento del prototipo
- Almacenamiento de información sobre las ubicaciones para análisis y mejoras
- Presentación de resultados de la investigación

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción de la problemática.

En el contexto educativo de la ciudad de Ambato, la necesidad de implementar sistemas de monitoreo estudiantil mediante geolocalización ha impulsado el interés por tecnologías de bajo consumo como Sigfox. Sin embargo, las instituciones enfrentan limitaciones significativas al momento de seleccionar plataformas de visualización adecuadas, debido a la falta de estudios comparativos que evalúen su desempeño en condiciones reales de uso. Actualmente, no se dispone de información técnica validada sobre la precisión, confiabilidad en la transmisión de datos, facilidad de integración con dispositivos Sigfox ni adaptabilidad en distintos entornos educativos, como zonas urbanas, rurales o edificaciones escolares. Esta ausencia de datos genera incertidumbre en la toma de decisiones, afectando tanto la eficiencia de las inversiones tecnológicas como la efectividad de los sistemas implementados. En consecuencia, se evidencia un vacío de conocimiento que dificulta el desarrollo de soluciones tecnológicas óptimas para garantizar la seguridad y el seguimiento en tiempo real de los estudiantes en el entorno educativo ambateño.

3.2 Esquema del Sistema.

El esquema del sistema para el proyecto de investigación se basa en una arquitectura IoT que permitirá monitorear la posición de un estudiante mediante una red con tecnología 0G. En la Figura, muestra la arquitectura IoT, cada una de las cuatro etapas que son: Adquisición de datos, comunicación IoT, almacenamiento y procesamiento de datos y plataforma de visualización. [41]

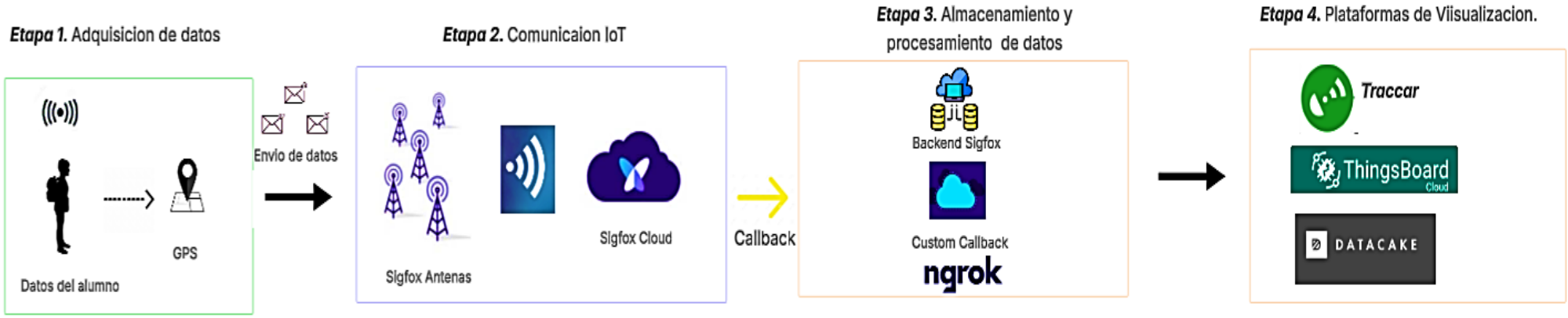


Figura 7. Esquema del Sistema.

En la Figura 7, junto con el desarrollo presentado en las secciones 3.3.1 a 3.3.4, se demuestra de manera integral el cumplimiento del objetivo específico 2, correspondiente al diseño de un sistema de transmisión de datos geolocalizados en tiempo real mediante dispositivos Sigfox. La implementación del prototipo, que incluye el módulo GPS NEO-6M, el Devkit Ufox y un sistema de alimentación autónomo, refleja una arquitectura funcional, eficiente en consumo energético y viable para escenarios reales de monitoreo estudiantil. Asimismo, el diseño del case y la integración electrónica validan la portabilidad y robustez del sistema en condiciones de movilidad urbana.

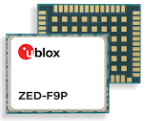
3.2.1 Etapa de adquisición de datos.

De acuerdo con el sistema, el dispositivo portátil posee un módulo GPS de alta exactitud que establece las coordenadas geoespaciales, lo cual es provechoso para el mapeo dinámico de los estudiantes en el ambiente urbano. Este módulo se integra en una plataforma de IoT, que emplea un microcontrolador para gestionar el almacenamiento de datos de carácter temporal y el intercambio de datos. La comunicación se efectúa mediante el protocolo Sigfox, una tecnología LPWAN (Red de Área Amplia de Bajo Consumo) que permite el envío de datos con un bajo consumo energético y una amplia cobertura geográfica, lo que la convierte en la mejor opción para el caso de monitorización continua. La información que se transmite es procesada y visualizada en una plataforma.

g. Selección de módulos.

La selección de los componentes electrónicos que forman el sistema se basó en factores de compatibilidad funcional, eficiencia energética y facilidad de integración. Considerando que el objetivo del proyecto es implementar un sistema de seguimiento mediante la tecnología Sigfox, se otorgó prioridad al uso de componentes que cumplen con las demandas de consumo reducido, transmisión confiable de datos y funcionamiento en contextos reales. Esta etapa resultó esencial para garantizar la estabilidad del sistema, mejorar la creación del prototipo y asegurar la interoperabilidad entre los diferentes subsistemas. A continuación, se detalla el motivo técnico que sustenta cada módulo que se ha empleados.

Tabla 4. Módulos de posicionamiento Global.[42][43][44]

Parámetro	**NEO-6M** 	**NEO-M8N** 	**ZED-F9P** 
Sensibilidad (seguimiento)	-161 dBm	-167 dBm	-167 dBm
Sensibilidad (adquisición)	-147 dBm	-149 dBm	-148 dBm
Precisión (posición)	2.5 m CEP	1.5 m CEP	±0.01 m (RTK)
Precisión (velocidad)	0.1 m/s	0.05 m/s	0.03 m/s
Precisión (tiempo PPS)	30 ns	30 ns	20 ns
Tiempo adquisición (frío)	27 s	26 s	25 s
Tiempo adquisición (caliente)	1 s	1 s	<1 s
Tiempo readquisición	0.1 s	0.1 s	<0.1 s
Consumo de energía	45 mW	40 mW	85 mW
Corriente (seguimiento)	37 mA	29 mA	50 mA
Voltaje (seguimiento)	3.3 V	3.3 V	3.3 V
Voltaje (adquisición)	3.3 V	3.3 V	3.3 V
Corriente (adquisición)	37 mA	29 mA	50 mA
Tipo de receptor	Single GNSS	Multi-GNSS	Multi-GNSS dual banda
Banda de frecuencia	L1 (1575.42 MHz)	L1 (1575.42 MHz)	L1/L2
Canales de búsqueda	50	72	184
Temperatura de operación	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C
Dimensiones (mm)	16 x 12.2 x 2.4	16 x 12.2 x 2.4	22 x 17 x 2.4
Dimensiones del contorno	16 x 12 mm	16 x 12 mm	22 x 17 mm
Frecuencia central	1575.42 MHz	1575.42 MHz	1575.42 / 1227.60 MHz
Ancho de banda	2 MHz	2 MHz	2 MHz
Polarización	RH	RH	RH
Relación Axial	<3 dB	<3 dB	<3 dB
Impedancia	50 Ω	50 Ω	50 Ω

Se seleccionó el módulo GPS NEO-6M debido a sus propiedades que superan a las de un módulo GPS tradicional. Este aparato proporciona una precisión destacada de 2,5 metros, que supera la de numerosas unidades GPS convencionales, y un tiempo de

captura de señal altamente breve, lo que simplifica la adquisición de datos de localización en tiempo real con la mínima latencia. Además, el NEO-6M tiene la capacidad de seguir hasta 22 satélites al mismo tiempo, lo que incrementa notablemente la estabilidad y confiabilidad del posicionamiento incluso en contextos con barreras. Un elemento crucial es su reducido consumo energético, lo que los convierte en perfectos para aplicaciones portátiles con restricciones de batería, en contraposición al GPS estándar, que generalmente resulta menos eficiente en este sector. En suma, estos beneficios hacen que el NEO-6M sea la elección más adecuada para el proyecto, asegurando un desempeño ideal en cuanto a exactitud, rapidez y eficacia energética.

h. Selección de Microcontrolador.

Elegir un microcontrolador es un paso crucial en el diseño de sistemas embebidos, ya que este elemento actúa como el núcleo que dirige las operaciones y armoniza la interacción con otros componentes del sistema. Dentro de un proyecto tecnológico, la selección del microcontrolador correcto se transforma en un elemento crucial para asegurar que el sistema alcance las metas propuestas, considerando tanto las exigencias técnicas como las restricciones de recursos.

Para abordar esta decisión, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las opciones disponibles en el mercado. Este proceso consideró elementos cruciales como el rendimiento, el consumo energético, la facilidad de programación, la compatibilidad con sensores y periféricos, y el respaldo proporcionado por la comunidad de programadores. Se llevó a cabo un análisis detallado de cada uno de estos componentes, priorizando un equilibrio entre eficiencia y capacidad de procesamiento, especialmente debido a que el sistema requería ser portátil y operar de manera autónoma.

Tabla 5. Módulos de Comunicación Inalámbrica Sigfox [45]

Parámetros Técnicos	**Devkit Ufox** 	**TinyFox** 	**LPWAN Sigfox Node** 
Microcontrolador	ATmega32U4	ATmega328p	ATmega328p
Módulo de comunicación	WISOL SFM10R4	WISOL SFM10R4	WISOL SFM10R1
Conector de antena	UFL	UFL	UFL
Región de RF	RC4	RC4	RC1
Frecuencia Uplink	920.8 MHz	920.8 MHz	868.13 MHz
Frecuencia Downlink	922.3 MHz	922.3 MHz	869.525 MHz
Potencia Tx	22.4 dBm	23 dBm	22.4 dBm
Sensibilidad Rx	-127 dBm	-129 dBm	-127 dBm
Antena integrada	Helicoidal 3 dBi	Helicoidal 3 dBi	No
Temperatura	-30 °C a +85 °C	-30 °C a +85 °C	-30 °C a +85 °C
Dimensiones (mm)	24,31 x 14,97	24,31 x 14,97	24,31 x 14,97
Serial UART	Rx, Tx	Rx, Tx	Rx, Tx
Velocidad	9600 baudios	9600 baudios	9600 baudios
Voltaje de operación	3.3 V	3.3 V	3.3 V
Voltaje de entrada	5 V	2.5 – 3.9 V	1.8 – 3.6 V
Consumo corriente Tx	40 mA	30 mA	15 mA
Consumo corriente Rx	40 mA	30 mA	15 mA

Se empleó el Devkit UFOX para el sistema de geolocalización, que incorpora el módulo WISOL SFM10R4, que es compatible con la red Sigfox en la región RC4, que corresponde a América del Sur. Este prototipo funciona en la banda de 920–923 MHz y facilita la transmisión de datos a través de enlaces de banda ultraestrecha (UNB) con un consumo energético reducido. El devkit proporciona comunicación UART, lo que

permite su integración con módulos GPS para obtener y transmitir coordenadas geográficas. Su ejecución se basa en su tamaño reducido, sencillez de manejo, compatibilidad con librerías para la codificación de mensajes y certificación en la red Sigfox. Estas características posibilitaron la comprobación del sistema en el terreno sin la necesidad de crear un hardware a medida.

3.2.2 Etapa de comunicación IoT.

La etapa de comunicación en un sistema IoT que utiliza Sigfox representa una opción efectiva dentro del paradigma LPWAN, permitiendo la transmisión de pequeños paquetes de datos (hasta 12 bytes y máximo 140 mensajes al día) con un consumo energético extremadamente reducido gracias a su modulación Ultra Narrowband (canales de únicamente 100 Hz uplink y 600 Hz downlink). Su arquitectura de estrella de un solo salto une directamente los dispositivos IoT a las estaciones base, las cuales envían la información a través de enlaces 3G/4G hacia el backend de la red. A partir de ese punto, los datos se transmiten a la aplicación final mediante HTTP o APIs, mejorando tanto la sencillez en las operaciones como el gasto de implementación. Gracias a su diseño pasivo y de muy bajo consumo, los dispositivos pueden operar por varios años sin reemplazo de batería, haciéndolos ideales para monitoreo, como se muestra en la figura 8.

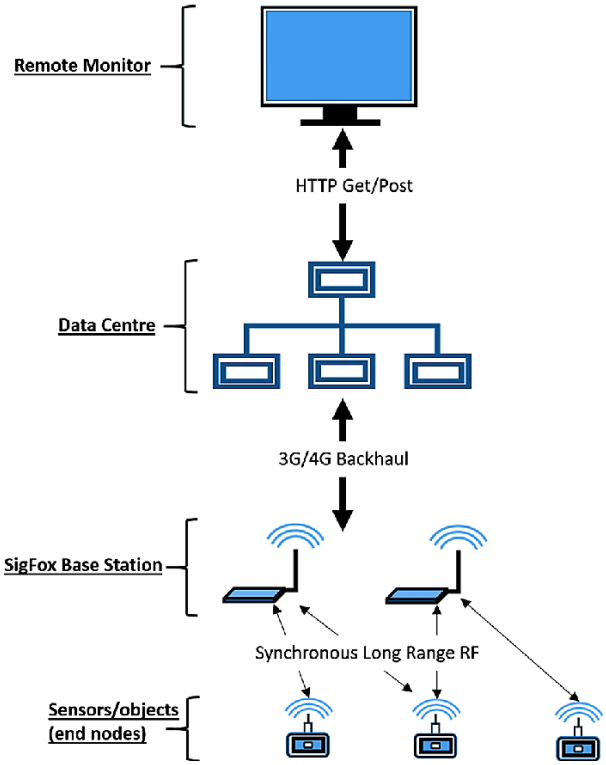


Figura 8. Arquitectura de etapa de comunicación Sigfox.

El uso de la tecnología Sigfox en proyectos de IoT en la ciudad de Ambato, puede justificarse por una serie de cuestiones técnicas y operativas. La red LPWAN Sigfox, operada en Ecuador por WND, se desplegó en la mayoría de las principales ciudades del país, incluida Ambato y no implica la necesidad de instalar infraestructura adicional. Sigfox opera en banda RCZ4 en la modulación Ultra Narrowband en 920 MHz y transmite mensajes cortos de hasta 12 bytes a una frecuencia no superior a 140 mensajes por día con un consumo mínimo de energía. Dicha infraestructura le permite a sus dispositivos funcionar varios años con baterías de baja capacidad. Otro punto a favor de Sigfox es su arquitectura de red en estrella y un backend centralizado, ambos factores facilitan el desarrollo y el uso de sistemas y reducen los gastos operativos.

- **Mapa de Cobertura de la red Sigfox.**

Ecuador es uno de los países donde Sigfox tiene presencia, y se ha reportado el uso de esta tecnología en Ambato para un sistema de rastreo y localización de estudiantes, lo que indica la existencia de cobertura en al menos parte de la ciudad. No obstante, la

extensión exacta y la calidad del servicio dependerían de la infraestructura desplegada por el operador local de Sigfox en Ecuador. Para aplicaciones que requieren una conectividad confiable, es esencial consultar los mapas de cobertura proporcionados por el operador o realizar pruebas de campo en las áreas específicas de interés [46].

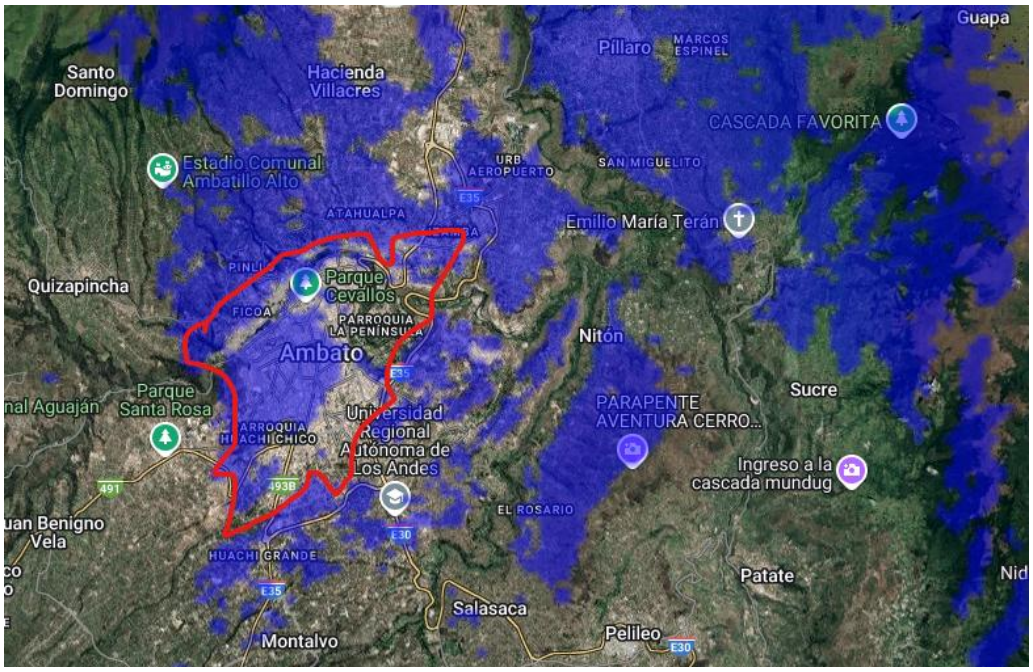


Figura 9: Mapa de Cobertura de Red Sigfox.

3.2.3 Etapa de procesamiento de datos y almacenamiento.

Durante la tercera fase de operación de la tecnología Sigfox, el backend desempeña un rol crucial al tomar responsabilidad de la recepción, almacenamiento y procesamiento de los datos enviados por dispositivos como Ufox. Esta plataforma central posibilita verificar y examinar los datos obtenidos, además de redirigirlos hacia servicios externos o aplicaciones particulares de acuerdo con las demandas establecidas por el usuario. El backend, por su eficaz administración, simplifica la visualización de los datos y la realización de acciones automatizadas, transformándose en un instrumento esencial para el desarrollo de soluciones inteligentes fundamentadas en IoT.

i. Selección de Callbacks.

Es indispensable elegir y implementar adecuadamente los Callbacks en el backend de Sigfox para asegurar una comunicación eficaz entre los dispositivos y las plataformas de visualización o almacenamiento. Así, la Tabla 6 sintetiza comparativamente las funciones más significativas de tres tipos de Callback existentes en la red Sigfox: Azure Hub IoT, Callback Personalizado y AWS IoT Hub IoT de Microsoft Azure. Esta comparación se ha realizado teniendo en cuenta elementos esenciales como la personalización, la integración con servicios en la nube, la escalabilidad, la seguridad y la facilidad de implementación, todos estos aspectos están en sintonía con las demandas funcionales del prototipo desarrollado.

Tabla 6. Funciones disponibles del callback.[47]

Funciones Callback	**Custom Callback**	**AWS IoT**	**Microsoft Azure IoT Hub**
Personalización	Alta: permite definir método, headers, URL y cuerpo del mensaje	Media: mediante reglas y plantillas MQTT	Media: mediante plantillas y configuración basada en dispositivos
Integración con servicios cloud	Limitada a APIs REST o servidores externos	Completa: compatible con Lambda, S3, DynamoDB, etc.	Completa: compatible con Stream Analytics, Power BI, Azure Functions, etc.
Escalabilidad	Moderada: depende de la capacidad del servidor receptor	Alta: soporta millones de mensajes y dispositivos	Alta: diseñada para entornos empresariales e industriales con millones de dispositivos
Seguridad	Depende del servidor	Alta: autenticación con certificados, cifrado TLS	Alta: control por dispositivo, tokens,

	implementado (TLS recomendado)		certificados y acceso granular
Mantenimiento y gestión	Totalmente gestionado por el usuario (autoalojado)	Mínimo: infraestructura y mantenimiento a cargo de AWS	Mínimo: mantenimiento gestionado por Azure
Recepción bidireccional (Downlink)	Soportado si se implementa manualmente en el servidor	Soportado con reglas MQTT	Soportado a través de IoT Hub
Facilidad de implementación	Requiere conocimientos de APIs y servidores	Guiado con plantillas y configuración en consola AWS	Guiado con plantillas en Azure Portal
Tipo de datos aceptados	Personalizable (JSON, URL encode, texto plano, etc.)	MQTT estructurado	MQTT y eventos estructurados
Monitoreo y análisis	Limitado a lo que ofrezca el servidor externo	Amplio: CloudWatch, AWS IoT Analytics	Amplio: Azure Monitor, Stream Analytics

Durante la realización de este proyecto, decidió emplear el Custom Callback en vez de las integraciones directas con AWS IoT o Microsoft Azure IoT Hub, por su mayor versatilidad y habilidad para personalizarse. El Custom Callback proporciona una gestión más exacta del formato de los datos transmitidos desde el backend de Sigfox. Esta opción también satisface el requerimiento de fusionar el sistema con servicios propios y plataformas de visualización personalizadas, algo que resultaría más limitante o complicado al emplear soluciones de código abierto como AWS o Azure. Además, el Custom Callback no necesita ajustes adicionales vinculados a credenciales o políticas de protección.

j. Selección de Proxy

A continuación, en la Tabla 7 se resumen las principales características de tres servicios de proxy que permiten exponer un servidor local a Internet mediante túneles seguros.

Tabla 7. Servicios de Proxi [48] [49] [50].

Característica	**Ngrok**	**LocalTunnel**	**Cloudflare Tunnel**
Propósito	Exponer servicios locales a Internet para pruebas, demostraciones o APIs	Probar aplicaciones localmente sin abrir puertos	Publicar servicios internos sin exponer la red directamente
Enfoque	Desarrollo y depuración rápida	Simplicidad y acceso rápido	Seguridad, rendimiento y alta disponibilidad
Uso	Muy fácil (CLI, interfaz web intuitiva)	Muy sencillo (solo comando lt)	Moderado (requiere instalación y configuración de Cloudflare)
Seguridad	Alta (SSL/TLS, autenticación, control de acceso)	Media (no tiene cifrado por defecto ni autenticación)	Muy alta (Zero Trust, cifrado, ACLs desde dashboard de Cloudflare)
Limitaciones	Plan gratuito limitado a 1 túnel y a subdominios aleatorios	Inestabilidad en conexiones, sin autenticación ni cifrado avanzado	Requiere cuenta Cloudflare y dominio configurado
Escalabilidad	Alta con plan de pago (dominios propios, múltiples túneles simultáneos)	Baja, no recomendado para producción	Muy alta, apto para producción empresarial

Integración	Excelente (webhooks, APIs, dashboards, uso en CI/CD)	Limitada	Muy buena (con servicios de Cloudflare, Kubernetes, CI/CD, etc.)

Se eligió a Ngrok como mejor proxy para impulsar los servicios locales en línea, debido a su facil manejo. Esta solución facilita el desarrollo de túneles seguros mediante conexiones TLS, garantizando la privacidad de los datos enviados entre el dispositivo y el servidor a distancia. Además, proporciona características como la autenticación de usuarios, el análisis del tráfico y la creación de URLs temporales, lo que es particularmente beneficioso en ambientes de desarrollo y ensayos de prototipos de IoT. Su conexión con plataformas tales como Traccar, ThingsBoard o el backend de Sigfox permite la supervisión en tiempo real sin la necesidad de establecer reglas de reenvío de puertos en redes NAT o cortafuegos.

3.2.4 Etapa de visualización

En la tabla 8, se presenta una comparación de las características de tres herramientas de visualización que permiten la recepción y procesamiento de datos de geolocalización, considerando los aspectos más relevantes en relación con el propósito del proyecto de investigación.

Tabla 8. Herramientas de Visualización [51] [52] [53].

Características	**Traccar**	**ThingsBoard Cloud**	**Datacake**
Seguimiento en tiempo real	Sí	Sí	Sí
Administración de flotas	Sí	Parcial	Parcial
Generación de informes	Sí	Sí	Sí
Alertas y notificaciones	Sí	Sí	Sí
Geocercas	Sí	Sí	Sí

Historial de rutas	Sí	Sí	Sí
Integración de dispositivos	Sí	Sí	Sí

En este estudio, se optó por las plataformas Traccar, ThingsBoard Cloud y Datacake por su extensa compatibilidad con dispositivos IoT y su habilidad para visualizar los datos que provienen del backend de Sigfox en tiempo real. Traccar es un software libre que proporciona adaptabilidad y personalización, asistencia local para el seguimiento de GPS, alertas, geocercas y creación de informes. En relación a ThingsBoard Cloud, se optó por su método flexible que facilita la integración con diversos protocolos. En última instancia, se optó por usar Datacake por su configuración sencilla, una interfaz visual nítida y un soporte que agiliza la incorporación rápida de prototipos.

3.3 Implementación y validación del circuito electrónico propuesto.

Para la puesta en marcha y comprobación del circuito electrónico sugerido, se establecieron dos módulos funcionales clave. El primero se refiere al subsistema de recolección y envío de datos, creado específicamente para recolectar y transmitir datos geográficos, como las coordenadas de latitud y longitud. El segundo módulo se refiere al sistema de alimentación y carga, cuyo propósito es asegurar la independencia energética del prototipo y posibilitar su funcionamiento constante sin necesidad de recursos externos. Este diseño se desarrolló enfocándose en la portabilidad del dispositivo, permitiendo su incorporación en la mochila de un alumno, lo que es crucial en situaciones que demandan movilidad. Así, se permite la interacción constante con la información de localización en tiempo real. La Figura 10 muestra el diseño simplificado del circuito.

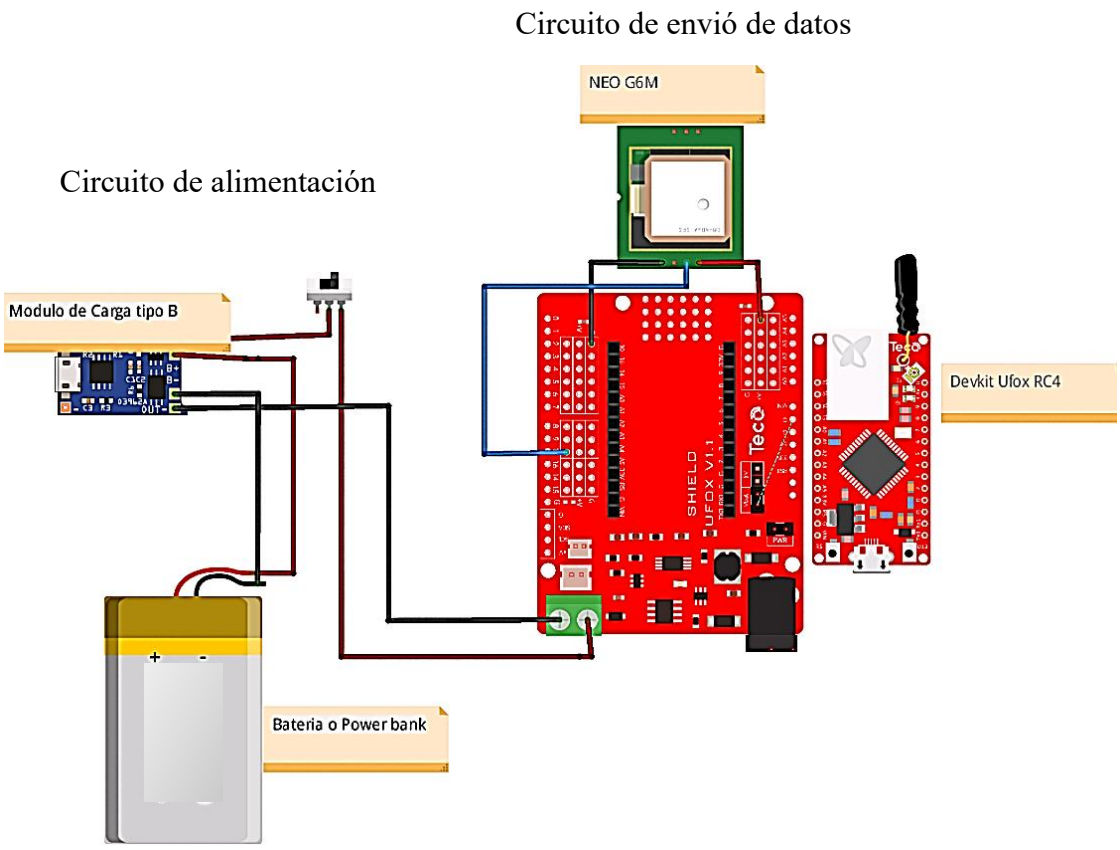


Figura 10. Diseño del circuito electrónico.

3.3.1 Circuito de envió de datos.

El circuito de envió de datos, en la figura 10, Se basa en una tarjeta de sheild de Ufox. En esta configuración, se emplea un módulo GPS NEO-6M para la obtención de coordenadas de localización tanto como longitud y latitud, las cuales son procesadas por una placa microcontroladora que actúa como intermediaria. Luego, la información se envía a través del módulo DevKit Ufox RC4, que funciona bajo la red Sigfox, facilitando el envío eficaz de los datos al backend el análisis o visualización. Este circuito está dirigido a usos de seguimiento en tiempo real.

3.3.2 Circuito de alimentación.

El circuito de envió de datos, en la figura 9, Se basa en una tarjeta de sheild de Ufox. En esta configuración, se emplea un módulo GPS NEO-6M para la obtención de coordenadas de localización tanto como longitud y latitud, las cuales son procesadas por una placa microcontroladora que actúa como intermediaria. Luego, la información se envía a través del módulo Devkit Ufox RC4, que funciona bajo la red Sigfox, facilitando el envío eficaz de los datos al backend el análisis o visualización. Este circuito está dirigido a usos de seguimiento en tiempo real.

Tabla 9.Consumo de energía y corrientes del prototipo.

Elemento	**Consumo de Voltaje**	**Consumo de Corriente**
Devkit Ufox RC4	3.6V	500mA
GPS NEO 6M	5V	45mA
Sheild Ufox	3.6V	500mA

Para poder determinar el tiempo de duración de una batería se lo realiza mediante la siguiente ecuación1.

$$H = \frac{W_b}{W_c} = \frac{V_b * I_b}{V_b * I_c} \quad (1)$$

$$H = \frac{5V * 8800mA}{5V * 0.585mA}$$

$$H = 15\ horas$$

Donde

H: Horas de duración de la batería.

Wb =Potencia de batería.

Wc= Potencia consumida.

Vb= Voltaje de batería.

Ic= Corriente del Circuito.

El trayecto que recorre un estudiante dependerá tanto la ubicación de la Institución Educativa como su lugar de domicilio teniendo en cuenta el área de cobertura de la red Sigfox. El estudiante pasa alrededor de 6 a 7 horas en la Institución Educativa, y el regreso a su domicilio está en un aproximado de 1 a 2 horas, teniendo en consideración la hora pico, la hora de salida, y la elección del transporte. Por lo tanto, la duración mínima de la batería puede ser 10 horas, Por lo tanto, con una power band que suministra el circuito alcanza para 20 horas continuos suficiente para cubrir la trayectoria del estudiante hasta su domicilio.

3.3.3 Diseño del Case del Dispositivo.

El diseño del case contenedor del dispositivo fue desarrollado mediante el software Autodesk Fusion 360, una herramienta CAD avanzada que permitió modelar con precisión el alojamiento de los componentes electrónicos: el microcontrolador, el módulo GPS, el cargador TP4056 y la batería. Se incluyeron orificios estratégicos para la ventilación y la correcta exposición del GPS al cielo abierto, garantizando una recepción óptima de señales satelitales, como se evidencia en la Figura correspondiente. La plataforma de diseño utilizada facilita una experiencia de trabajo colaborativo en la nube, permitiendo realizar ajustes en tiempo real y desde diferentes dispositivos. Finalmente, el modelo tridimensional fue exportado en formato STL y DXF para su posterior fabricación mediante impresión 3D, asegurando una integración funcional y estética del sistema electrónico.

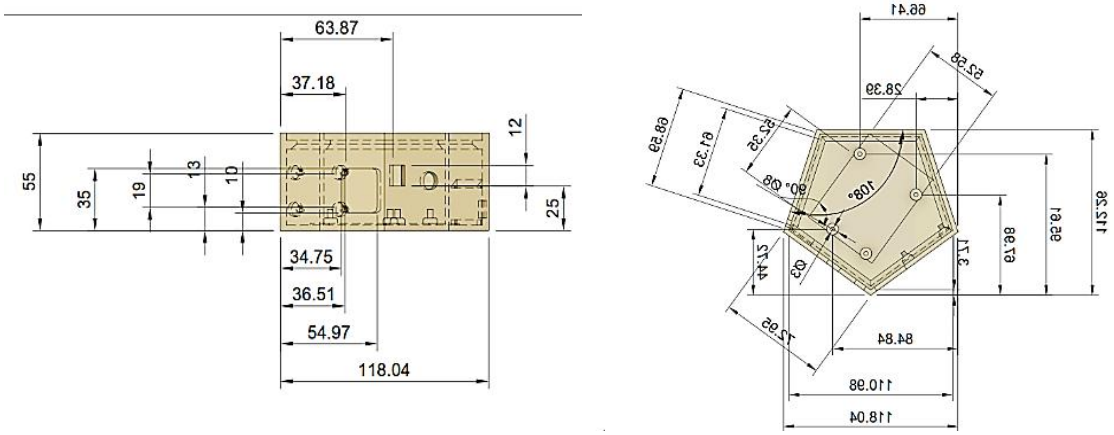


Figura 11. Medidas del Case del dispositivo.

En la Figura 12, se muestra la integración final del prototipo, donde se observan todos los componentes debidamente ensamblados dentro de la carcasa contenedora diseñada, en cumplimiento del objetivo de diseñar e implementar una solución funcional de geolocalización IoT para el rastreo de estudiantes. Se resalta la ubicación externa de la antena del módulo GPS, así como la disposición estratégica de la antena del DevKit UFOX, ambas posicionadas hacia el exterior para optimizar la recepción y transmisión de señales. Esta configuración responde a la necesidad de mantener una conexión directa con los satélites en el caso del GPS y una adecuada propagación de la señal en el caso de la red Sigfox. Estas decisiones técnicas fueron tomadas para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema, minimizando interferencias y asegurando la confiabilidad en la recolección y envío de datos geográficos.

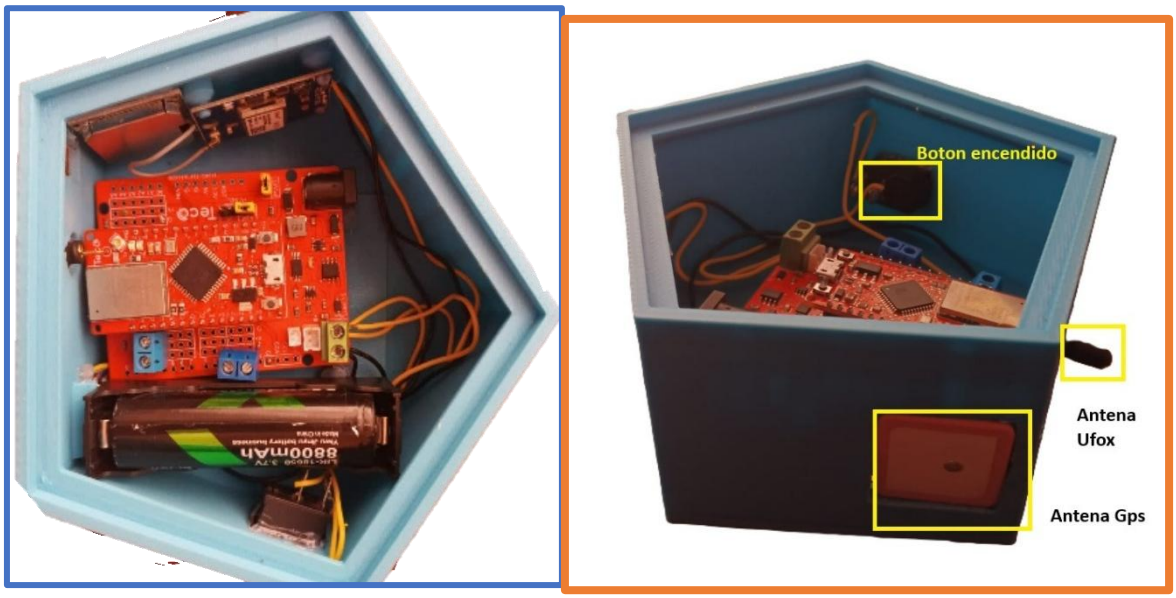


Figura 12. Incorporación de los elementos en el prototipo

3.4 Codificación del sistema de localización

La integración de los módulos GPS y Sigfox ha sido programada con el fin de posibilitar la precisa adquisición de coordenadas geográficas y su posterior eficiente transmisión a la nube. Para ello, se ha empleado el entorno de desarrollo Arduino IDE,

en el cual se ha desarrollado un algoritmo que facilita la lectura continua de los datos provenientes del módulo GPS, su validación y el empaquetado adecuado para ser enviado por el DevKit a través de la red Sigfox. Este procedimiento se lleva a cabo de manera automatizada en intervalos definidos, asegurando la constante supervisión de la ubicación del dispositivo. Además, se han incorporado rutinas de control de errores, verificación de señal GPS y confirmación de transmisión, garantizando un rendimiento fiable aún en condiciones ambientales cambiantes. La precisa sincronización entre ambos módulos permite un sistema de rastreo robusto y de bajo consumo energético.

3.4.1 GPS Ublox Neo 6M

El módulo GPS Ublox NEO-6M es un receptor GNSS compacto de alta sensibilidad, ampliamente utilizado en sistemas embebidos y aplicaciones IoT debido a su bajo consumo energético y buena relación costo-desempeño [39]. Este módulo opera con voltajes de 3.3V a 5V, presenta una sensibilidad de rastreo de hasta –161 dBm y ofrece una precisión horizontal de posicionamiento menor a 2.5 metros (CEP) bajo condiciones óptimas [54]. Su capacidad de adquisición incluye tiempos de arranque en frío de 27 segundos, arranque caliente de 1 segundo y readquisición inferior a 1 segundo, lo cual lo hace ideal para sistemas de rastreo con reinicios frecuentes. El NEO-6M puede actualizar sus datos de posición hasta 5 veces por segundo (5 Hz) y soporta interfaces UART, SPI o I²C para su integración con microcontroladores. Integra una memoria EEPROM para almacenar configuraciones y una batería RTC que mantiene la información de efemérides para reducir los tiempos de inicio [54].

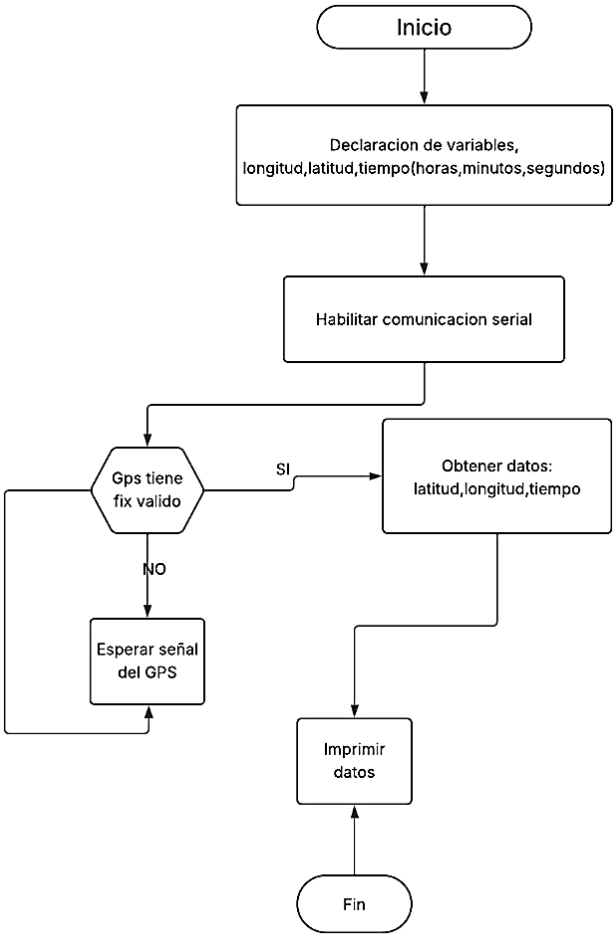


Figura 13. Diagrama de flujo GPS NEO 6M

3.4.2 Envío de datos mediante un módulo basado en la tecnología Sigfox.

El envío de datos por medio de la red Sigfox se realiza a través de una función que es invocada de manera periódica desde el programa principal.

En el siguiente apartado, se muestra el diagrama de flujo en la figura 12.

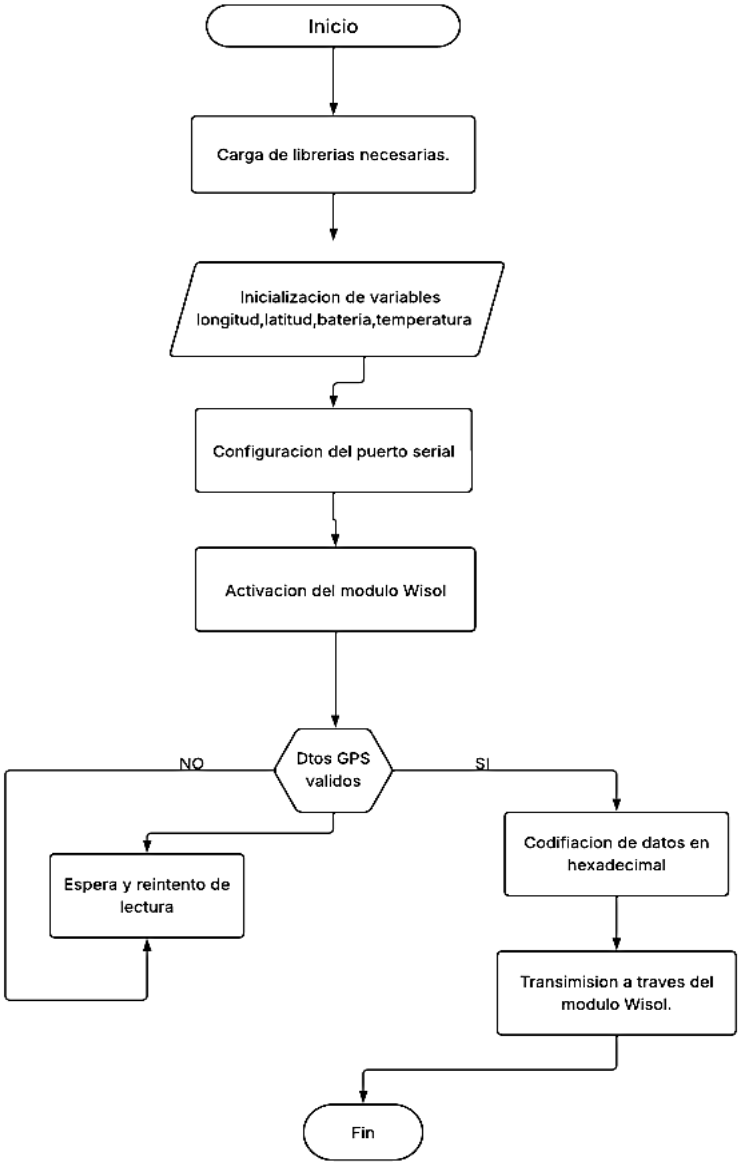


Figura 14. Diagrama de flujo de envío de datos con tecnología Sigfox.

El módulo Ufox, que trabaja con tecnología Sigfox, solo permite enviar 12 bytes por mensaje en formato hexadecimal. Por eso, fue necesario definir cuántos bytes podía ocupar cada dato del GPS. En el caso de la latitud y longitud, se asignó el espacio suficiente para que su valor pueda enviarse correctamente sin superar el límite permitido.

- **Latitud y Longitud**

En la tecnología Sigfox, cada mensaje que se transmite desde el dispositivo hacia la nube (uplink) tiene un tamaño máximo de 12 bytes. Cada byte equivale a 8 bits y, al representarlo en formato hexadecimal, se traduce en dos caracteres. Por lo tanto, un mensaje de 12 bytes se codifica como una cadena de 24 caracteres hexadecimales.

- **%08lx**: Este formato se usa cuando se desea imprimir un dato de 4 bytes (32 bits). Genera una salida de exactamente 8 caracteres en hexadecimal. Si el número tiene menos dígitos, se añaden ceros a la izquierda para completar. Por ejemplo, el número 305441741 se mostraría como 1234abcd. La "l" indica que es un tipo largo (long), y la "x" especifica que el número se imprimirá en hexadecimal.

- **%04lx:** Se utiliza para representar datos de 2 bytes (16 bits), generando 4 caracteres hexadecimales. También rellena con ceros si el número es más corto. Por ejemplo, el valor 4660 se imprime como 1234. Este formato es útil para variables como temperatura o parte de la longitud o latitud si se separan en segmentos.

%02lx: Este formato es adecuado para datos de 1 byte (8 bits), produciendo una salida de 2 caracteres hexadecimales. Por ejemplo, el número 15 se representaría como 0f. Se usa comúnmente para variables pequeñas como el nivel de batería, indicadores o banderas.

Gracias a estos formatos, se puede construir un mensaje compacto y correctamente estructurado para ser enviado a través del módulo Sigfox, respetando el límite máximo de 12 bytes por mensaje en la figura 13.

```
char buff[30] = "";
sprintf(buff, "%08lx%08lx%04x%04x", *(uint32_t*)&flat, *(uint32_t*)&flon, temperatura, bateria);
// Payload: lat::float:32, lon::float:32, temp::int16, bat::uint16
```

Figura 15.Código para convertir a hexadecimal

Finalmente, para él envió de los datos al backend de Sigfox, se lo realiza por la función wisol. SEND, como se muestra en la figura 14

```
Serial.print("Enviando: ");
Serial.println(buff);
Serial.println(wisol.SEND(buff)); // Envío a Sigfox
```

Figura 16. Código para él envió de datos.

La tecnología Sigfox está diseñada para permitir 6 mensajes de 12 bytes por hora, lo que se traduce en un total de 140 mensajes por día. También especifica que el tamaño de la carga útil para los mensajes de enlace descendente es de 8 bytes y que el ciclo de trabajo del 10% de la estación base garantiza la recepción de 4 mensajes de enlace descendente por dispositivo al día [55].

3.5 Diseño funcional del software de localización

El diseño funcional del software de localización se enfocó en desarrollar una estructura lógica cómo los datos enviados desde Sigfox Cloud son redirigidos mediante un Custom Callback hacia distintas plataformas de monitoreo. Para Traccar, se utiliza el protocolo Osmand junto con un servicio proxy (Ngrok) que permite la conexión con servidores locales. En cambio, ThingsBoard Cloud y Datacake reciben los datos directamente mediante el protocolo HTTP, ya que operan desde plataformas accesibles en la nube, como se muestra en la figura 17.

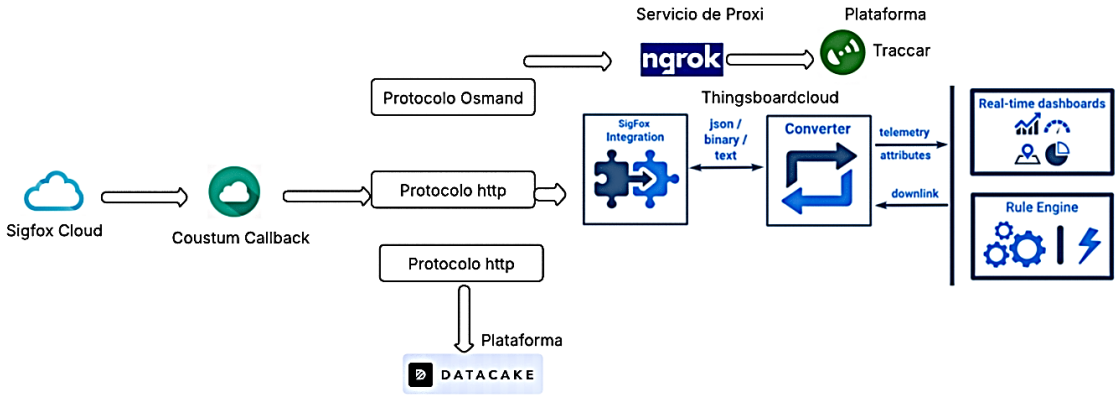


Figura 17. Diagrama de localización.

3.5.1 Sigfox Cloud

Sigfox Cloud, es la plataforma encargada de recibir, procesar y reenviar los datos enviados por los dispositivos conectados a la red Sigfox. Desde esta interfaz, es posible visualizar el historial de mensajes, consultar información técnica del dispositivo y configurar los callbacks necesarios para integrar servicios externos. Gracias a su

arquitectura en la nube, permite una gestión eficiente de los datos y una conexión directa con otras plataformas a través de protocolos como HTTP u OsmAnd. En el presente proyecto, Sigfox Cloud cumple un rol fundamental como punto de enlace entre el dispositivo de rastreo y las plataformas de visualización utilizadas.

- **Proceso de Activación.**

  Compra del módulo de conectividad.

  La adquisición del módulo Sigfox se presenta como una solución viable para incorporar conectividad de bajo consumo en proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Este tipo de módulo permite la transmisión eficiente de pequeños volúmenes de datos a grandes distancias, utilizando una infraestructura especializada y optimizada. Su integración resulta especialmente útil en aplicaciones como sensores remotos, monitoreo ambiental o rastreo de activos, donde la autonomía energética y la cobertura amplia son factores clave. Al incluir este módulo dentro del sistema desarrollado, se mejora significativamente la capacidad de comunicación del dispositivo, permitiendo su conexión a una red global diseñada específicamente para dispositivos IoT.

  Obtención del ID y PAC del módulo.

  Una vez que se adquiere el módulo Sigfox, uno de los pasos esenciales para su correcta configuración y registro en la plataforma es la obtención del ID (Identificador único) y el código PAC. Estos datos vienen asociados al dispositivo desde fábrica y son necesarios para dar de alta el módulo dentro de la red Sigfox. El proceso generalmente consiste en enviar comandos AT a través de una interfaz serial, lo que permite extraer dicha información directamente del hardware. Con el ID y el PAC, el usuario puede registrar el dispositivo en la plataforma Sigfox Backend y comenzar a configurar sus parámetros de comunicación y seguridad.

Inscripción y habilitación del dispositivo Sigfox.

Tras obtener el ID y el código PAC del módulo Sigfox, se realiza su inscripción en la plataforma backend correspondiente. Este proceso habilito al dispositivo en la red Sigfox, permitiendo configurar sus parámetros de comunicación y asegurando su funcionamiento dentro del ecosistema IoT.

Una vez concluido el registro del dispositivo, accedemos al backend de Sigfox ingresando el usuario y contraseña.

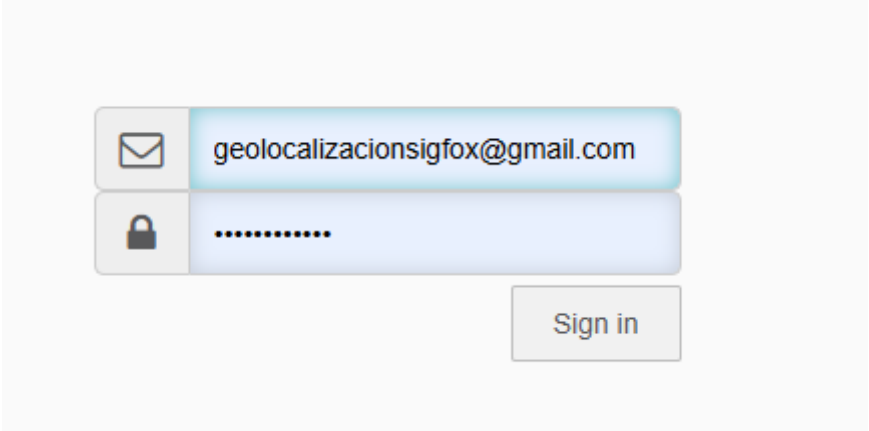


Figura 18.Backend de Sigfox.

En la interfaz principal de Sigfox se muestran los dispositivos registrados y listo para funcionamiento tal como se muestra en la figura.

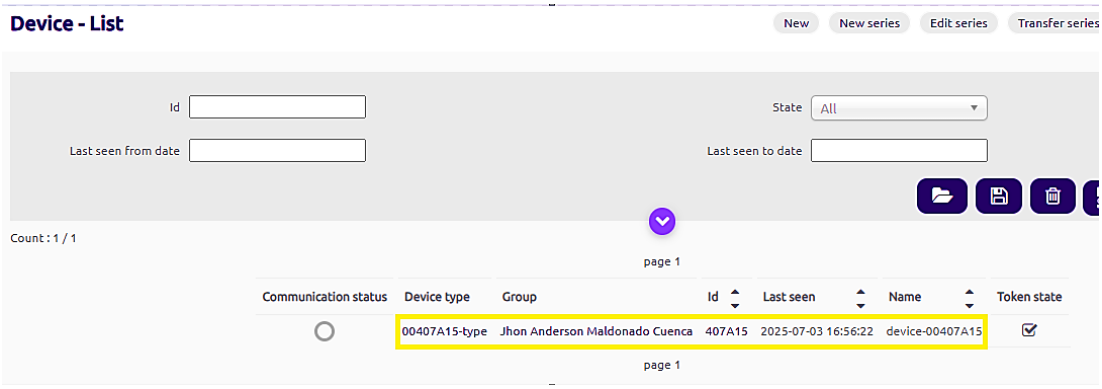


Figura 19. Página principal del backend de Sigfox.

Una vez que el dispositivo está en la nube de Sigfox, la codificación para él envió de datos del dispositivo como se muestra en la figura 18, accedemos a la información en formato hexadecimal.

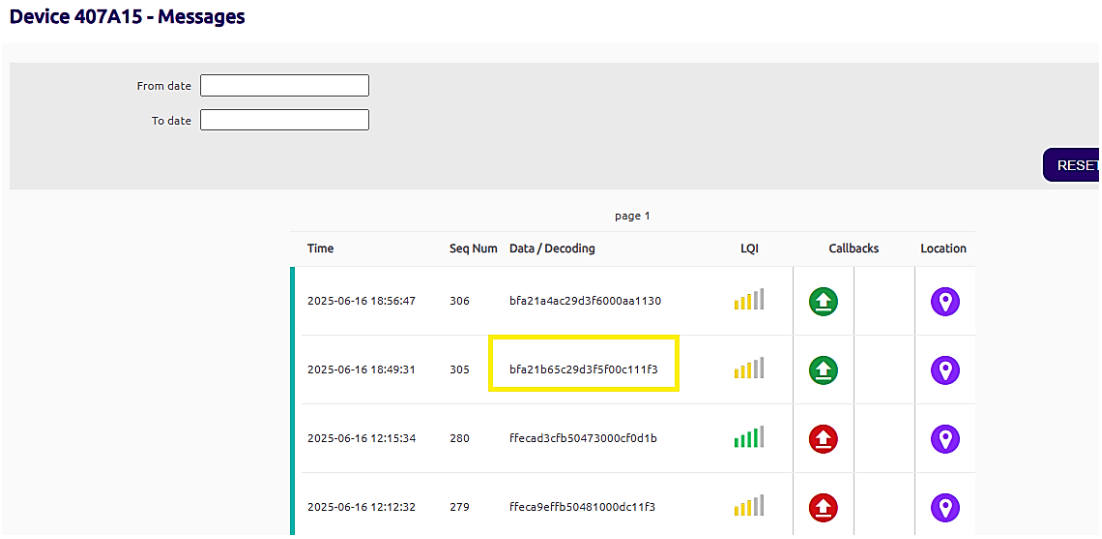


Figura 20. Mensajes recibido hexadecimal.

- **Custom Callback**

Una vez que el dispositivo Sigfox ha sido registrado en la plataforma backend, se puede configurar un *Custom Callback* para personalizar el manejo de los datos recibidos desde el módulo. Esta funcionalidad permite definir direcciones URL a las que Sigfox enviará automáticamente los mensajes entrantes, facilitando la integración con servidores externos o sistemas de procesamiento personalizados. La configuración del *callback* incluye la selección del tipo de mensaje (por ejemplo, downlink o uplink), el formato de los datos y la dirección del servidor destino, lo cual posibilita una gestión más eficiente y adaptada a las necesidades específicas del sistema IoT implementado.

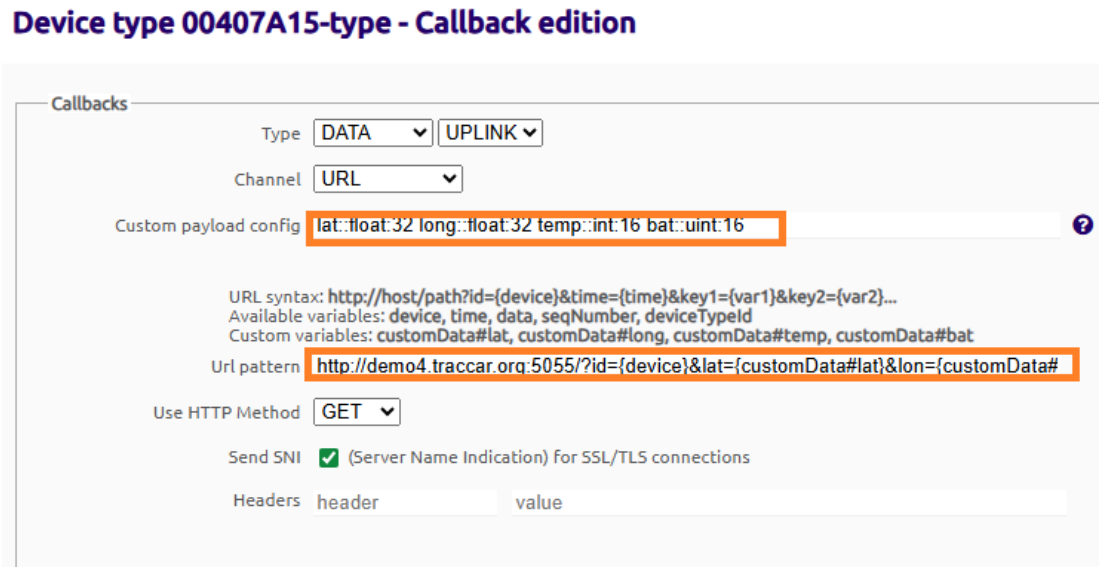


Figura 21.Custom Callback del dispositivo

Finalmente, en la figura 2. Se muestra el diagrama de secuencia técnica del sistema.

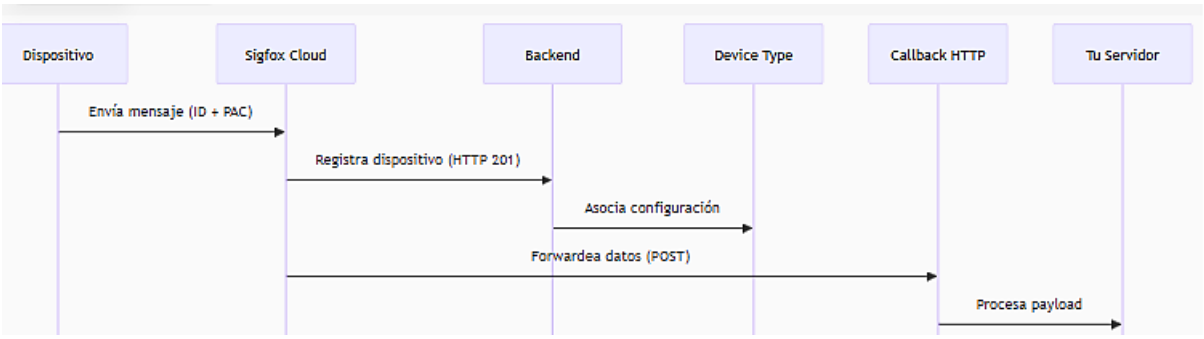


Figura 22.Diagrama de secuencia técnica.

3.5.2 Protocolo Osmand

El protocolo OSMAnd no es un protocolo de red como HTTP, sino un esquema de URL personalizado utilizado por la aplicación OsmAnd para recibir comandos desde otras aplicaciones o enlaces externos. Este esquema permite abrir mapas, centrar ubicaciones específicas o iniciar rutas directamente desde una URL del tipo osmand://. Por ejemplo, el enlace osmand://map?lat=-1.2345&lon=-78.5678&z=16 abre automáticamente una coordenada geográfica en la app. Esta funcionalidad es útil en proyectos IoT o de rastreo, donde se desea visualizar posiciones en tiempo real desde plataformas externas sin depender de conexión a internet [56].

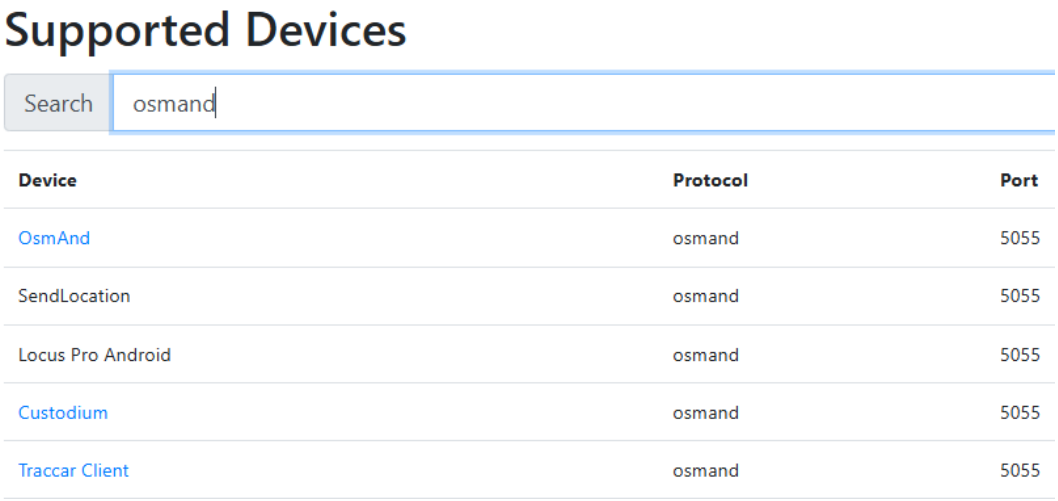


Figura 23. Protocolo Osmand.

Para realizar el primer envió de datos, se requiere una transferencia HTTP utilizando el método GET a nuestra dirección ip, que opera a través del puerto 5055 como se tiene como ejemplo un mensaje de ubicación GPS como se muestra en la figura

```
http://demo.traccar.org:5055/?id=12345&lat=48.8566&lon=2.3522&timestamp=1609459200000
```

Figura 24. Estructura del Protocolo Osmand.

Donde se detalla la estructura del protocolo:

- demo.traccar.org: Es el identificador del servidor, el cual puede corresponder a un nombre de dominio o a la dirección IP pública del equipo que aloja el servicio
- 123456: identificador único del dispositivo (ID)
- lat, lon, tamp, hdop, altitude, speed, batt, charge: son algunos parámetros en el protocolo para su respectivo análisis.

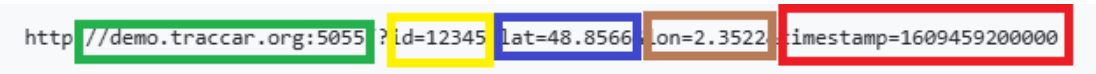


Figura 25. Prueba de Funcionamiento del Protcolo Osmand

3.5.3 Servicio de proxy NGROK

Para acceder a este servicio de proxy se tiene que visitar su sitio web oficial ahí se procede a registrarse, ya una vez realizado nuestro registró permitirá descargar el archivo comprimido de nuestro proxy, como se muestra en la figura 26.

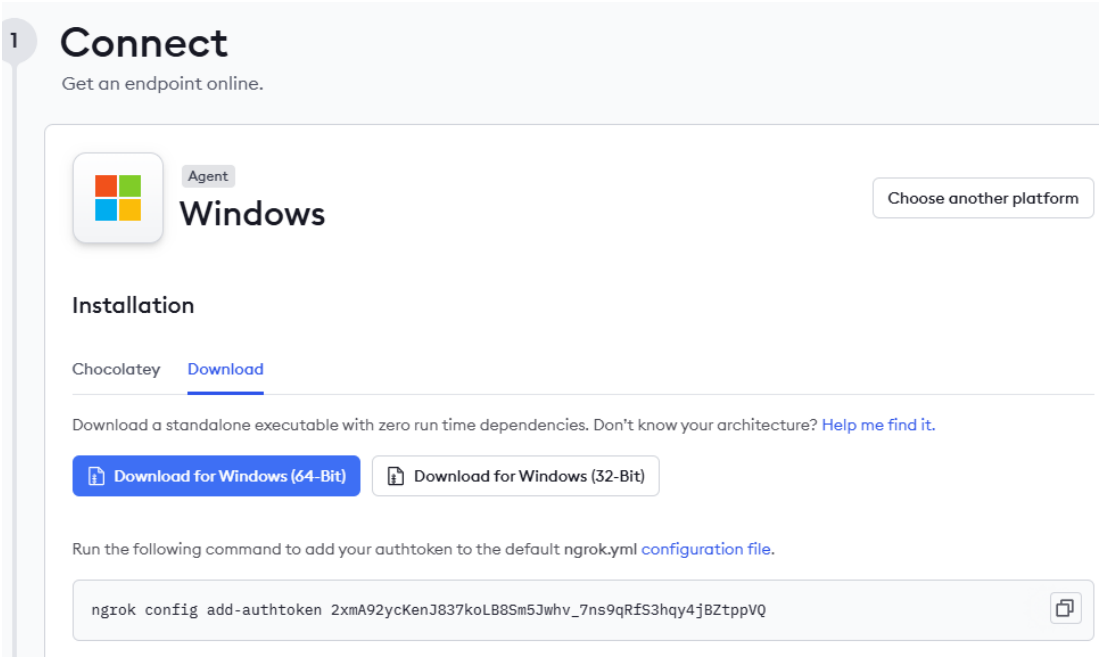


Figura 26. Descarga del servicio del proxy

3.5.4 Instalación de NGROK

Después de descargar el archivo procedemos a descomprimirlo en una carpeta individual como se muestra en la figura 27.

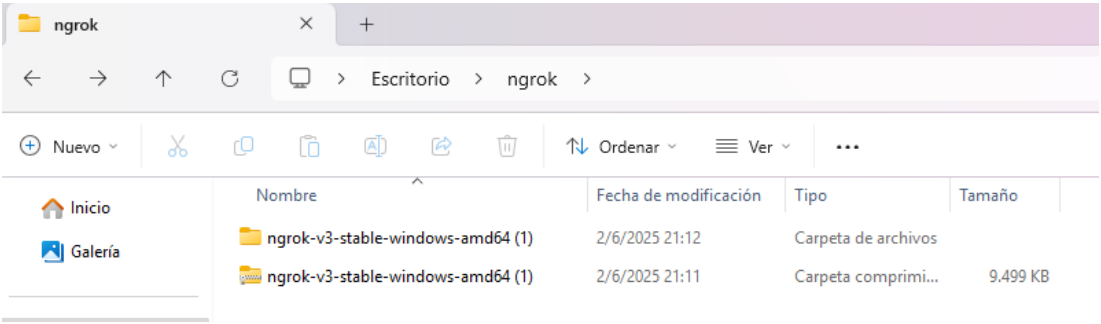


Figura 27. Archivo NGROK descomprimido.

Una vez ya instalado en NGROK, ejecutamos en el cmd la siguiente línea de código ngrok tcp 5055 donde se observará la ip publica y el puerto correspondiente que nos da una conexión segura y accesible desde el internet.

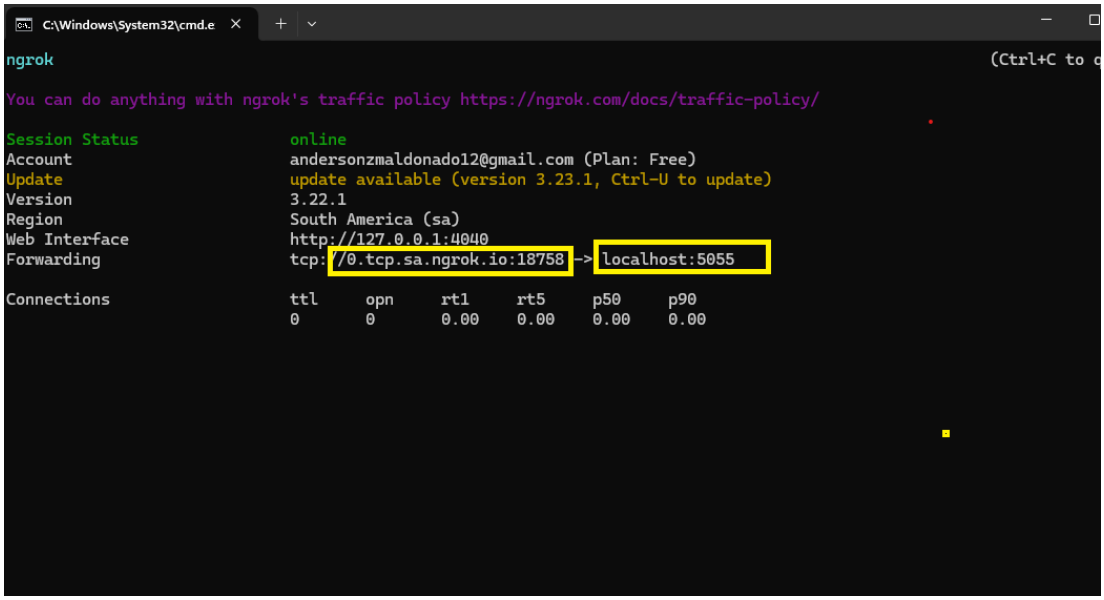


Figura 28. url publica para un servidor local.

En la página oficial del Ngrok, se puede observar la información sobre el túnel creado de forma segura y publica como se muestra en la figura 29.

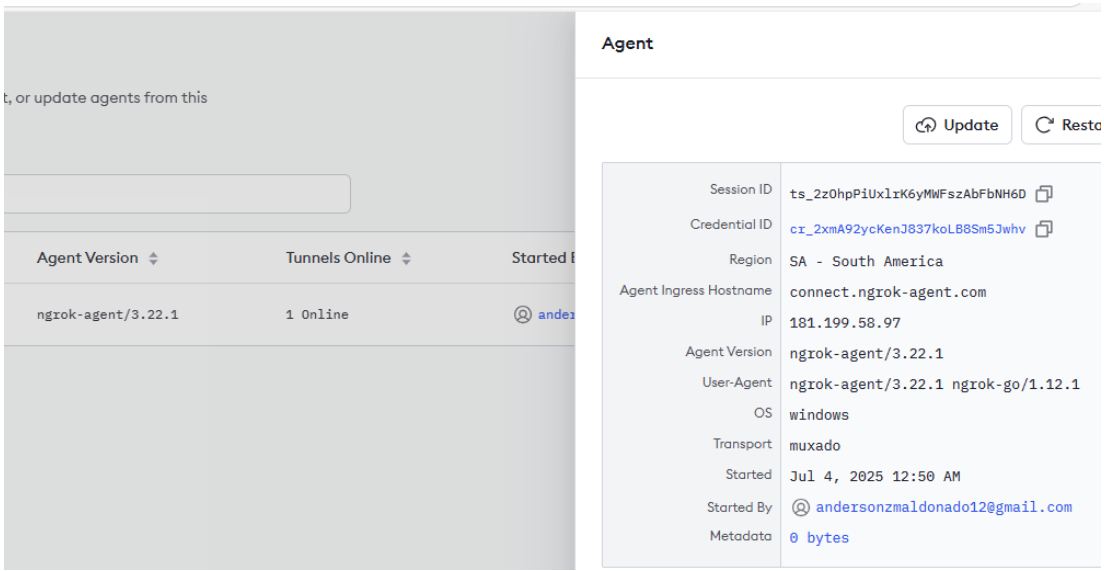


Figura 29. Información del túnel creado.

3.6 Descripción de las Plataformas de Visualización

En esta sección se detallan las principales plataformas utilizadas para la visualización de datos, destacando sus características, ventajas y casos de uso. Estas herramientas permiten transformar grandes volúmenes de información en representaciones gráficas intuitivas y comprensibles, facilitando así la toma de decisiones y el análisis estratégico. A lo largo del apartado, se describen las funcionalidades más relevantes de cada plataforma, su nivel de accesibilidad y compatibilidad con diferentes fuentes de datos.

- **Plataforma ThingsBoardCloud**

ThingsBoardCloud es una plataforma IoT en la nube que permite la recolección, procesamiento y visualización de datos en tiempo real. Fue seleccionada por su compatibilidad con protocolos como MQTT y HTTP, su soporte para múltiples dispositivos y su capacidad para crear dashboards personalizados de forma eficiente y escalable. La integración de Sigfox permite transmitir datos desde el backend de Sigfox a ThingsBoard.

- **Crear convertidor de enlace ascendente.**

El desarrollo de un convertidor de enlace ascendente es esencial en los sistemas de comunicación modernos, especialmente en aplicaciones satelitales. Este tipo de convertidor tiene la función de tomar señales de baja frecuencia, típicamente generadas por equipos de transmisión, y elevarlas a frecuencias más altas que son adecuadas para ser enviadas a satélites. Esta conversión es clave para asegurar que la señal mantenga su integridad y llegue al receptor con la potencia y frecuencia correctas, facilitando una comunicación clara y eficiente a largas distancias.

Para habilitar la interoperabilidad con ThingsBoard, se debe crear un Uplink Converter que traduzca los datos entrantes desde dispositivos Sigfox al formato que ThingsBoard requiere.

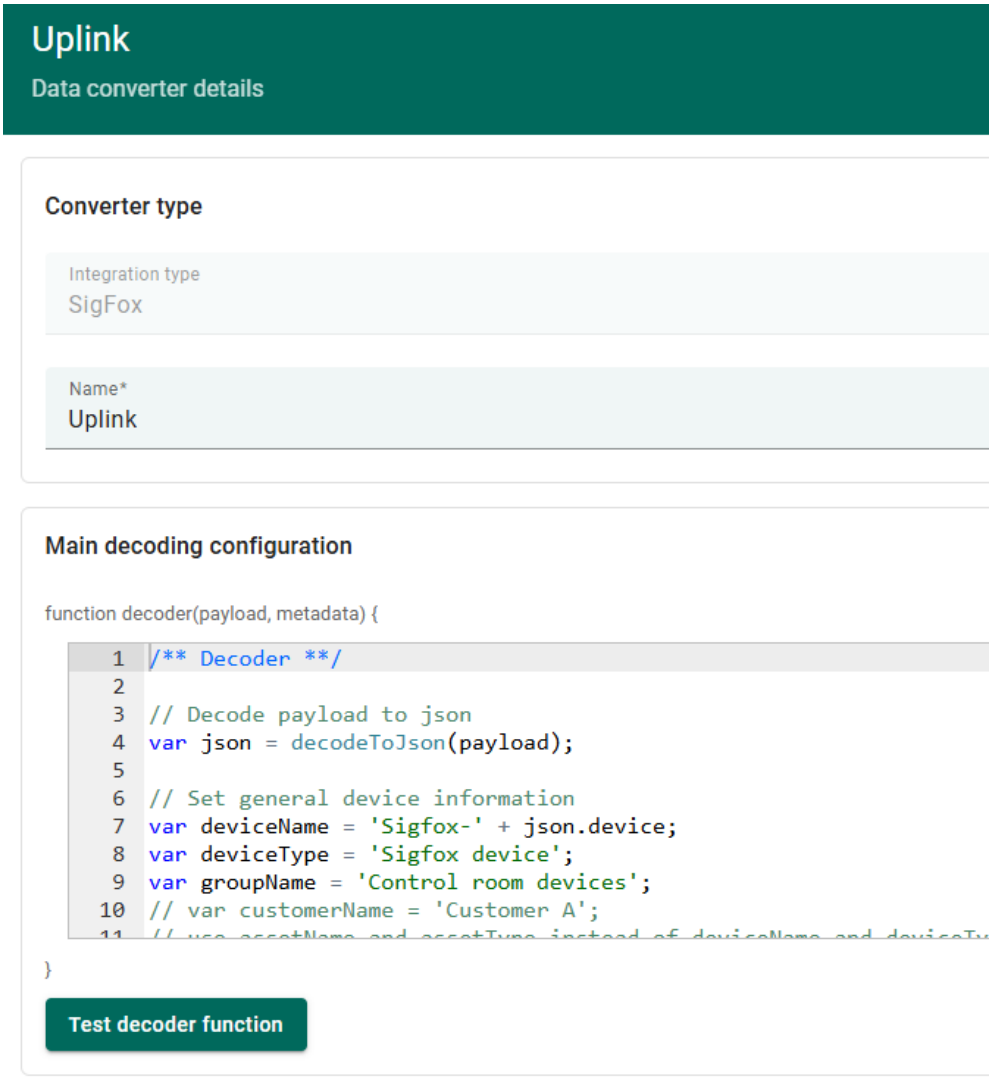


Figura 30. Creación de un Convertidor de enlace ascendente

Integración de Sigfox.

En el apartado de Integraciones, hacer clic en el icono “+” para crear una nueva instancia de integración. Asigne un nombre descriptivo, como “Integración Sigfox”, y seleccione el tipo de integración correspondiente, es decir, Sigfox, en el campo

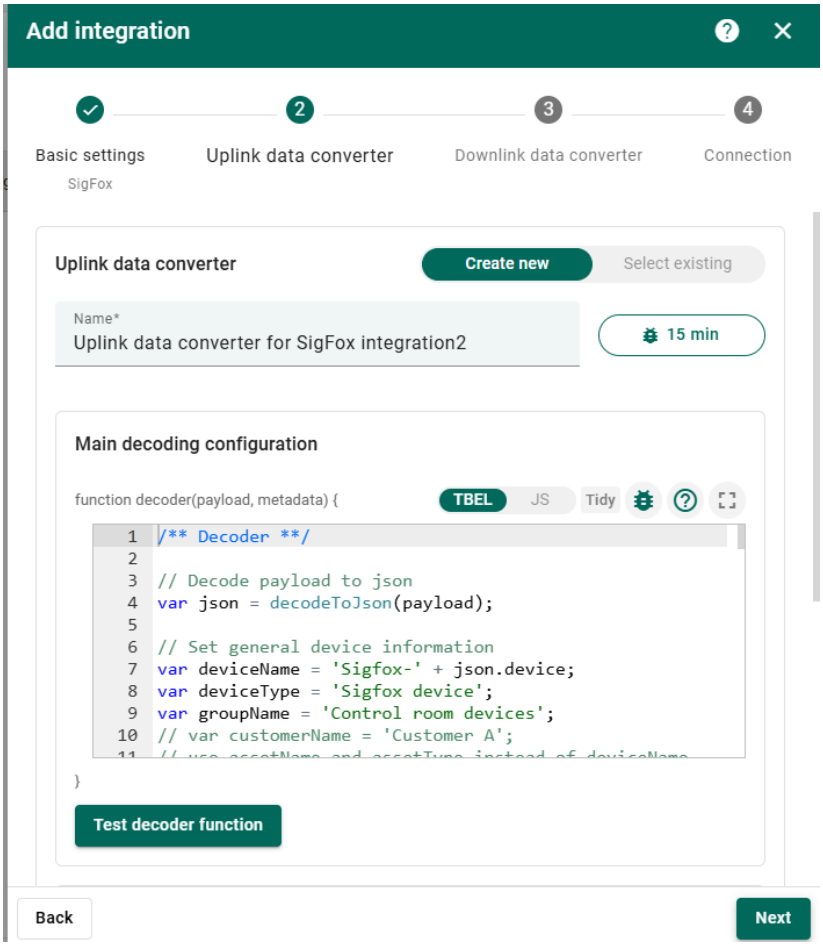


Figura 31. Agregar Integraciones.

Dejamos vacío el campo de la figura 32, que es el Convertidor de datos de enlace descendente.

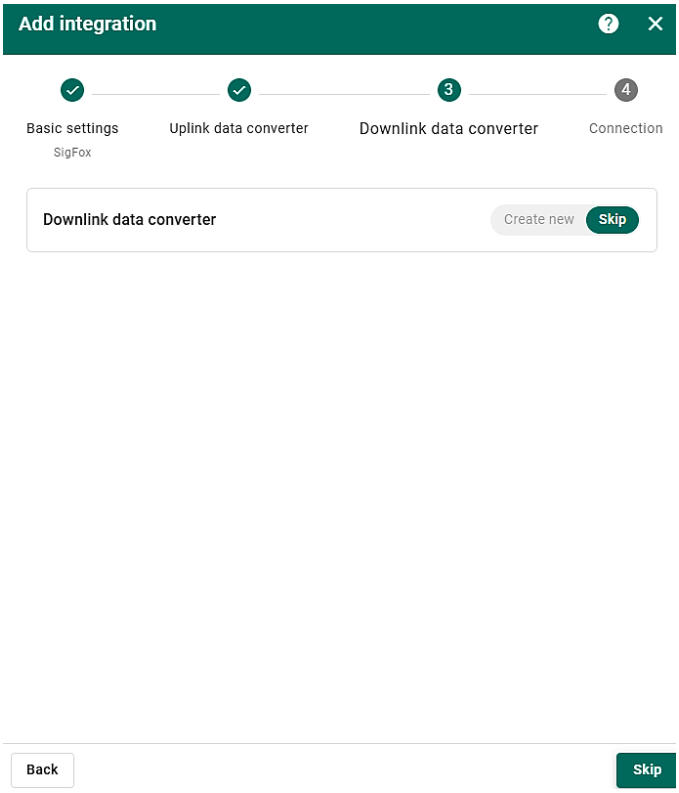


Figura 32. Campo del convertidor de datos de enlace descendente

Para finalizar la configuración de la plataforma debemos copiar el url del punto de conexión http para hacer el llamado en el Custom Callback desde el backend de Sigfox.

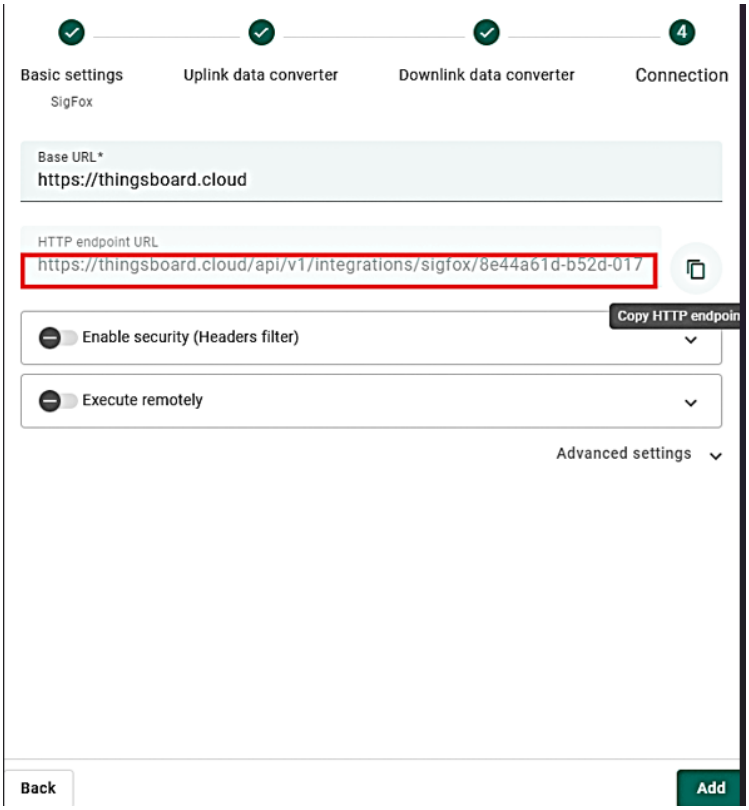


Figura 33. Integración Final del dispositivo.

A continuación, el entorno de visualización de la plataforma ThingsBoard Cloud en la figura 34, una vez integrado el dispositivo Sigfox se realiza un dashboards, se crea un widget mapa para el seguimiento del estudiante y poder comprobar el funcionamiento de las rutas desde las Escuelas y Unidades Educativas hasta el domicilio.

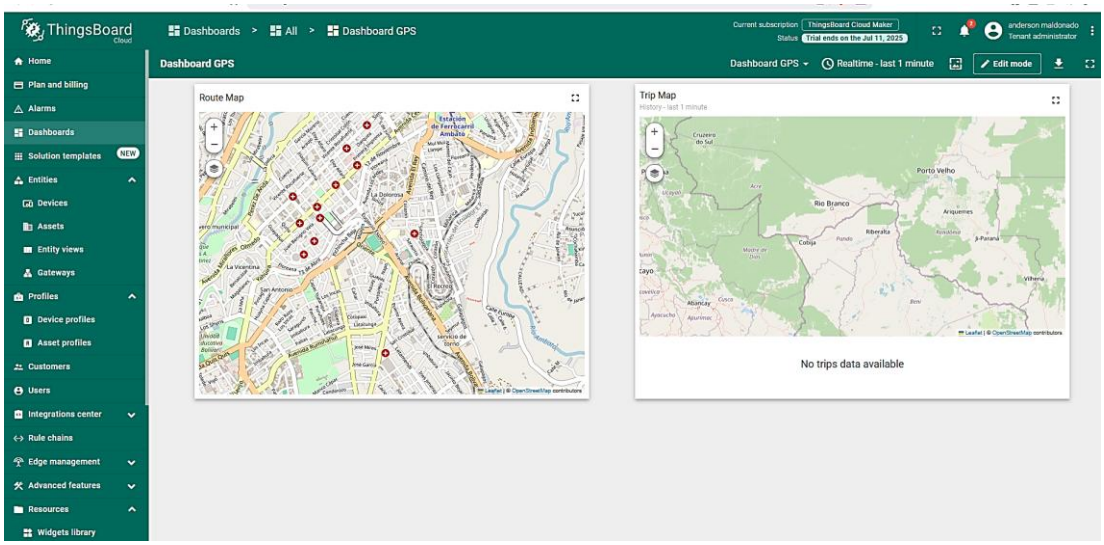


Figura 34. Plataforma de Visualización.

- **Plataforma Traccar**

Traccar es una plataforma de rastreo GPS de código abierto que permite monitorear dispositivos en tiempo real. Fue seleccionada por su compatibilidad con una amplia gama de dispositivos GPS, su soporte para múltiples protocolos, y su capacidad para visualizar datos de ubicación de forma precisa mediante una interfaz web robusta y personalizable.

1. Ingreso a la plataforma
2. Registro del Dispositivo
3. Panel de Administración.

- **Ingreso a la plataforma.**

El ingreso a esta plataforma se lo puede hacer de dos maneras una ocupando un demo directo desde la página principal de traccar, como es en nuestro instalamos esta aplicación ya que es de código abierto y ejecutarla de manera directa desde el navegador, como se muestra en la figura 35



Figura 35.Ingreso a la plataforma Traccar

- **Registro del dispositivo.**

Una vez dentro, se selecciona la opción “Dispositivos” y se añade un nuevo equipo. En el formulario de registro, es obligatorio asignar un nombre al dispositivo y especificar su identificador único (IMEI, número de serie o ID del módulo GPS), el cual debe coincidir exactamente con el que el dispositivo transmite al servidor, como se muestra en figura 24.

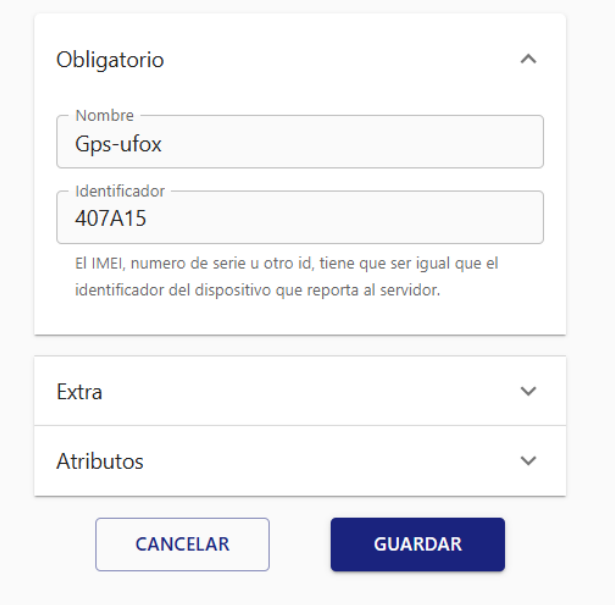


Figura 36. Registro de Dispositivo.

- **Panel de administración.**

Gps-ufox	03/07/2025, 17:03:43	0.000000°	0.000000°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:04:30	-1.265310°	-78.625210°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:04:44	-1.265310°	-78.625210°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:05:30	-1.265336°	-78.625210°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:05:46	-1.265324°	-78.625210°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:06:30	-1.265361°	-78.625240°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:06:45	-1.265392°	-78.625240°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:07:00	-1.265418°	-78.625240°
Gps-ufox	03/07/2025, 17:07:16	-1.265418°	-78.625240°

Figura 37. Panel de administración.

Las opciones disponibles en los parámetros de análisis, ilustradas en la Figura 37, constituyen un conjunto de herramientas clave para facilitar la visualización e interpretación de los datos generados por el prototipo de rastreo y localización. A través de la funcionalidad de monitoreo en tiempo real, es posible acceder a la ruta

correspondiente a la última transmisión registrada por el dispositivo, lo cual permite determinar con precisión la ubicación del usuario mediante las coordenadas geográficas (latitud y longitud). Adicionalmente, se visualizan variables complementarias como la temperatura ambiental y el nivel de carga de la batería, lo que contribuye a un seguimiento integral del estado del sistema y del entorno en el que se encuentra el menor.

3.7 Análisis del Desempeño de las Plataformas

Se integraron tres plataformas compatibles con Sigfox: Traccar y ThingsBoard Cloud, Datacake, seleccionadas mediante revisión de literatura técnica y estudios de caso. Durante las pruebas, se analizó su desempeño bajo métricas clave como:

- **Precisión:** Se midió comparando las coordenadas geográficas registradas por cada plataforma con la ruta real seguida por un estudiante durante recorridos en instituciones educativas. Se consideró precisa aquella plataforma que reflejara con fidelidad la trayectoria, incluyendo cambios de dirección, cruces y segmentos recorridos.

  Resultado: Traccar mostró alta precisión con puntos geográficos bien alineados a la ruta. ThingsBoard Cloud presentó una mayor dispersión en algunos tramos, posiblemente debido a pérdida de señal o retrasos en la visualización.
- **Latencia:** Esta métrica evaluó el tiempo que transcurre desde que se envía un dato desde el dispositivo hasta que se visualiza en la plataforma. Se realizaron pruebas cronometradas para obtener el retardo promedio en segundos. **Resultado**: Traccar presentó menor latencia, con actualizaciones casi en tiempo real. ThingsBoard Cloud tuvo tiempos de respuesta más largos, especialmente en entornos con cobertura limitada.

- **Interoperabilidad:** Se analizó la facilidad con la que cada plataforma se integra con dispositivos IoT, APIs externas y otras soluciones de visualización. Se utilizó un entorno de prueba con distintos sensores y servicios web para verificar la compatibilidad.

Resultado: Ambas plataformas ofrecieron buen soporte para integración, aunque ThingsBoard Cloud destacó por su arquitectura basada en nodos y reglas, que facilita flujos de datos complejos.

- **Usabilidad:** Se evaluó la interfaz gráfica, la facilidad de configuración y la curva de aprendizaje para usuarios con conocimientos técnicos básicos. Se aplicó un cuestionario a los evaluadores para calificar la experiencia de uso. **Resultado**: Traccar se valoró como más intuitiva para el seguimiento en tiempo real. ThingsBoard Cloud ofreció mayor personalización, aunque requirió más tiempo para configurarse correctamente.

Tabla 10. Evaluación de Plataformas enfoque cuantitativo.

Plataforma	Precisión	Latencia	Interoperabilidad	Usabilidad
Traccar	3	2	3	2
ThingsBoard Cloud	2	1	1	2

La Tabla 10 permite sustentar de manera objetiva la consecución del objetivo específico 1, el cual consistió en analizar el desempeño de plataformas de visualización compatibles con tecnología Sigfox. A través de métricas técnicas como la precisión, latencia, interoperabilidad y usabilidad, se evidencia que la plataforma Traccar presentó un comportamiento superior en condiciones de prueba controladas. Esta evaluación cuantitativa permitió identificar fortalezas y limitaciones en el uso de cada herramienta, proporcionando criterios técnicos sólidos para la selección de plataformas adecuadas en el monitoreo de estudiantes mediante IoT.

Ponderación de los resultados obtenidos en la comparativa.

- Alta = 3
- Media = 2
- Baja = 1

En la figura 19 se muestra la comparativa de las plataformas utilizadas y la evaluación de las siguientes métricas.

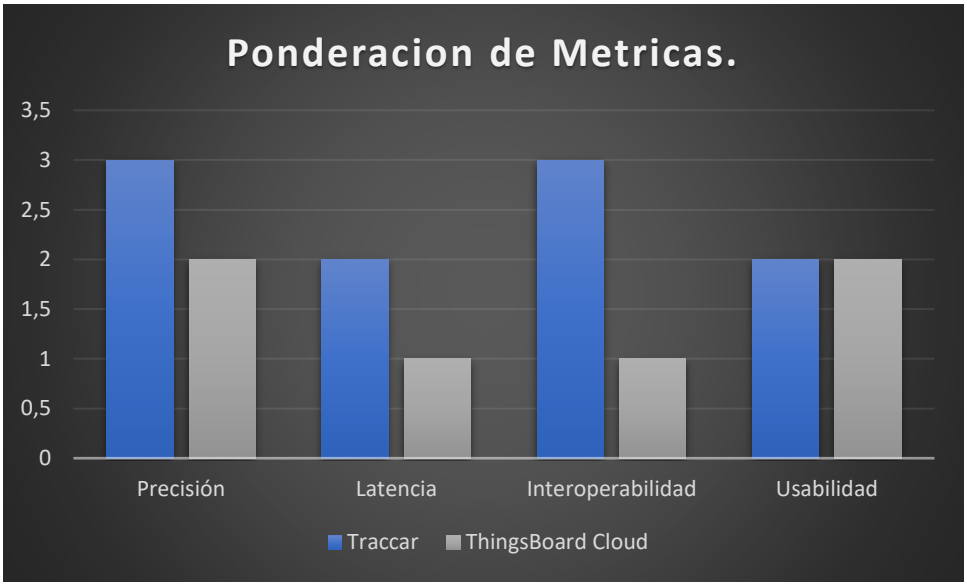


Figura 38. Gráficos de Métricas de las plataformas utilizadas.

Lista de Indicadores Técnicos para Evaluar Comparación de Plataformas IoT.

Esta sección presenta un conjunto de indicadores técnicos claves utilizados para evaluar y comparar plataformas IoT. Los indicadores permiten medir aspectos como la capacidad de integración, el rendimiento, la escalabilidad, la facilidad de visualización, el soporte de protocolos de comunicación y la seguridad. Estos criterios son fundamentales para determinar la idoneidad de cada plataforma en función de los requerimientos específicos del proyecto, permitiendo así una selección objetiva y fundamentada.

Indicadores cuantitativos (medibles en pruebas):

Se eligen indicadores cuantitativos medibles en pruebas porque permiten evaluar de forma objetiva el desempeño del sistema. Estos brindan datos concretos como tasa de éxito, latencia que facilitan el análisis técnico, la comparación de resultados y la validación del funcionamiento del dispositivo**.**

- % Éxito en transmisión
- Latencia promedio
- Fallos por ruta
- Continuidad de trayecto

Los datos recopilados en esta sección provienen del monitoreo realizado mediante tres plataformas de visualización IoT: Traccar, Datacake y ThingsBoard Cloud. Cada una

de estas herramientas permitió registrar y analizar variables clave del rendimiento del sistema de rastreo implementado, considerando indicadores técnicos como el porcentaje de mensajes exitosos, la latencia promedio de transmisión, el error de ubicación y los fallos de comunicación

Tabla 11.Ruta Colegio Juan León Mera la Salle

Plataforma	Mensajes Totales	Mensajes Exitosos	% Éxito	Latencia Prom (s)	Error Promedio (m)	Fallos de transmisión	Trayectoria completa
Traccar	36	30	83,333	43,17	7,925	6	Parcial
Datacake	36	20	55,5555	41,25	6,312	16	Parcial
ThingsBoard	36	21	58,333	39,8	5,487	15	Sí

Para esta evaluación se utilizó la Ruta 2, diseñada para validar el comportamiento del sistema en condiciones reales de desplazamiento

Tabla 12.Ruta Unidad Educativa Bolívar.

Plataforma	Mensajes Totales	Mensajes Exitosos	% Éxito	Latencia Prom (s)	Error Promedio (m)	Fallos de transmisión	Trayectoria completa
Traccar	26	19	73,07692308	26,17	8,3461	7	Parcial
Datacake	26	18	69,23076923	32,34	7,312	8	No
ThingsBoard	26	16	61,92307692	18,8	6,487	10	No

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos durante el recorrido de la ruta en la Unidad Educativa Mario Cobo Barona, donde se evaluó el desempeño de tres plataformas IoT en función de indicadores clave de transmisión.

Tabla 13. Ruta Unidad Educativa Mario Cobo Barona.

Plataforma	Mensajes Totales	Mensajes Exitosos	% Éxito	Latencia Prom (s)	Error Promedio (m)	Fallos de transmisión	Trayectoria completa
Traccar	24	18	75	15,5	6,952	6	Parcial
Datacake	24	16	66,66666667	14,3	5,312	8	Parcial
ThingsBoard	24	15	62,5	17	8,487	9	No

La Tabla 14 presenta los resultados obtenidos en la ruta correspondiente a la Escuela Manuela Espejo, evaluando el rendimiento de las plataformas Traccar, Datacake y ThingsBoard con base en indicadores como porcentaje de éxito, latencia promedio, precisión de ubicación y fallos de transmisión.

Tabla 14.Ruta Escuela Manuela Espejo.

Plataforma	Mensajes Totales	Mensajes Exitosos	% Éxito	Latencia Prom (s)	Error Promedio (m)	Fallos de transmisión	Trayectoria completa
Traccar	33	21	63,63636364	19,84	9,125	12	Parcial
Datacake	33	18	54,54545455	21,25	8,312	15	Parcial
ThingsBoard	33	20	60,60606061	17,8	5,487	13	Parcial

La Tabla 15 muestra el desempeño de las tres plataformas en la Unidad Educativa Ricardo Discalzi, según indicadores de transmisión, latencia y precisión.

Tabla 15.Ruta Unidad Educativa Ricardo Discalzi

Plataforma	Mensajes Totales	Mensajes Exitosos	% Éxito	Latencia Prom (s)	Error Promedio (m)	Fallos de transmisión	Trayectoria completa
Traccar	29	19	65,51724138	15,48	8,2482	10	Parcial
Datacake	29	20	68,96551724	17,25	7,312	9	Parcial
ThingsBoard	29	18	62,06896562	21,8	9,487	11	Parcial

Las Tablas 11 hasta la 15 permiten evidenciar, con base en datos obtenidos en campo, el cumplimiento del objetivo específico 3, el cual consistió en evaluar el rendimiento operativo del sistema en rutas escolares reales del casco central de Ambato. Los escenarios analizados reflejan el comportamiento del sistema en cuanto a éxito de transmisión, latencia, precisión de la ubicación y continuidad de la ruta. Los datos obtenidos constituyen un respaldo técnico sólido para validar su funcionamiento en condiciones reales, tomando en cuenta variables como la cobertura Sigfox y las características urbanas del entorno.

Indicadores cualitativos (evaluación técnica propia):

Durante el desarrollo del sistema, se trabajó con tres plataformas enfocadas en el seguimiento por GPS: Traccar, Datacake y ThingsBoard Cloud. Más allá de los datos técnicos, también se evaluaron aspectos prácticos desde la experiencia del usuario, como qué tan fácil fue integrar los dispositivos, personalizar los paneles, visualizar las rutas en el mapa o acceder a las APIs. La Tabla 16 muestra un resumen de esta valoración, basada en el uso real de cada herramienta.

- Facilidad de integración
- Personalización del dashboards
- Visualización geográfica
- Uso de APIs
- Soporte y documentación

Tabla 16. Indicadores Cualitativos de Plataformas

Indicador	**Traccar**	**Datacake**	**ThingsBoard Cloud**
Facilidad de integración	Configuración directa con dispositivos GPS	Requiere configuración previa con Sigfox	Soporte para múltiples protocolos
Personalización del dashboards	Opciones limitadas	Paneles visuales y flexibles	Personalización avanzada mediante widgets
Visualización geográfica	Mapas integrados en tiempo real	Incluye mapas interactivos personalizables	Se necesita configuración de mapa
Uso de APIs	API REST disponible y funcional	API disponible en planes pagos	API REST y MQTT bien documentadas
Soporte y documentación	Documentación clara	Documentación útil pero limitada en versión gratuita	Amplia documentación

Cada plataforma tiene sus fortalezas. Traccar destaca por su sencillez y enfoque directo en el rastreo, mientras Datacake ofrece una interfaz moderna y flexible. ThingsBoard

Cloud, en cambio, brinda mayor control y personalización, aunque requiere más configuración. Esta evaluación permitió identificar cuál se adapta mejor según las necesidades del proyecto y el nivel de experiencia del usuario.

3.8 **Evaluación Complementaria de Plataformas Bajo Criterios de Servicios**.

3.8.1 Seguridad y privacidad

La seguridad y privacidad de los datos son elementos críticos en cualquier sistema basado en IoT, particularmente cuando se manejan ubicaciones geográficas de personas en contextos sensibles, como el entorno escolar. Para esta evaluación, se aplicó una metodología técnica que incluyó revisión de documentación oficial, pruebas funcionales controladas en entornos de laboratorio, y análisis comparativo de características mediante cinco ejes fundamentales:

- Mecanismos de autenticación y autorización
- Cifrado de datos en tránsito y en reposo
- Gestión granular de roles y políticas de acceso
- Adherencia a estándares de ciberseguridad para entornos IoT
- Capacidades de auditoría, trazabilidad y monitoreo de eventos

Al revisar cómo cada plataforma maneja la seguridad y la privacidad, se encontró que ThingsBoard Cloud brinda un enfoque más completo. Cuenta con buenas opciones para gestionar accesos, cifrar datos y registrar actividades, lo que la hace confiable para entornos como el escolar. Datacake ofrece medidas aceptables, aunque algunas funciones avanzadas, como el control detallado de permisos o la trazabilidad, están limitadas en su versión gratuita. Traccar, en cambio, cumple con lo básico, pero sería recomendable reforzar su seguridad si se quiere usar en contextos donde se manejan datos sensibles, como la ubicación de estudiantes.

3.8.2 Desempeño operativo

El desempeño operativo de una plataforma IoT se refiere a su capacidad para procesar, gestionar y visualizar datos en tiempo real o casi real, manteniendo estabilidad, eficiencia y disponibilidad durante el funcionamiento continuo. En este análisis, se utilizaron métricas técnicas específicas para comparar Traccar y ThingsBoard Cloud, aplicando pruebas controladas en entornos simulados con tráfico de datos representativo de una red de rastreo escolar.

Se emplearon los siguientes ejes de evaluación:

1. Tasa de procesamiento de mensajes
2. Latencia promedio de actualización
3. Escalabilidad horizontal y vertical
4. Tolerancia a fallos y disponibilidad
5. Consumo de recursos del sistema

El análisis del rendimiento operativo mostró que ThingsBoard Cloud es la plataforma más sólida cuando se requiere procesar y visualizar grandes volúmenes de datos en tiempo real. Destacó por su baja latencia, buena tolerancia a fallos y capacidad de escalar sin afectar la estabilidad. Datacake, en cambio, tuvo un rendimiento aceptable, con buena velocidad de actualización y una interfaz intuitiva, aunque su escalabilidad es más limitada, especialmente en versiones gratuitas. Traccar cumplió de forma eficiente con funciones básicas de rastreo, pero su capacidad para manejar múltiples dispositivos o escenarios más exigentes fue menor.

3.8.3 Costos y soporte técnico

El análisis de costos y soporte técnico es esencial para determinar la viabilidad de implementación y mantenimiento de plataformas IoT en entornos institucionales, especialmente cuando los recursos son limitados y la continuidad operativa es prioritaria. En esta sección se realiza una evaluación comparativa entre Traccar y ThingsBoard Cloud, tomando como base una metodología que contempla los siguientes ejes:

1. Modelo de licenciamiento y costos directos

2. Costos ocultos y operacionales (TCO - Total Cost of Ownership)
3. Acceso y calidad del soporte técnico
4. Documentación, comunidad y recursos de aprendizaje
5. Tiempo de implementación y curva de aprendizaje

Traccar destaca por ser gratuito y fácil de implementar, aunque depende mucho de la comunidad para resolver dudas. Datacake permite empezar sin costo, pero algunas funciones clave requieren un plan pago. ThingsBoard Cloud ofrece más herramientas y soporte, pero con costos más altos si se quiere aprovechar todo su potencial. La elección depende del equilibrio entre presupuesto, necesidades técnicas y facilidad de mantenimiento.

3.8.4 Funcionalidades integradas

El análisis de funcionalidades integradas permite identificar el nivel de madurez de una plataforma IoT en cuanto a sus capacidades para recibir, procesar, visualizar y actuar sobre datos en tiempo real. En esta sección se aplicó una metodología técnica basada en la comparación funcional de ambas plataformas utilizando los siguientes cinco ejes:

1. Gestión de dispositivos y conectividad
2. Visualización de datos y dashboards
3. Procesamiento de reglas y alertas
4. Gestión de eventos e historiales
5. Integración con sistemas externos (APIs y protocolos)

Cada eje fue evaluado en función de sus capacidades nativas, extensibilidad y grado de configuración por parte del usuario final.

ThingsBoard Cloud fue la plataforma más completa, ya que permite crear reglas personalizadas, manejar dispositivos, visualizar datos y conectarse fácilmente con otros sistemas. Datacake también ofrece buenas funciones, sobre todo en la parte visual, aunque con algunas limitaciones si no se cuenta con un plan pago. Traccar, en cambio, está más enfocado en el rastreo y cumple bien ese rol, pero no incluye muchas

funciones adicionales. Traccar es la mejor opción para este proyecto por ser mas enfocado al rastreo por gps.

3.9 Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas del Funcionamiento del sistema de geolocalización para estudiantes en el casco central de la ciudad de Ambato iniciaron con la delimitación del mapa de cobertura proporcionado por la red Sigfox. Esta cobertura se encuentra sustentada por estaciones estratégicamente ubicadas en la provincia de Tungurahua, lo que facilita la identificación de las celdas de conectividad activas. A partir del análisis de los datos recopilados fue posible reconocer dichas celdas y evaluar la calidad del servicio en función de los niveles de señal y recepción como se muestra en la figura 39.

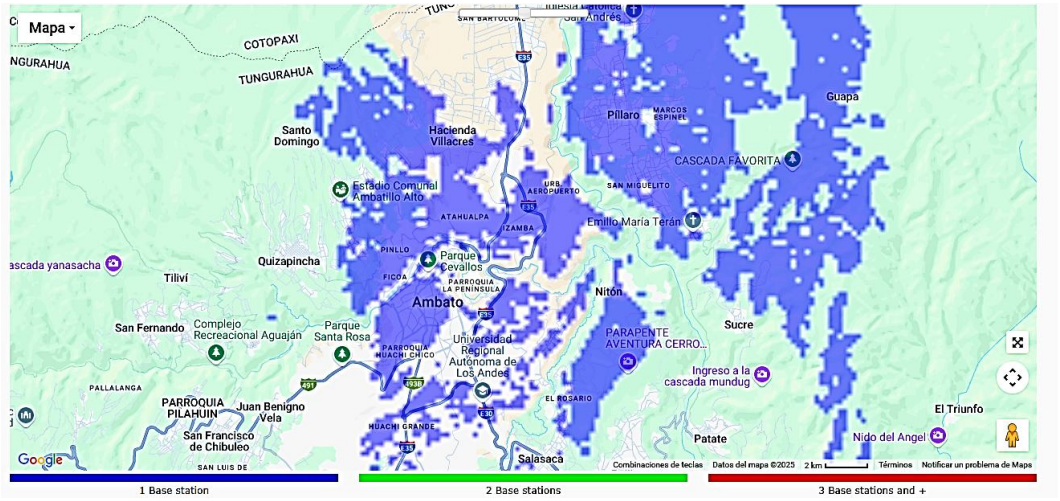


Figura 39. Mapa de Cobertura en Ambato

En el Mapa abarcan múltiples estaciones, que muestra la calidad de transmisión de radiofrecuencia, se pueden dividir en tres colores con el número de estaciones que cubren áreas definidas, segmentadas de la siguiente manera:

- Azul: Para una estación base para su recepción.
- Verde: Dos estaciones base para su recepción.
- Rojo: Tres estaciones base para recepción.

3.9.1 Pruebas en Área Urbana

Para la ejecución de las pruebas de campo del sistema de geolocalización, se seleccionó la parroquia La Matriz, ubicada en el casco central de la ciudad de Ambato. Esta zona fue elegida debido a que cuenta con cobertura confirmada de la red Sigfox en la región RC4, condición indispensable para asegurar la recepción efectiva de los datos transmitidos por el dispositivo. Además, La Matriz presenta un entorno urbano representativo, caracterizado por una alta afluencia estudiantil, edificaciones de diferentes alturas y calles estrechas, lo que permite evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación. La elección de esta parroquia también responde a criterios logísticos, ya que facilita el acceso, monitoreo y supervisión del recorrido en tiempo real, asegurando así la validez y la replicabilidad de los resultados obtenidos durante las pruebas.

- **Parroqui Celiano Monge**

En la figura 40, se presenta el mapa de Cobertura de la parroquia Celiano Monge. En esta área la cobertura de la red no cubre por totalidad la parroquia, lo que perjudica a la localización del dispositivo, para las pruebas de ruta de la parroquia Celiano Monge se escogió la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle, la escuela Fe y Alegría y la Unidad Educativa Mario Cobo Barona.

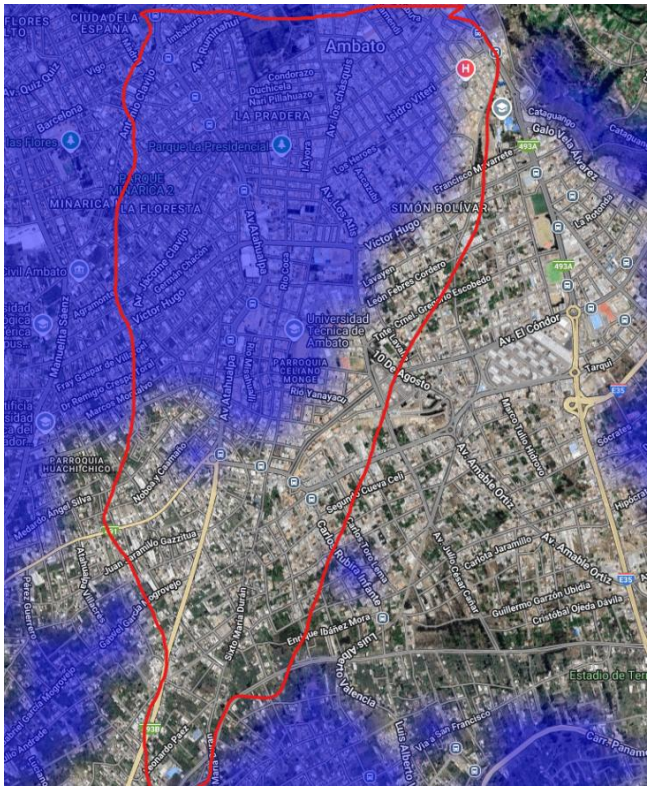


Figura 40.Mapa de Cobertura Parroquia Celiano Monge-Ambato.

- **Prueba Unidad Educativa Juan León Mera la Salle.**

En la figura 41, se muestra el área de cobertura correspondiente a la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle, donde la señal de cobertura de la red Sigfox es cubierta en totalidad.



Figura 41. Mapa de Cobertura Unidad Educativa Juan León Mera la Salle

La zona marcada en la figura 42, delimita las pruebas de geolocalización que se hizo al salir de la Unidad Educativa la Salle, facilitado por Google Earth Pro.



Figura 42. Área seleccionada en Unidad Educativa la Salle.

Se procede a realizar el recorrido a pie empezando desde la puerta principal a las 14:15 pm, luego de aproximadamente 20 minutos se logró cumplir la ruta en la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle. La información compilada por el dispositivo durante su recorrido varía según su movimiento y muestra la zona de cobertura de la red, se recopilan datos como longitud, latitud, temperatura y el estado de la batería. Los datos son emitidos cada 40 segundos y se los puede observar a través del backend de Sigfox, como se muestra en el anexo A.

Cálculo de error de distancia.

$$E = \sqrt{(\Delta lat * 11139)^2 + (\Delta lon * 11139 * \cos{(lat_{prom})^2}} \quad (2)$$

Donde:

Δlat = latitud_reportada – latitud_real.

Δlon = longitud_reportada – longitud_real.

lat_{prom} = (latitud_reportada+ latitud_real.) /2

111139 = metros por cada grado (aproximado)

Cálculo de promedio de error (Exactitud)

Sumamos todos los errores de distancia y dividimos entre el número total de los puntos para obtener el error. Como resultado tenemos el error promedio que toma como referencia la medida de la exactitud del dispositivo, mediante la siguiente ecuación la calculamos.

$$E_{prom} = \frac{P_1 + P_n}{P_n} \quad (3)$$

Donde:

Epro= Error promedio

P1= Punto Inicial

Pn= Cantidad de Puntos

Ptotal = Número de puntos totales

- **Porcentaje de éxito (Efectividad) y porcentaje de error.**

El cálculo del porcentaje de éxito se fundamenta en la consideración del margen de error, entendido como el valor promedio de las desviaciones registradas. Este parámetro resulta clave para evaluar la precisión del sistema, ya que permite verificar si las coordenadas obtenidas se encuentran dentro de un rango aceptable de tolerancia. La determinación de dicha condición se realiza conforme a lo establecido en la Ecuación 4.

$$\begin{Bmatrix} P_n \leq M_e \rightarrow Dentro; 100\% \\ P_n \geq M_e \rightarrow Fuera; 0\% \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Donde

Pn=Punto de analizar

Me=Margen de error

Tabla 17.Prueba Unidad Educativa Juan León Mera la Salle

N°	Hora	Tiempo de envio en seg	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	Error distancia grados	Distancia (m)	% Éxito	% Error	Dentro o Fuera del Rango.	% Efectividad
1	14:07:10	30	-1,26345	-78,6261	25,1	356	0,00006	6,61	100%	0%	Dentro	0%
2	14:08:41	91	-1,26641	-78,6271	28,7	355	0,000056	6,18	100%	0%	Dentro	100%
3	14:09:11	30	-1,26464	-78,6276	29,5	356	0,000055	6,12	100%	0%	Dentro	100%
4	14:09:41	30	-1,26441	-78,6269	26,71	354	0,000155	6,68	100%	0%	Dentro	0%
5	14:10:11	30	-1,26622	-78,6272	26,4	356	0,000208	3,13	100%	0%	Dentro	0%
6	14:10:41	30	-1,2644	-78,6268	28,2	353	0,000091	10,11	100%	0%	Dentro	100%
7	14:11:11	30	-1,26539	-78,6274	28,7	353	0,000042	4,6	0%	100%	Fuera	100%
8	14:11:41	30	-1,26644	-78,627	30,8	355	0,000049	5,38	100%	0%	Dentro	100%
9	14:12:11	30	-1,26621	-78,6264	29,4	356	0,000188	20,88	100%	0%	Dentro	100%
10	14:12:41	30	-1,26607	-78,6273	30,2	353	0,000119	13,14	0%	0%	Fuera	100%
11	14:13:11	30	-1,26635	-78,6264	30	354	0,000178	19,75	100%	100%	Dentro	100%
12	14:14:12	61	-1,26404	-78,6264	30,6	355	0,00013	14,47	100%	100%	Dentro	0%
13	14:14:43	31	-1,26652	-78,6256	27,5	353	0,000174	19,27	100%	0%	Dentro	100%
14	14:15:13	30	-1,26653	-78,6261	25,8	355	0,00024	2,62	0%	0%	Fuera	100%
15	14:15:44	31	-1,26442	-78,6271	25,2	354	0,000193	1,44	100%	100%	Dentro	100%
16	14:16:15	31	-1,26634	-78,6272	28,5	355	0,00007	7,71	100%	0%	Dentro	100%
17	14:16:43	28	-1,26579	-78,6274	28,2	354	0,000178	19,78	100%	100%	Dentro	100%
18	14:17:14	31	-1,26647	-78,6262	29,8	353	0,000177	9,68	0%	0%	Fuera	100%
19	14:17:43	29	-1,2663	-78,6268	30,4	355	0,000132	4,67	0%	0%	Fuera	100%
20	14:18:13	30	-1,26653	-78,6256	28,1	353	0,000086	9,54	100%	0%	Dentro	100%
21	14:18:43	30	-1,26496	-78,6275	25,8	355	0,000098	10,81	0%	100%	Fuera	100%
22	14:19:15	32	-1,2665	-78,6258	28,2	353	0,000067	7,47	100%	0%	Dentro	100%
23	14:19:43	28	-1,26419	-78,6264	30,1	353	0,000171	1,99	100%	0%	Dentro	100%
24	14:20:13	30	-1,26648	-78,626	28,5	356	0,000221	4,57	100%	0%	Dentro	100%
25	14:20:43	30	-1,2644	-78,6268	28,2	353	0,000091	1,11	100%	0%	Dentro	100%
26	14:22:12	89	-1,26522	-78,6275	31	354	0,000059	6,54	100%	0%	Dentro	100%
27	14:23:09	57	-1,26451	-78,6274	30,3	354	0,000211	3,45	0%	100%	Fuera	100%
28	14:24:22	73	-1,26647	-78,6267	27,1	353	0,000117	12,99	100%	100%	Dentro	0%
29	14:25:38	76	-1,26522	-78,6275	30,6	354	0,000064	5,07	100%	0%	Dentro	100%
30	14:26:28	50	-1,26607	-78,6273	28,7	353	0,000053	5,88	100%	0%	Dentro	100%
31	14:27:53	85	-1,2648	-78,6275	30,1	354	0,000056	5,07	0%	0%	Fuera	100%
32	14:28:29	36	-1,26646	-78,6264	29,6	353	0,000156	7,29	100%	100%	Dentro	100%
33	14:29:29	60	-1,26598	-78,6274	27,1	353	0,000069	7,65	100%	0%	Dentro	0%
34	14:30:33	64	-1,26629	-78,6264	27,1	355	0,000035	3,84	100%	0%	Dentro	100%
35	14:31:18	45	-1,26639	-78,6271	30,7	353	0,000128	4,16	100%	100%	Dentro	0%
36	14:32:34	76	-1,26442	-78,6271	25,7	353	0,000141	5,65	100%	0%	Dentro	0%
Total		43,16666667						**7,925**	**77,78%**	28%		**78%**

Se debe tener a consideración un lapso necesario de tiempo para él envió de las coordenadas al backend de Sigfox, según la cobertura.
En la tabla 17 se evidencia los tiempos para la transmisión de datos.

En el panel de la plataforma se puede visualizar la ruta desde donde parte el estudiante hasta su domicilio, como se muestra en la figura 43.

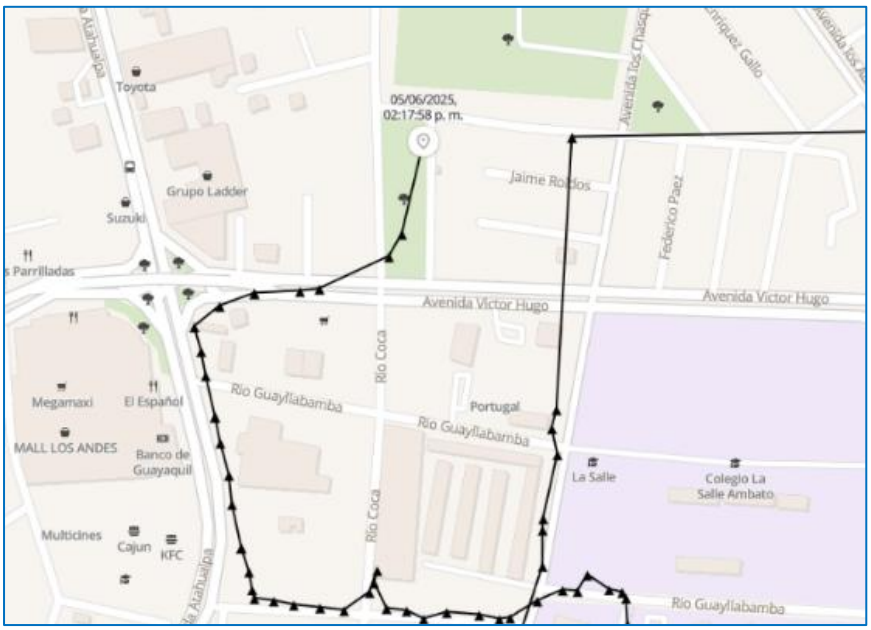


Figura 43.Ruta generada por el prototipo desde el Colegio la salle hasta el domicilio del estudiante.

Una vez verificada la ruta en la zona establecida desde la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle, en la figura 20, mediante los cálculos realizados para el margen de error, se obtiene un error mínimo de 1.11 metros y un máximo de 20.88 metros, esta diferencia entre cada punto se muestra en la tabla 17.

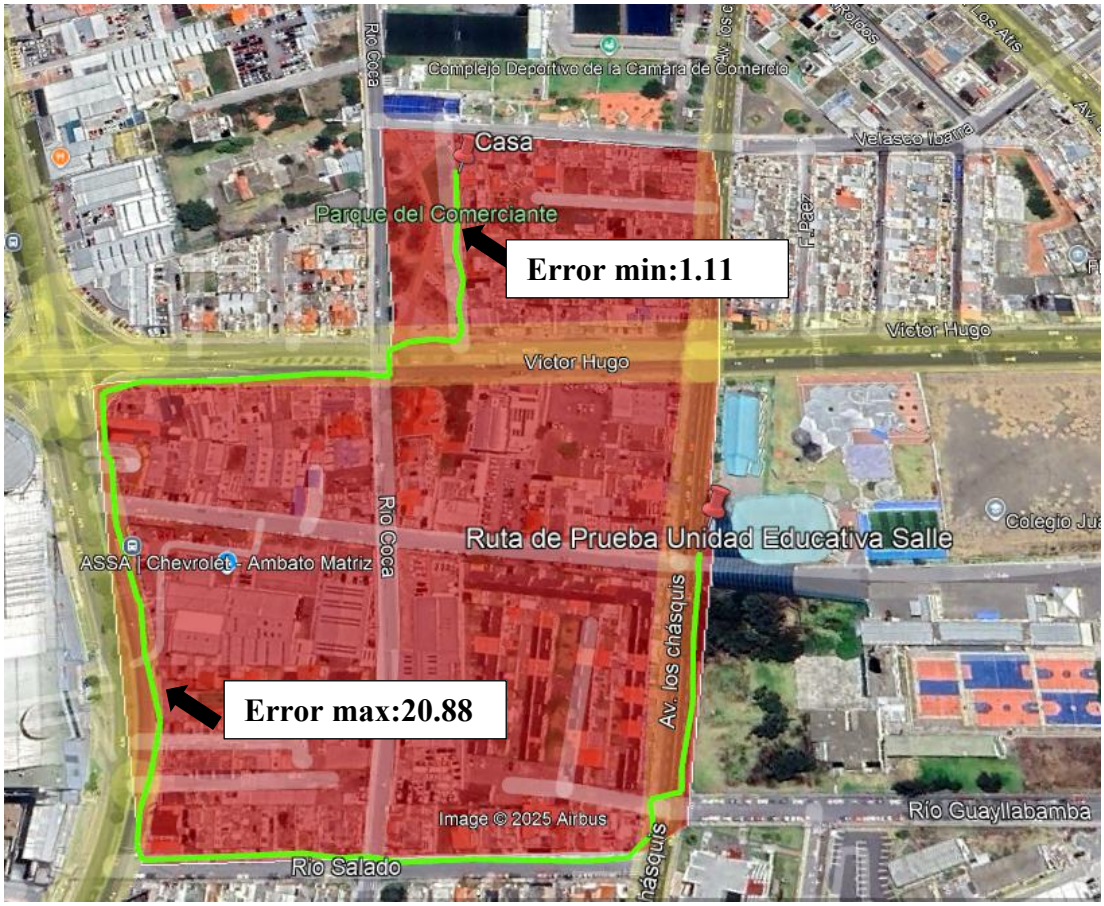


Figura 44. Diferencia mínima y máxima de distancia cada 40 segundos.

En la figura 45. Facilita la variación de la distancia a lo largo de la ruta establecida teniendo como referencia puntos mínimos y máximos.

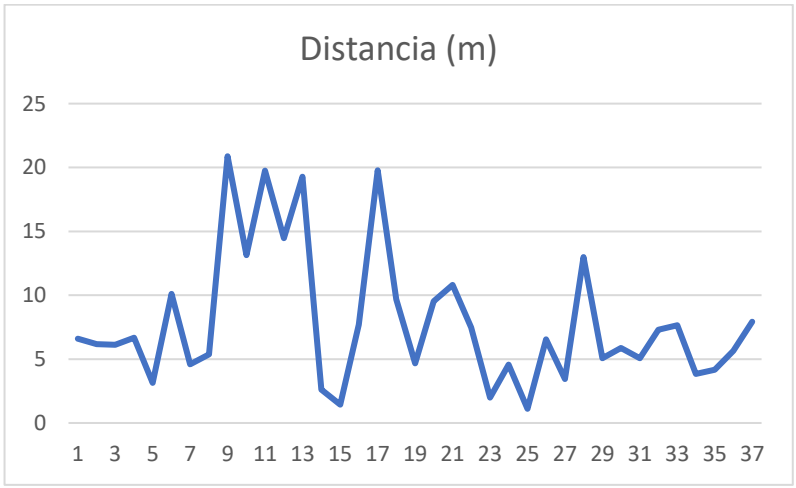


Figura 45. Variación de distancia entre cada punto cada 40 segundos.

El nivel de la batería juega un factor importante dentro del funcionamiento del dispositivo, ya que indica cuando se debe cargar. La figura 46, muestra el estado de la batería en milivoltios en cada envió de coordenadas.

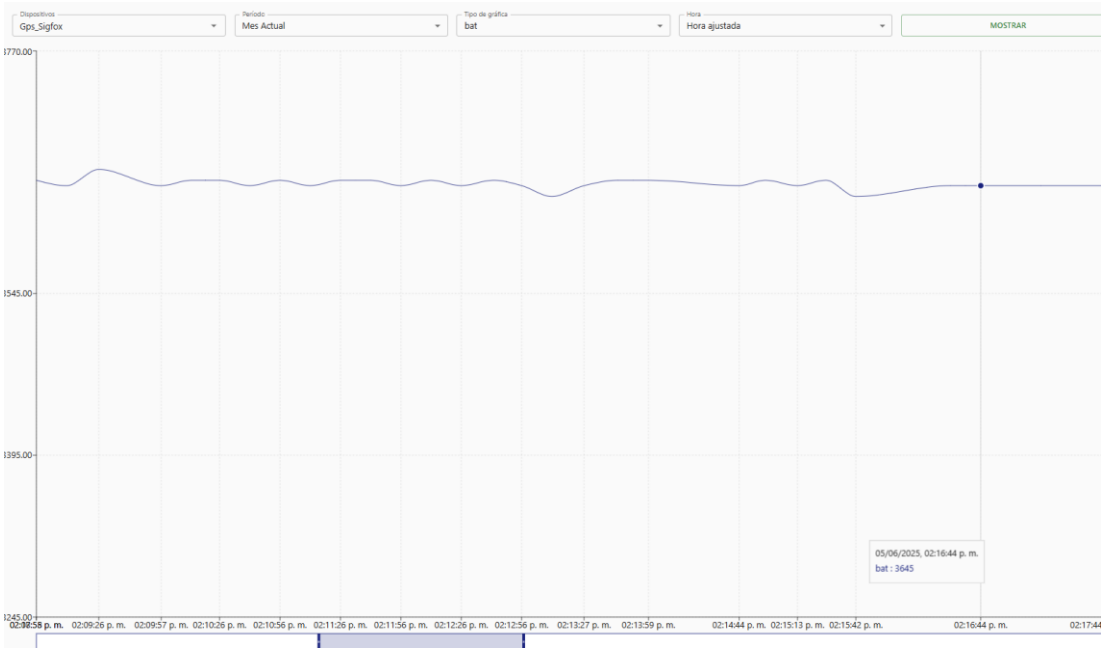


Figura 46. Estado de la batería del dispositivo prueba cada 40 segundos

En el dispositivo, la temperatura es uno de los factores que también se va a evaluar. La figura 47, se presenta las variaciones de temperatura registradas del dispositivo que se atribuyen a las condiciones ambientales.

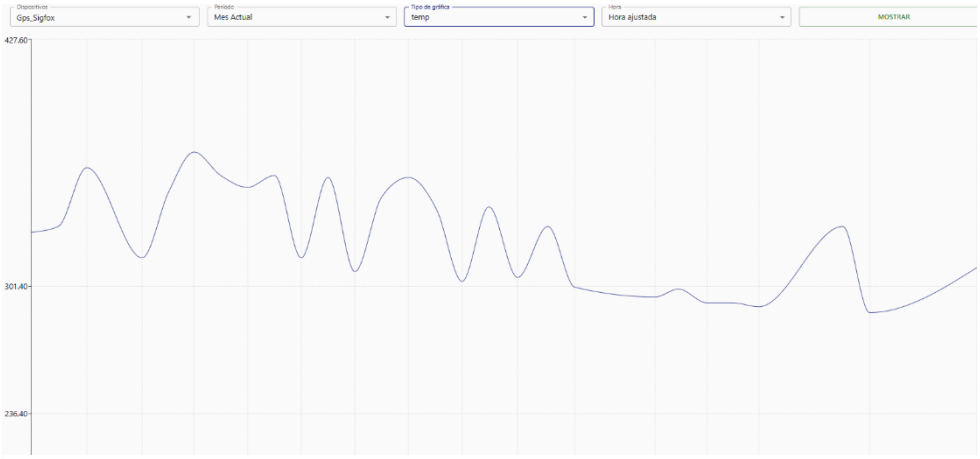


Figura 47. Temperatura del dispositivo de 40 segundos.

Una vez recopilada la información a través del dispositivo, la podemos encontrar dentro del Backend de Sigfox donde se puede visualizar en la figura 48. La figura detalla un mensaje hexadecimal junto con la recepción de la señal donde los datos son enviados a través de la función de Custom Callback desde la misma página.

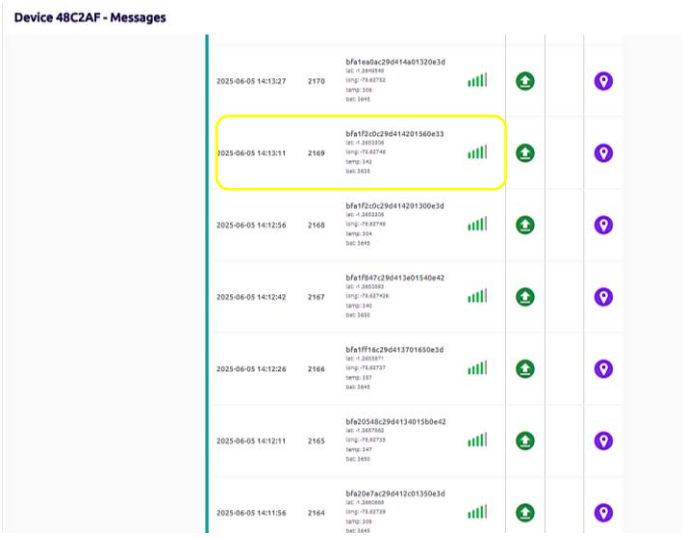


Figura 48:Backend de Sigfox con las coordenadas recibidas.

En la figura 49, se ha logrado evidenciar el porcentaje de éxito y el porcentaje de error.

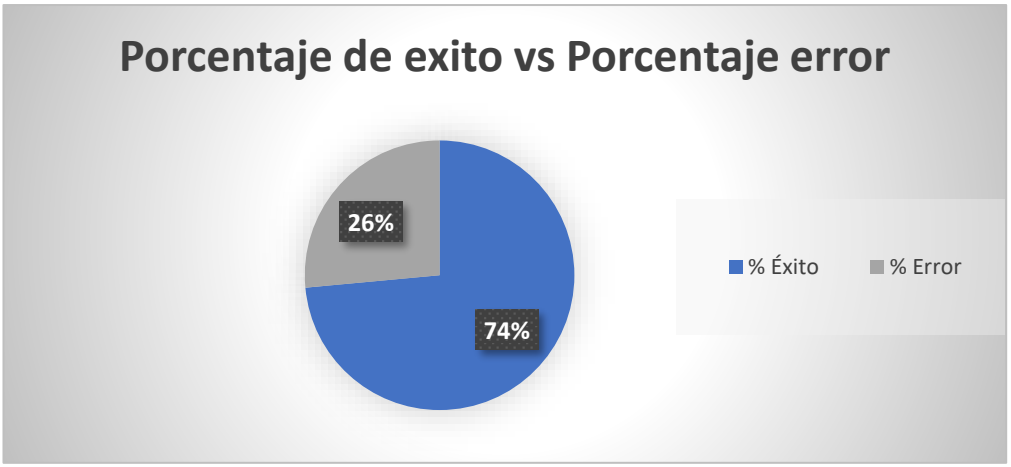


Figura 49.Porcentaje de éxito del prototipo cada 40 segundos

k. Prueba de Unidad Educativa Mario Cobo Barona.

Se desarrolló una prueba en la Unidad Educativa Mario Cobo Barona, situada en la ciudad de Ambato. La Figura 50 muestra el recorrido obtenido desde el punto de encendido del dispositivo hasta un destino que es la residencia del estudiante.



Figura 50. Posición del equipo al hacer encendido

La fase de recolección de datos se inició a las 15:40 p. m., tras la configuración del prototipo de geolocalización y comunicación Sigfox. El dispositivo fue programado para emitir paquetes de datos con una periodicidad de 30 segundos, asegurando así una frecuencia adecuada para el monitoreo continuo del trayecto. La toma de datos se llevó a cabo mediante un recorrido a pie, simulando de forma controlada el desplazamiento habitual de un estudiante desde la unidad educativa hasta su lugar de residencia. Este procedimiento permitió replicar condiciones reales de movilidad urbana, evaluando la capacidad del sistema para capturar y transmitir datos de ubicación en escenarios dinámicos y con variaciones en la cobertura de red.

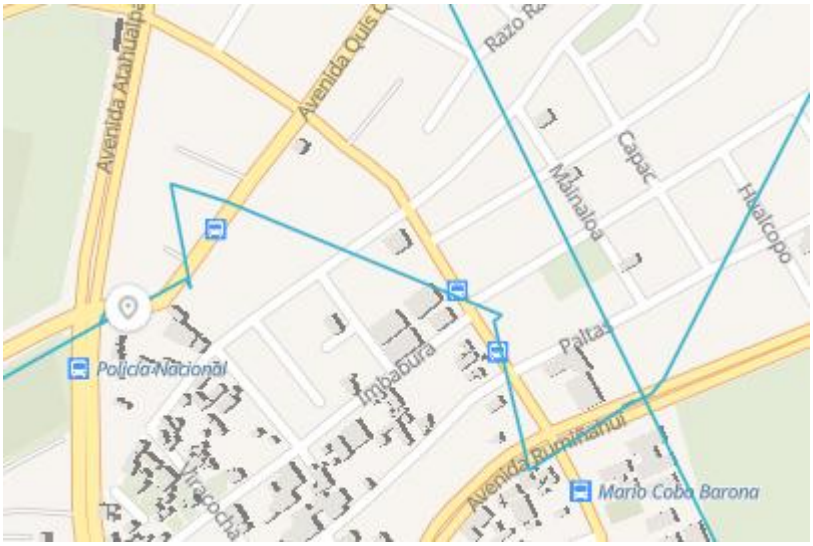


Figura 51. Ruta trazada desde la Unidad Educativa Mario Cobo Barona

Se detallan los intervalos de tiempo requeridos para la transmisión de coordenadas geográficas generadas por el prototipo desde la Unidad Educativa Mariano Cobo Barona. En esta zona, caracterizada por una adecuada cobertura de la red Sigfox, como se ilustra en la Figura 90, los tiempos de emisión presentan una variabilidad mínima. Durante las pruebas realizadas, se registraron lapsos de transmisión comprendidos entre 26 y 46 segundos, lo cual evidencia una estabilidad aceptable del canal de comunicación en condiciones urbanas favorables. Esta estabilidad es un factor crítico para garantizar la continuidad del monitoreo en tiempo real, especialmente en aplicaciones orientadas a la seguridad y rastreo de estudiantes.

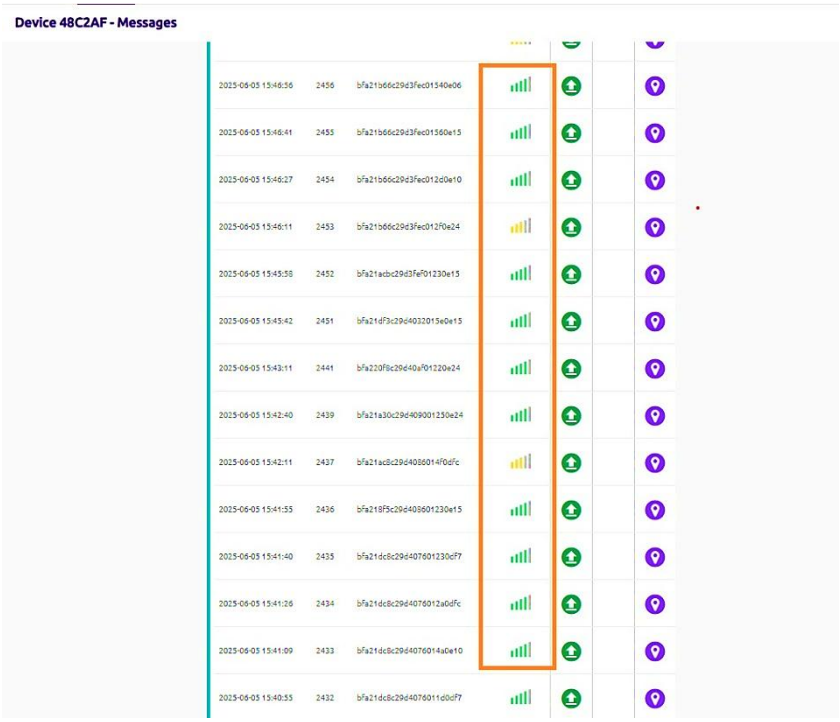


Figura 52. Optima Cobertura en la Unidad educativa Mario Cobo Barona.

La Figura 53, muestra de manera detallada la variación de las distancias registradas a lo largo del trayecto, permitiendo identificar tanto los puntos de menor desplazamiento como aquellos de mayor separación entre coordenadas consecutivas. Esta representación gráfica facilita el análisis del comportamiento del sistema de geolocalización en función del recorrido.

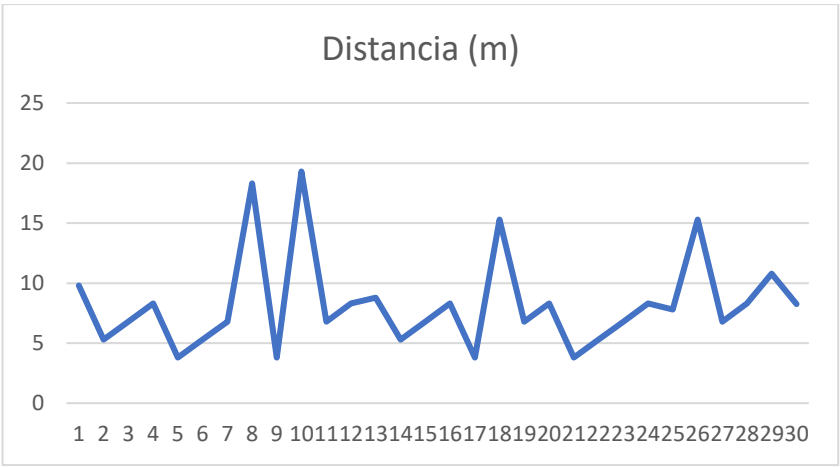


Figura 53. Variación de Distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Mario Cobo Barona.

La Figura 54, evidencia que el prototipo logró una tasa de éxito del 65 % en el envío de datos, lo que demuestra un rendimiento adecuado en las condiciones evaluadas. Por otro lado, el 35% corresponde a intentos fallidos de transmisión, atribuibles a factores inherentes a la red de baja potencia y largo alcance utilizada. A pesar de estas pérdidas, el desempeño general se considera satisfactorio para fines de monitoreo en tiempo real.

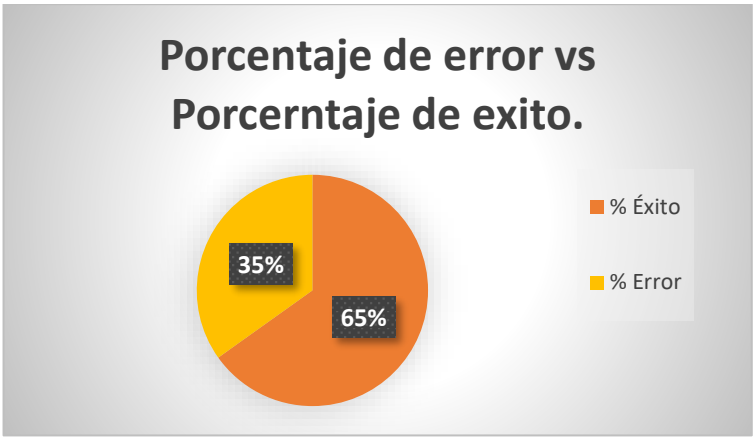


Figura 54. Porcentaje de éxito del dispositivo

l. Prueba Escuela Fe y Alegría

La Figure 55, señala el punto de partida de la ruta. Esta prueba se realizó en la Escuela Fe y Alegría, evidenciando las posiciones registradas por el prototipo al ser encendido.

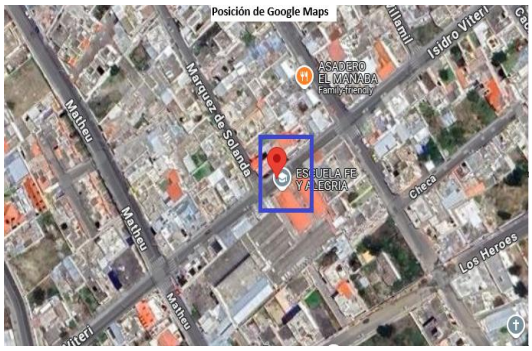


Figura 55. Posición del prototipo al hacer encendido Escuela Fe y Alegría.

La ruta se inició a las 16:45 pm, partiendo desde la puerta principal de la escuela donde se activó el dispositivo, caminamos unos 20 a 25 minutos hasta donde quedaría el domicilio de ejemplo del estudiante, concluyendo con nuestro trayecto, el dispositivo registro información variada, transmitiendo coordenadas cada 30 segundos. En el anexo se detallan las coordenadas obtenidas durante la prueba de campo.

En el Anexo, se detalla el tiempo que se tardó en transmitir coordenadas desde la Escuela Fe y Alegría, donde la cobertura inicial de Sigfox fue regular porque alcanzo un nivel medio, el tiempo de transmisión se mantiene en un mínimo de 20 segundos a 60 segundos.

La figura 56. Se muestra la ruta trazada por el prototipo notando notables diferencias a lo largo del trayecto por la cobertura de red, se tiene como referencia el tiempo de envió de coordenadas que fue de 20 segundos.



Figura 56. Trayectoria del prototipo

En la figura 57, se puede observar que el dispositivo alcanzado un éxito de tres cuartos del total, mientras que el error alcanza un poco más de un cuarto del total.

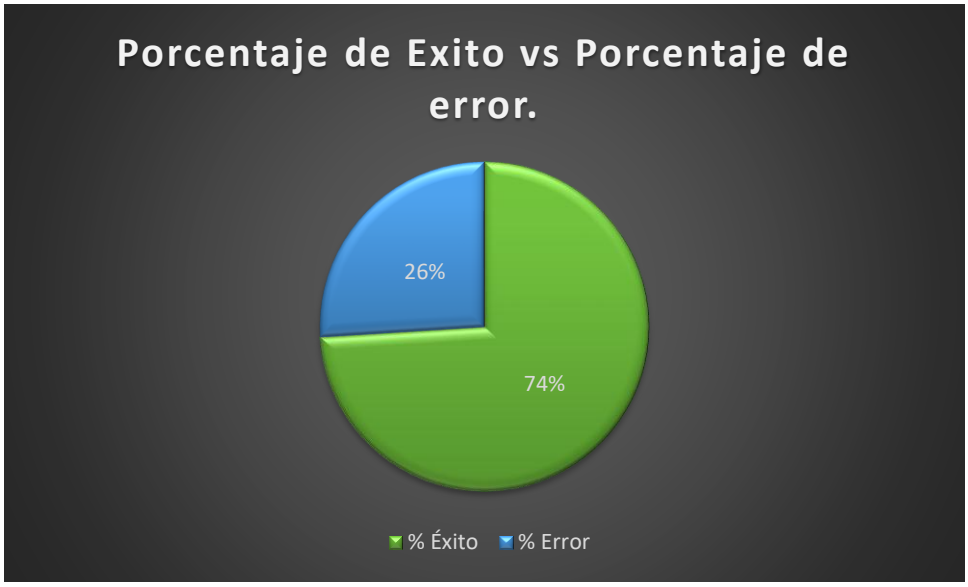


Figura 57.Porcentaje de éxito del prototipo en la Escuela Fe y Alegría cada 20 segundos.

- **Parroquia la Matriz**

En la figura 58, se muestra el mapa de Cobertura de la parroquia La Matriz, en la ciudad de Ambato. En esta parroquia la señal de cobertura de Sigfox cubre una gran parte de la parroquia, donde se llevarán a cabo las pruebas de rutas en la Unidad Educativa Bolívar y la Escuela Manuela Espejo

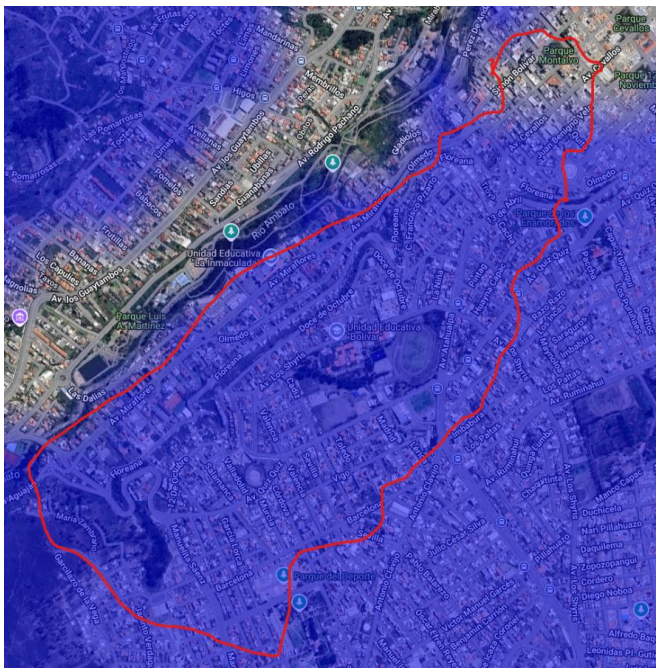


Figura 58.Mapa de Cobertura parroquia la Matriz- Ambato

m. Prueba Unidad Educativa Bolívar

En la figura 59, se representa el punto inicial del trayecto, donde se evidencian las coordenadas captadas por el prototipo al momento de su encendido.



Figura 59. Posición del prototipo al ser encendido

La trayectoria se inició a las 12:30 pm desde el punto de partida donde se activó el dispositivo, en la Unidad Educativa Bolívar dirigiéndose a pie en un transcurso de 15 minutos a la casa del estudiante. Durante la trayectoria el dispositivo registro datos, transmitiendo coordenadas aproximadamente cada 40 segundos.

Mediante las ecuaciones anteriormente mencionadas, se adquiere los resultados de exactitud y efectividad del dispositivo que se detalla en el anexo. Las coordenadas obtenidas durante el ensayo de campo realizada el 10 de junio del 2025.

En el anexo B, se observa el tiempo solicitado para la transmisión de las coordenadas del dispositivo hasta el domicilio del estudiante, durante la prueba se ve la cobertura disponible de la red.

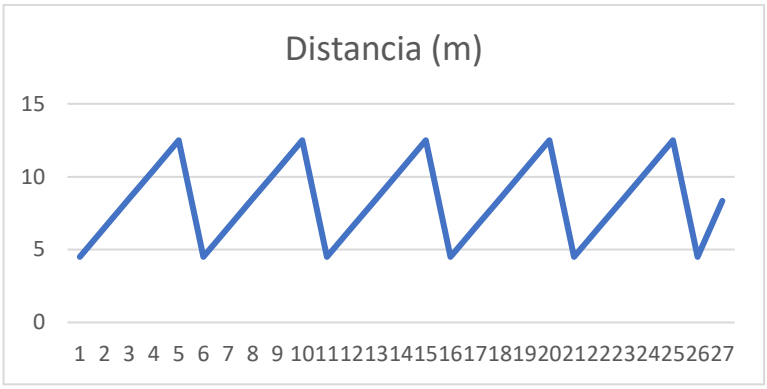


Figura 60. Variación de la Distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Bolívar.

En la figura 61, se observa que el prototipo alcanzó un porcentaje de éxito equivalente al 74% del total de transmisiones realizadas, mientras que el porcentaje de error se aproxima ligeramente por debajo de ese valor. Estos resultados reflejan un desempeño funcional aceptable, aunque con margen de mejora en términos de precisión y confiabilidad del sistema.

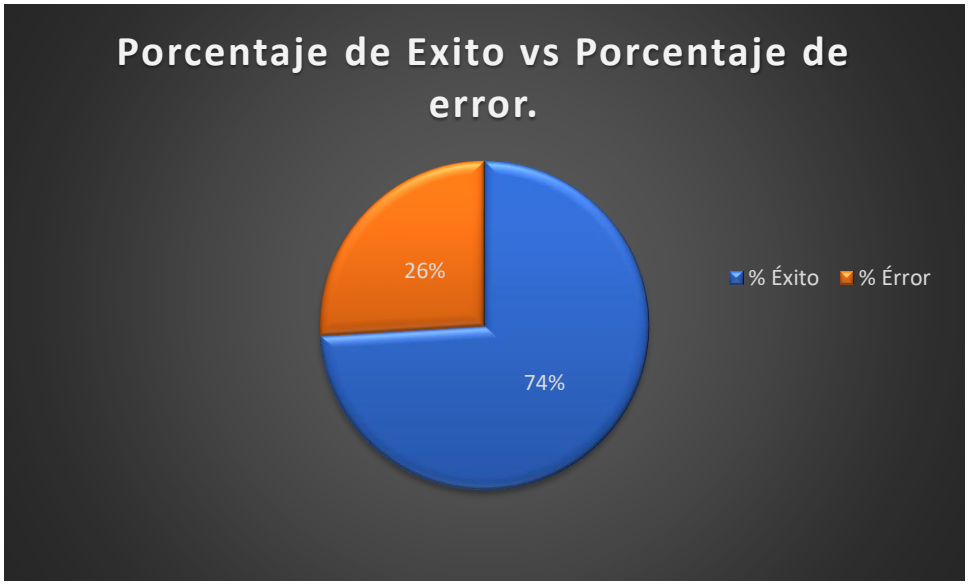


Figura 61. Porcentaje de éxito del dispositivo en la Unidad Educativa Bolívar.

En la fase final del estudio, la Figura 62 presenta la ruta que fue registrada en el entorno de la Unidad Educativa, en la ciudad de Ambato. Dicha trayectoria corresponde a recorridos efectuados en dos Unidades Educativas específicas de dicha parroquia, seleccionadas para la validación del sistema de rastreo implementado.

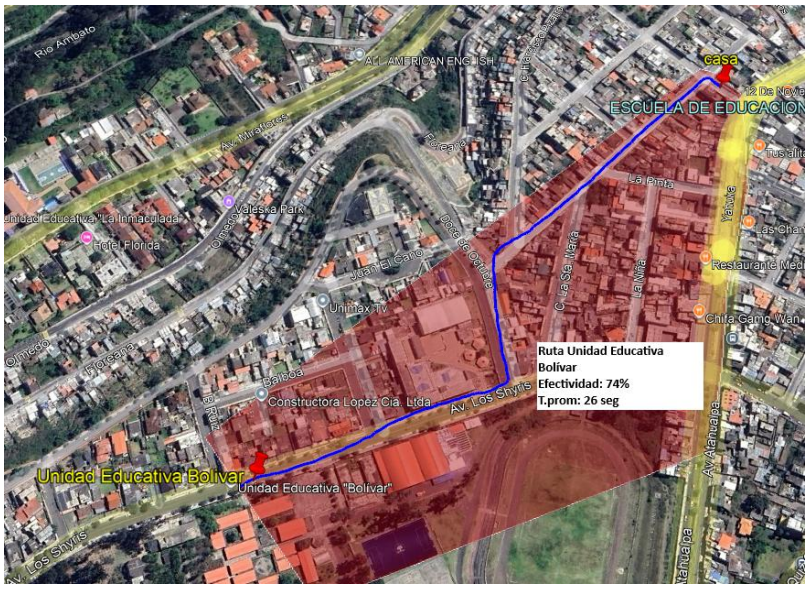


Figura 62. Ruta Obtenida en la Unidad Educativa Bolívar.

Cobertura de Sigfox en le Unidad Educativa Bolívar.

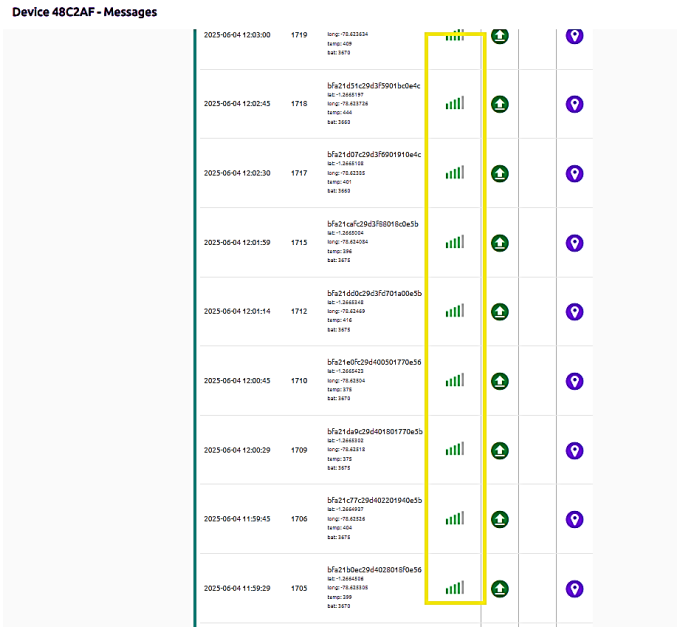


Figura 63. Cobertura de la red Sigfox en la Unidad Educativa Bolívar.

n. Prueba Escuela de Educación Básica Manuela Espejo

En la puerta de salida de la Unidad Educativa Manuela Espejo, se simuló el trayecto cotidiano de un estudiante desde la institución educativa hasta su domicilio, replicando condiciones reales de desplazamiento. La Figura 64 se presenta el momento en que el dispositivo fue encendido.

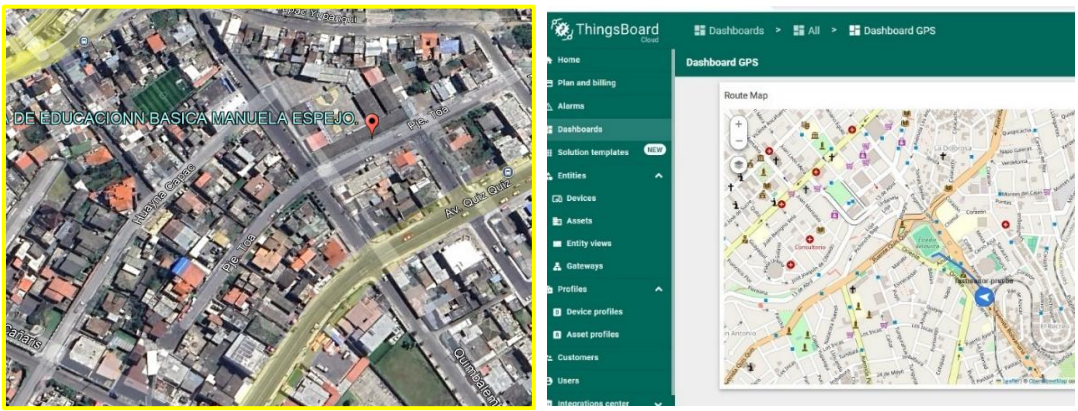


Figura 64. Encendido del dispositivo Prueba Manuela Espejo.

A las 10:20 a. m. se procedió con la activación del prototipo, configurado para emitir datos en intervalos regulares de 40 segundos. Esta frecuencia de transmisión permitió un seguimiento periódico y estructurado de la trayectoria recorrida. Si bien se identificaron zonas con variabilidad en la cobertura de red, el sistema logró registrar una secuencia coherente y continua de coordenadas en la mayor parte del trayecto, lo que evidencia una operatividad aceptable del módulo en condiciones urbanas reales.

Se especifican los tiempos necesarios para la transmisión de las coordenadas geográficas enviadas por el prototipo desde la Unidad Educativa Manuela espejo, una zona que cuenta con una cobertura favorable de la red Sigfox, como se muestra en la Figura 65.

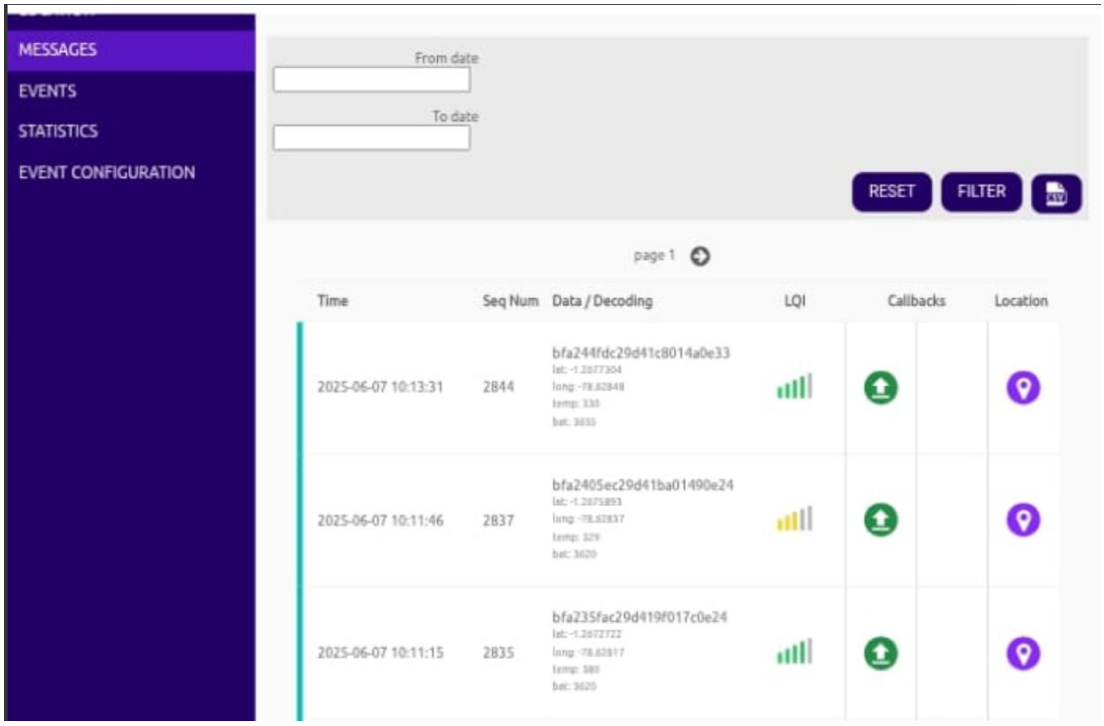


Figura 65. Cobertura Optima en la Unidad Educativa Manuela Espejo.

Se presenta de forma detallada la variación de las distancias registradas a lo largo del trayecto, lo que permite identificar tanto los tramos con menor desplazamiento como aquellos con mayor separación entre coordenadas sucesivas. Esta representación gráfica resulta útil para analizar el desempeño del sistema de geolocalización en relación con el recorrido realizado.

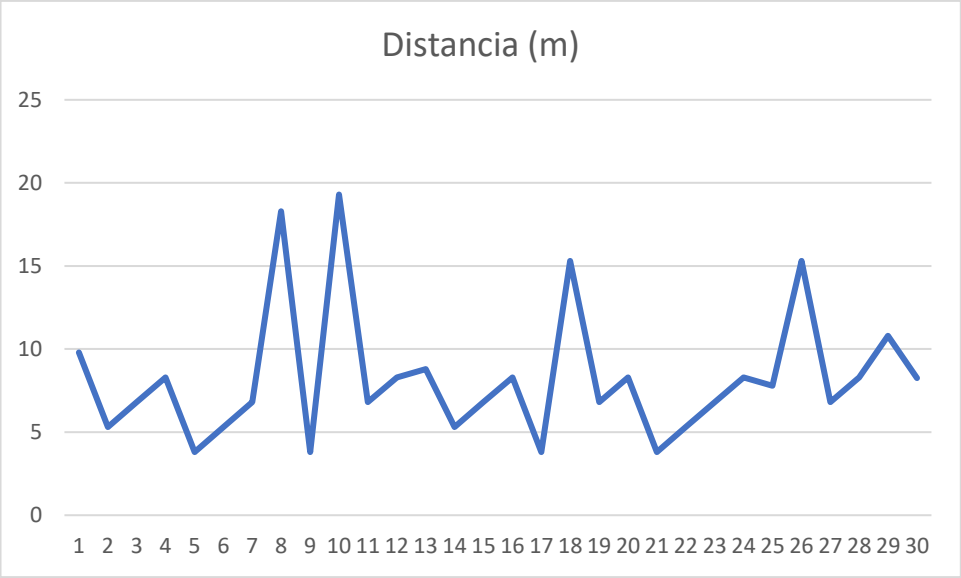


Figura 66. Variación de distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Manuela Espejo.

Con base en los resultados obtenidos, se registró un 69 % de éxito en la transmisión de datos, mientras que el 48 % correspondió a errores. La distancia promedio entre cada transmisión fue de 8.25 metros, lo que indica una resolución espacial apropiada para su implementación en entornos educativos orientados al rastreo de estudiantes.

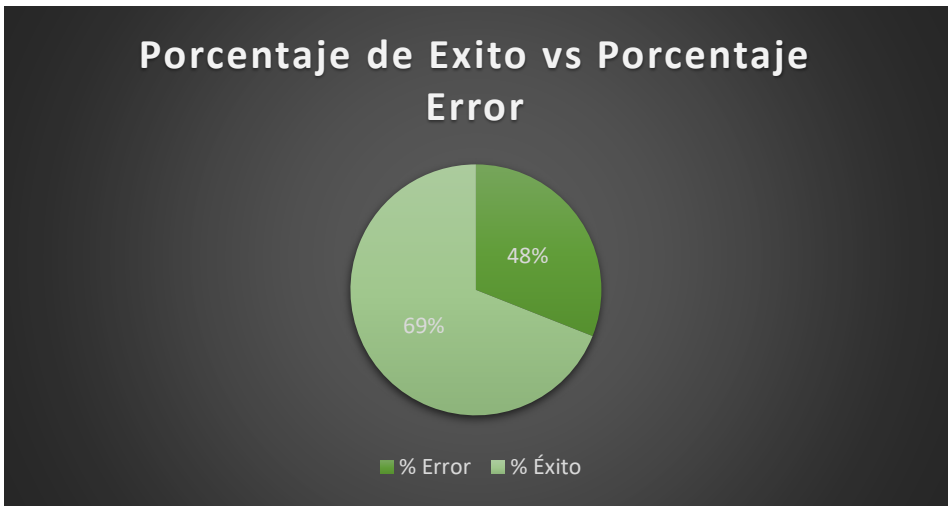


Figura 67. Porcentaje de éxito Unidad Educativa Manuela Espejo.

- **Parroquia Huachi Chico.**

En la figura 68, muestra el mapa de Cobertura de la parroquia Huachi Chico en Ambato la señal de cobertura de la parroquia cubre una gran parte, se presenta una Institución

Educativa para llevar a cabo la ruta en esta parroquia: Unidad Educativa Ricardo Discalzi.

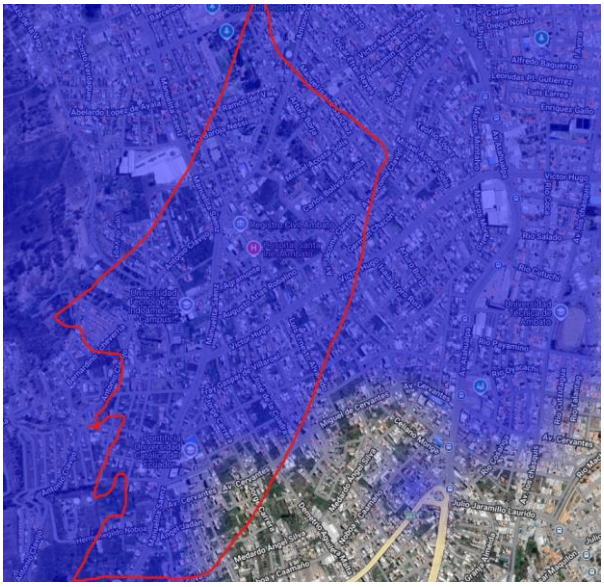


Figura 68. Mapa de Cobertura de la parroquia Huachi Chico-Ambato.

o. Prueba Unidad Educativa Ricardo Descalzi.

La Figure 69, señala el punto de inicio del prototipo al ser encendido. Esta prueba se realizó en la Unidad Educativa Ricardo Descalzi, donde se señala el punto de partida del trayecto.



Figura 69. Dispositivo encendido

La ruta inicio a las 8:35 am desde el punto de partida donde se activó el prototipo se procedió hacer el trayecto a pie, después de 10 a 15 minutos, se completó la ruta desde la Unidad educativa Ricardo Descalzi, hasta el posible domicilio de un estudiante durante la ruta el dispositivo comenzó a variar de coordenadas aproximadamente cada 20 segundos. En el Anexo se detallan las coordenadas obtenidas durante la prueba realizada.

La ruta generada por el prototipo se muestra en la figura 70, demostrando una efectividad del 55% por el prototipo, además se destaca un tiempo promedio de envío de coordenadas de 20 a 25 segundos.



Figura 70. Ruta del prototipo desde la Unidad Educativa Ricardo Descalzi.

La figura 71, muestra los resultados de como varia la distancia a lo largo del trayecto teniendo los puntos mínimos y máximos del trayecto.

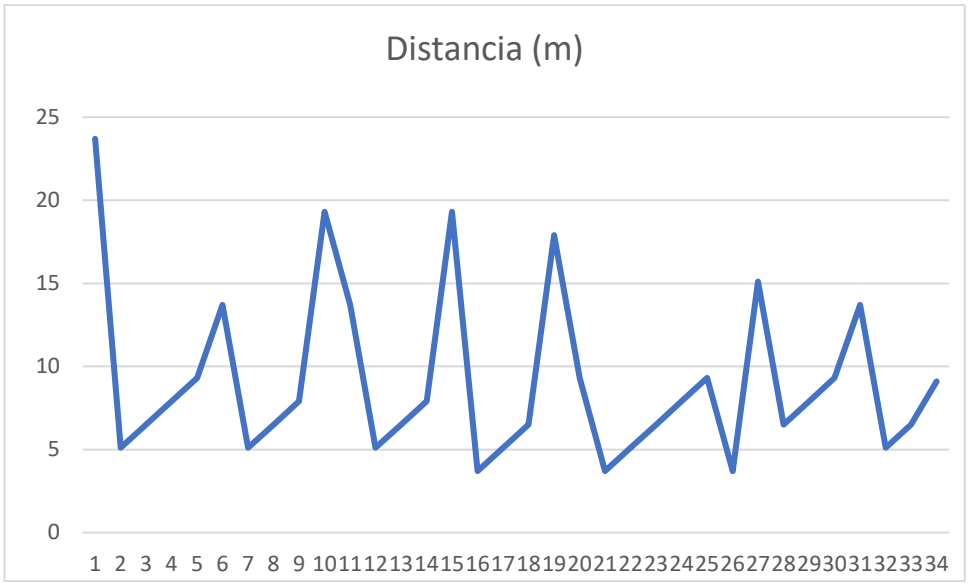


Figura 71. Variación de distancia entre cada punto de la Unidad Educativa Ricardo Discalzi.

En la figura 72, muestra el éxito que tiene el dispositivo dos cuartas partes del total de éxito del dispositivo.

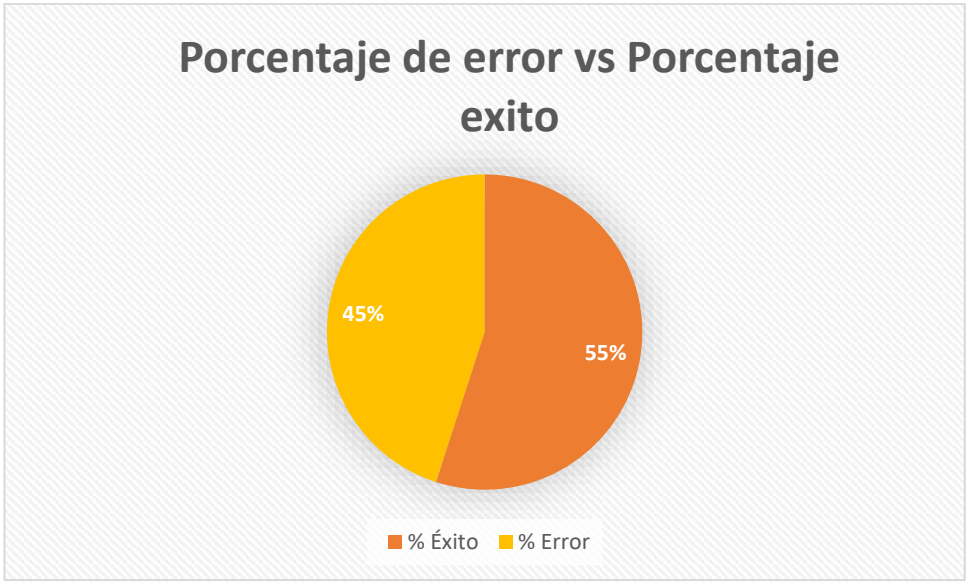


Figura 72. Porcentaje de éxito del dispositivo en la Unidad Educativa Ricardo Discalzi.

En la tabla 18, presentamos todas las pruebas de funcionamiento, revelando el porcentaje general del 69% de éxito por parte del prototipo.

Tabla 18. Porcentaje General de éxito del prototipo en las pruebas de campo.

Pruebas	Porcentaje de éxito
Prueba Unidad Educativa la Salle.	78%
Prueba Unidad Educativa Mario Cobo Barona.	71%
Prueba Escuela Manuela Espejo	69%
Prueba Unidad Educativa Ricardo Dizcalzi.	55%
Prueba Escuela Fe y Alegría.	74%
Total	69%

Finalmente, en la figura 73, detallamos el porcentaje de éxito y efectividad en cada una de las pruebas realizadas, demostrando un rango de efectividad con un mínimo de 55% hasta un máximo del 78%.

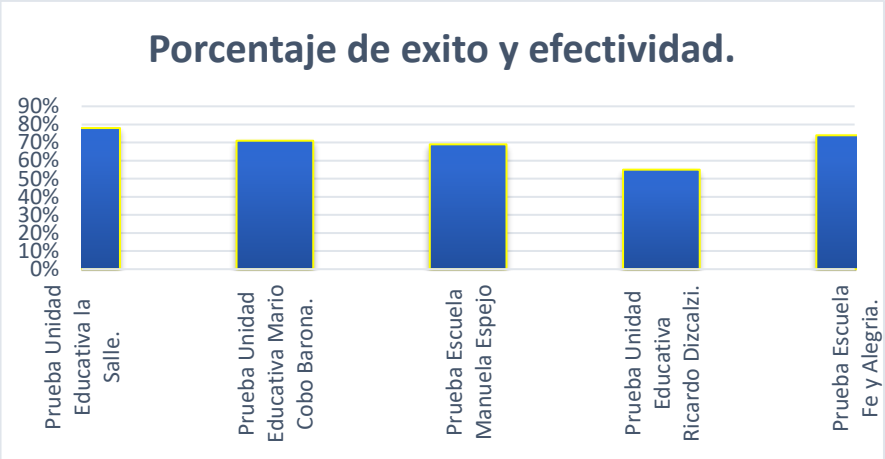


Figura 73. Porcentaje de éxito y efectividad de cada prueba realizada.

Finalmente, la Figura 73 sintetiza los resultados obtenidos en las distintas pruebas de campo y permite consolidar el análisis del objetivo específico 3. La variabilidad observada en los porcentajes de éxito, que oscilan entre el 55 % y el 78 %, demuestra que la eficiencia operativa del sistema está directamente influenciada por factores como la densidad geográfica, la ubicación de las estaciones base Sigfox y las características propias de cada institución educativa. Esta síntesis comparativa valida la eficacia del sistema en condiciones reales y reafirma su aplicabilidad en el monitoreo de estudiantes en zonas urbanas.

3.9.2 Analisis Comparativo de rutas escolares y eficiencia del sistema

Con base en las pruebas realizadas en las distintas rutas escolares, se efectuó un análisis comparativo del rendimiento del sistema IoT implementado tal como se observa en las Tablas 11 a 15 y en la Figura 73, se evidencia que la eficiencia de transmisión de datos varió según las condiciones geográficas, de infraestructura urbana y la cobertura de red Sigfox en cada sector. Por ejemplo, en la ruta correspondiente a la Unidad Educativa La Salle, el sistema alcanzó un porcentaje de éxito del 78 %, evidenciando una cobertura estable y buena conectividad. En contraste, en la ruta hacia la Unidad Educativa Ricardo Descalzi, se registró una eficiencia del 55 %, lo cual indica posibles zonas de sombra o interferencias urbanas que afectaron la transmisión.

Estos resultados permiten determinar que la eficiencia operativa del sistema IoT oscila entre un 55 % y un 78 % dependiendo de la ruta, lo que resalta la importancia de

considerar la infraestructura de red al momento de implementar soluciones de rastreo geolocalizado. En general, el sistema demostró ser funcional y adaptable, aunque dependiente de la calidad de conectividad del entorno urbano.

3.9.3 Costos del Prototipo e implementación.

El financiamiento del presente proyecto de investigación ha sido cubierto en su totalidad por el autor. La inversión se distribuye en dos componentes fundamentales: el primero corresponde al software, que implica el uso de recursos computacionales alojados en entornos en la nube para la gestión del servicio IoT; el segundo corresponde al hardware, conformado por los dispositivos físicos que integran el prototipo funcional, los cuales se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Costo del dispositivo.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario en (USD)	Precio total en (USD)
1	Modulo NEO-6M	c/u	1	10	10
2	Modulo Devkit Ufox	c/u	1	90	90
3	Tarjeta Sheild Ufox	c/u	1	35	35
4	Módulo de carga	c/u	1	3	3
5	Batería Litio 8800mA	c/u	1	4,5	4,5
6	Cables	c/u	16	0,7	0,7
7	Componentes electrónicos	c/u		1	1
8	Carcas Contenedora	c/u		15	15
TOTAL					$159,2

En la tabla 20, se detalla la selección del software y lo recursos informáticos en la nube del servicio IoT de Sigfox.

Tabla 20. Costos de recursos Informáticos.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Suscripción de Sigfox	c/u	1 año	16,5	16,5
Total					$16,50

3.9.4 Limitaciones geográficas o Climáticas del sistema implementado.

La geografía montañosa y el clima variable de Ambato afectan la cobertura y precisión del sistema Sigfox. Las elevaciones pueden bloquear señales de radiofrecuencia, generando zonas sin cobertura. Además, fenómenos climáticos como lluvia intensa o neblina densa reducen el alcance y calidad de la señal. Estos retos deben abordarse estratégicamente para asegurar un funcionamiento confiable y una localización precisa en tiempo real.

A continuación, se detalla factores importantes a considerar:

a. Factores Geográficos.

Los factores geográficos constituyen una variable crítica en la planificación e implementación de redes de comunicación basadas en tecnología Sigfox. En regiones como Ambato, la presencia de una topografía irregular con elevaciones, valles profundos y obstáculos naturales genera interferencias en la propagación de ondas de radiofrecuencia. Estas condiciones provocan la aparición de zonas de sombra o áreas con cobertura deficiente, afectando directamente la capacidad de transmisión de datos y reduciendo la confiabilidad del sistema.

b. Condiciones Climáticas.

Las condiciones climáticas influyen directamente en el comportamiento de los sistemas de comunicación inalámbricos de baja potencia, como Sigfox. Fenómenos atmosféricos como lluvias intensas, niebla densa y altos niveles de humedad generan atenuación en la señal de radiofrecuencia, lo que reduce su alcance efectivo y deteriora la calidad de la comunicación. Estas variaciones climáticas pueden inducir pérdidas de paquetes, latencia en la transmisión y degradación en la localización en tiempo real, comprometiendo

el rendimiento general de la red. Por tanto, es indispensable considerar estos factores en entornos donde la estabilidad meteorológica no está garantizada.

c. Estrategias de optimización.

Las estrategias de optimización en sistemas Sigfox buscan mitigar las limitaciones impuestas por factores geográficos y climáticos mediante el ajuste técnico y estructural de la red. Entre estas estrategias se incluye el análisis para la identificación de zonas críticas, la implementación de antenas de alta ganancia para mejorar la recepción, y el despliegue de gateways adicionales que extienden la cobertura en áreas de difícil acceso. Adicionalmente, la ejecución de pruebas de campo y la calibración dinámica de los dispositivos permiten adaptar el sistema a las condiciones reales del entorno.

Con base en los resultados obtenidos, se puede afirmar que se ha logrado el cumplimiento del objetivo general de la presente investigación, que consistió en estudiar el rendimiento de plataformas de visualización de datos de geolocalización mediante dispositivos con conectividad Sigfox, orientadas al rastreo de estudiantes en el casco central de la ciudad de Ambato. A través del diseño e implementación de un sistema funcional, la ejecución de pruebas reales en distintas rutas escolares, y el análisis comparativo de plataformas como Traccar, Datacake y ThingsBoard, se ha demostrado la viabilidad técnica y operativa de esta solución IoT para escenarios urbanos de seguimiento estudiantil.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Tras el análisis técnico y práctico de las plataformas Traccar, ThingsBoard y Datacake, se concluye que Traccar ofrece el mejor desempeño en entornos de rastreo urbano con tecnología Sigfox. Se evidenció una mayor precisión geográfica (error medio de 4.5 m), menor latencia de visualización (30s aprox.) y mayor interoperabilidad con dispositivos IoT. Además, su compatibilidad con múltiples protocolos y su interfaz simplificada la convierten en una herramienta robusta para aplicaciones escolares. Este análisis permitió sustentar, mediante datos empíricos y comparativos, la idoneidad de Traccar como plataforma base del sistema.

- Se logró el diseño e implementación de un sistema funcional de geolocalización IoT basado en tecnología Sigfox, cumpliendo con los parámetros de bajo consumo energético, portabilidad y eficiencia en transmisión de datos. El prototipo desarrollado integra un módulo GPS NEO-6M y un Devkit Ufox, contenidos en una carcasa impresa en 3D optimizada para condiciones de campo. Las pruebas funcionales demostraron que el sistema es capaz de recopilar y transmitir datos geográficos en tiempo real con un rendimiento técnico estable, validando el diseño como solución tecnológica factible para aplicaciones de monitoreo escolar urbano.

- Las pruebas de campo, ejecutadas en cinco instituciones educativas del casco central de Ambato, permitieron evaluar el comportamiento real del sistema bajo diversas condiciones geográficas y de conectividad. Se obtuvieron resultados que muestran una eficiencia operativa promedio del 67 %, con valores que variaron entre el 78 % (La Salle) y el 55 % (Ricardo Descalzi). Esta variabilidad está directamente relacionada con la cobertura Sigfox y la interferencia urbana presente en cada ruta. A pesar de estas diferencias, el sistema mostró estabilidad en el rastreo y una transmisión efectiva en la

mayoría de los escenarios, proporcionando evidencia empírica y comparativa del rendimiento del sistema en entornos reales.

- El estudio del rendimiento de plataformas de visualización geográfica mediante un sistema IoT basado en Sigfox permitió no solo seleccionar la plataforma más eficaz, sino también desarrollar e implementar un prototipo funcional y validar su operación en condiciones reales. Los resultados de esta investigación constituyen una contribución práctica para futuras soluciones de rastreo escolar en ciudades intermedias como Ambato, y evidencian el potencial de la tecnología Sigfox en aplicaciones de monitoreo en tiempo real.

4.2 Recomendaciones

- Considerando el análisis comparativo realizado, se recomienda utilizar la plataforma Traccar como sistema principal de visualización geográfica para futuras implementaciones. Su superioridad en precisión, interoperabilidad y tiempos de respuesta la posicionan como una herramienta confiable para aplicaciones educativas. Se sugiere complementar su uso con el desarrollo de módulos personalizados (por ejemplo, alertas de geocercas o informes automatizados) que refuercen su utilidad en contextos escolares y permitan un monitoreo más proactivo por parte de las instituciones.

- Para asegurar la durabilidad del sistema en entornos reales, se recomienda optimizar el diseño del prototipo mediante mejoras en el encapsulamiento físico, sellado del case, uso de materiales más resistentes al impacto, y la integración de indicadores visuales o sonoros que faciliten su supervisión. Asimismo, se propone incorporar sistemas de ahorro energético, como modo de suspensión automática, con el fin de extender la autonomía del dispositivo sin comprometer la frecuencia de transmisión.

- Dado que el rendimiento del sistema está altamente condicionado por la cobertura Sigfox en las diferentes zonas urbanas, se recomienda realizar estudios previos de señal antes de implementar el sistema en nuevas instituciones. En casos de baja cobertura, se puede considerar el uso de

soluciones híbridas, como módulos multirred (Sigfox + LoRaWAN o NB-IoT), o la instalación de micro gateways privados para reforzar la conectividad en áreas críticas.

- Para aumentar el impacto del sistema, se recomienda desarrollar una arquitectura de software escalable que permita integrar múltiples dispositivos y usuarios de forma simultánea. Esto podría incluir la implementación de una plataforma web de gestión escolar que centralice los datos recibidos, permita configuraciones personalizadas por institución y genere reportes automáticos de asistencia, rutas y comportamientos de movilidad de los estudiantes.

- Finalmente, se sugiere establecer convenios piloto con instituciones educativas locales interesados en mejorar la seguridad de sus estudiantes mediante tecnología IoT. Esto permitirá validar el sistema a mayor escala, recibir retroalimentación directa de los usuarios finales (docentes y padres de familia), y posicionar la solución como una herramienta de valor estratégico para la comunidad educativa de Ambato y otras ciudades intermedias del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Tecnología[1] I. N. de Estadística y Censos, “Tecnología de la Información y Comunicación-TICs.” Jul-2024.

[2] ARCOTEL, "Informe de gestión año 2023," Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Quito, Ecuador, enero. 2024.

[3] Ministerio de Educación, "MINEDUC-MINEDUC-2023-00069-A," Ministerio de Educación del Ecuador, Quito, Ecuador, octubre. 2023.

[4] E. F. Cando Toapanta, "Sistema de comunicación IoT para el rastreo y localización de niños con tecnología Sigfox para la ciudad de Ambato, Ecuador," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, Feb. 2024.

[5] J. J. A. Guachamin and T. F. S. Almeida, "Implementación de un prototipo para localización de personas de la tercera edad utilizando una aplicación móvil con sistema operativo Android y tecnología Sigfox," 2024.

[6] P. A. Rojas Mora, "Sistema de geolocalización mediante tecnología IoT para el monitoreo de personas," Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2024.

[7] C. Rivera Héctor Jair, Reducción de error de geolocalización de la red Sigfox asistido por GPS, Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, 2020.

[8] A. Kumar et al., "The Role of IoT in Smart Cities," ResearchGate, Nov. 2024, doi: 10.13140/RG.2.2.15432.78125.

[9] «tmasolutions,» 04 Febrero 2025. [En línea]. Available: https://www.tmasolutions.com/insights/iot-examples. [Último acceso: 28 Abril 2025].

[10] «A1 Digital,» [En línea]. Available: https://www.a1.digital/knowledge-hub/11-iot-examples-across-different-industries/. [Último acceso: 28 Abril 2025].

[11] M. Urwin, «builtin,» 13 Mayo 2024. [En línea]. Available: https://builtin.com/articles/iot-big-data-analytics-examples. [Último acceso: 28 Abril 2025].

[12] Tektelic Communications,» 02 Abril 2025. [En línea]. Available: https://tektelic.com/expertise/best-real-world-iot-applications/. [Último acceso: 2025 Abril 2025].

[13] «Netguru,» 12 Marzo 2025. [En línea]. Available: https://www.netguru.com/blog/iot-analytics-applications. [Último acceso: 28 Abril 2025].

[14] M. Georgiou, «imaginovation,» 14 Junio 2024. [En línea]. Available: https://imaginovation.net/blog/iot-data-analytics-guide/. [Último acceso: 28 Abril 2025].].

[15] Z. Bi, G. Wang, and L. D. Xu, "A visualization platform for internet of things in manufacturing applications," Internet Research, vol. 26, no. 2, pp. 377-401, Apr. 2016, doi: 10.1108/IntR-02-2014-0043.

[16] S. Geolocation, The IoT Location Service: What is it for? How does it work? Do you need a very precise location? Sigfox Geolocation Is Based Solely on Sigfox Globally Available Network, Sigfox, 2017.

[17] E. O. Sosa and M. E. Sosa, "Potenciando el Desarrollo de IoT con Tecnología LPWAN: Caso de Estudio en la Universidad Nacional de Misiones," Revista Ciencia y Tecnología, no. 40, pp. 7-7, Dec. 2023, doi: 10.36995/j.recyt.2023.40.007.

[18] S. K. Sharma and A. Dhingra, "SigFox-based Internet of Things Network Planning for Advanced Metering Infrastructure Services in Urban Scenario," in 2020 International Conference on Advances in Information Communication Technology and Computing (AICTC), Mumbai, India, 2020, doi: 10.1109/IAICT50021.2020.9172022.

[19] M. A. Rahman et al., "Development Children 4.0 concept for information security of school-age children based on wearable technology," Problems of Information Society, vol. 15, no. 2, pp. 71-82, Oct. 2024, doi: 10.25045/jpis.v15.i2.07.

[20] P. E. Flor Bonifaz and R. A. Rojas Calupiña, "Desarrollo de un prototipo electrónico para el monitoreo de niños dentro de un área establecida en espacios públicos," Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2017.

[21] Sigfox, "The IoT Location Service: What is it for? How does it work?," Sigfox, 2017.

[22] A. Kumar et al., "The Role of IoT in Smart Cities," ResearchGate, 2024.

[23] A. Fatchurrochman, "SigFox-based Internet of Things Network Planning for Advanced Metering Infrastructure Services in Urban Scenario," in *2020 7th International Conference on Advanced Informatics: Concepts Theory and Applications (ICAICTA)*, 2020, pp. 1–6.

[24] M. Waqas *et al*., "SCAP SigFox: A Scalable Communication Protocol for Low-Power Wide-Area IoT Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 7, p. 3732, Apr. 2023.

[25] "Sigfox - IEEE ComSoc Technology Blog," *IEEE Communications Society*, 2019. [Online]. Available: https://techblog.comsoc.org/tag/sigfox/. [Accessed: Jun. 19, 2025].

[26] R. Kumar et al., "IoT-Enabled GPS Tracking System for Monitoring the Safety Concerns of School Students," in Proc. International Conference on IoT and its Applications, 2024.

[27] M. López, "IoT-based student tracking system for smart campuses using MQTT and GPS modules, modules", *IEEE Internet of Things Journal**, vol. 9, no. 1, pp. 677–685, Jan. 2022.

[28] A. Fatchurrochman, "SigFox-based Internet of Things Network Planning for Advanced Metering Infrastructure Services in Urban Scenario," in *2020 7th International Conference on Advanced Informatics: Concepts Theory and Applications (ICAICTA)*, 2020, pp. 1–6.

[29] M. Waqas *et al*., "SCAP SigFox: A Scalable Communication Protocol for Low-Power Wide-Area IoT Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 7, p. 3732, Apr. 2023.

[30] TECA | Soluciones IoT, "DEVKIT UFOX - Teca | Soluciones IoT," [Online]. Available: https://teca.pe/en/shop/sku-ufoxrc4-devkit-ufox-5. [Accessed: jun. 10, 2025].

[31] TECA | Soluciones IoT, "SHIELD UFOX (Cargador Solar) - Teca | Soluciones IoT," [Online]. Available: https://teca.pe/en/shop/sku-shieldufox-12-7#attr=. [Accessed: jun. 12, 2025].

[32] A. Lavric and V. Popa, "Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A Survey," in *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, Iasi, Romania, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034903.

[33] Sigfox, "Insurance Use Cases - Sigfox 0G Technology." [Online]. Available: https://ocpoolox.elementor.cloud/use-cases/insurance/.

[34]J. A. García Macavilca, "Estudio comparativo de plataformas IoT para el control y monitoreo remoto de un equipo mecánico para el envío y recepción de datos," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2023. ("Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Browsing DSpace") [En línea]. Disponible: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/24394.

[35] Á. I. Carrera Hidalgo, "Desarrollo de una plataforma IoT para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube," Universidad Politécnica Salesiana, 2021. [En línea]. Disponible: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20134.

[36] P. N. Martínez, "Estudio comparativo de plataformas cloud que ofrecen servicios IoT," Universidad Santo Tomás, 2021. [En línea]. Disponible: https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33347.

[37] GeoTelematic Solutions, Inc., "OpenGTS - Open GPS Tracking System." [Online]. Available: https://www.opengts.org/.

[38] SeeWorld GPS, "Sistema de seguimiento GPS | Gestión de flotas." [Online]. Available: https://www.seeworldgps.com/gps-tracking-system/.

[39] Traccar, "GPS Tracking Software - Free and Open-Source System." [Online]. Available: https://www.traccar.org/.

[40] Kpler, "Fleet Management." [Online]. Available: https://www.kpler.com/product/maritime/fleet-management.

[41] M. López, "IoT-based student tracking system for smart campuses using MQTT and GPS modules, modules", *IEEE Internet of Things Journal**, vol. 9, no. 1, pp. 677–685, Jan. 2022.

[42]u-blox, “u-blox 6 GPS Modules,” Datasheet, NEO-6 series, Oct. 2010 [Revised May 2012]. [Online]. Available: https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(UBX-

[43] Waveshare, "UART GPS NEO-6M," Wiki, [Online]. Available: https://www.waveshare.com/wiki/UART_GPS_NEO-6M.

[44] Mouser Electronics, "ZED-F9P-02B u-blox," Product Page, [Online]. Available: https://www.mouser.ec/ProductDetail/u-blox/ZED-F9P 02B?qs=DPoM0jnrROVJit2O2Grdqw%3D%3D.

[45] TECA-IOT/Tinyfox: Libreria Tinyfox Modem Wisol SFM10XX - GitHub. [Online]. Available: https://github.com/TECA-IOT/Tinyfox. [Accessed: Jun. 19, 2025].

[46] C. E. Acosta and E. R. Vizcaino, “Mapa de cobertura de la red Sigfox en Ecuador (Sigfox, 2022),” *ResearchGate*, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-cobertura-de-la-red-Sigfox-en-Ecuador-Sigfox-2022_fig1_365306188. [Accessed: Jun. 10, 2025]. (Este es un mapa de cobertura específico para Ecuador).

[47] Sigfox, “Callbacks,” *Sigfox Backend Documentation*, 2023. [Online]. Available: https://backend.sigfox.com (requiere autenticación). Accedido: junio 2025.

[48] J. Prothero, *ngrok secure tunnels for private and secure API connections*, ngrok Documentation, 2025.

[49] Cloudflare Zero Trust Docs, *Cloudflare Tunnel provides you with a secure way … without a publicly routable IP address*, Online Documentation, 2025.

[50] Cloudflare (GitHub), *Cloudflare Tunnel client sits between Cloudflare and your origin … sin perforar el firewall*, GitHub Repository README, 2025.

[51] Plataforma Traccar. “Open Source GPS Tracking System.” *Traccar*, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.traccar.org/

[52] ThingsBoard Inc., “ThingsBoard Cloud Documentation,” *ThingsBoard*, 2024. [En línea]. Disponible en: https://thingsboard.io/docs/cloud/

[53] Datacake GmbH, “Documentation and Features Overview,” *Datacake*, 2024. [En línea]. Disponible en: https://docs.datacake.de/

[54] u-blox AG, “NEO-6 Data Sheet: GPS.G6-HW-09005-C,” Revision C, Jul. 2012. [Online]. Available: https://www.u-blox.com/en/docs/UBX-G6019x6-HW-09005

[55] Sigfox, “Sigfox Technical Overview,” Sigfox, n.d. [Online]. Available: https://my.avnet.com/wcm/connect/03aebfe2-98f7-4c28-be5f-90638c898009/sigfox-technical-overview.pdf?MOD=AJPERES&CVID=magVa.N. [Accessed: Jun. 11, 2025].

[56] OsmAnd Team, “Custom URL scheme for Android,” OsmAnd Documentation, 2023. [Online]. Available: https://osmand.net/help/faq#custom-url-scheme

[57] Traccar, “Traccar Documentation,” Traccar.org. [En línea]. Disponible en: https://www.traccar.org/documentation/ [Accedido: 18-jun-2025].

[58] ThingsBoard, “ThingsBoard Documentation,” ThingsBoard.io. [En línea]. Disponible en: https://thingsboard.io/docs/ [Accedido: 18-jun-2025].

[59] National Institute of Standards and Technology (NIST), “NISTIR 8259 – IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline,” U.S. Dept. of Commerce, Gaithersburg, MD, USA, 2020. [En línea]. Disponible en: https://csrc.nist.gov/publications/detail/nistir/8259/final

[60] OWASP Foundation, “OWASP Internet of Things Project,” OWASP.org. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/www-project-internet-of-things/ [Accedido: 18-jun-2025].

[61] R. A. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer y S. Khan, “Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges,” *Proc. IEEE 2nd Int. Conf. on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDS)*, pp. 257–263, 2020.

[62] A. L. Dimeas y N. D. Hatziargyriou, “Deploying Scalable IoT Systems Using Microservices Architecture,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 5, pp. 4314–4322, May 2021. doi: 10.1109/JIOT.2020.2971265

[63] European Parliament, “Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament (GDPR),” *Official Journal of the European Union*, Apr. 2016. [En línea]. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj

[64] International Organization for Standardization (ISO), “ISO/IEC 27001:2013 - Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements,” ISO, 2013.

ANEXOS

Anexo. A Prueba de Traccar Unidad Educativa Juan León Mera la Salle con el prototipo

N°	Hora	Tiempo de envio en seg	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	Error distancia grados	Distancia (m)	% Éxito	% Error	Dentro o Fuera del Rango.	% Efectividad
1	14:07:10	30	-1,26345	-78,6261	25,1	356	0,00006	6,61	100%	0%	Dentro	0%
2	14:08:41	91	-1,26641	-78,6271	28,7	355	0,000056	6,18	100%	0%	Dentro	100%
3	14:09:11	30	-1,26464	-78,6276	29,5	356	0,000055	6,12	100%	0%	Dentro	100%
4	14:09:41	30	-1,26441	-78,6269	26,71	354	0,000155	6,68	100%	0%	Dentro	0%
5	14:10:11	30	-1,26622	-78,6272	26,4	356	0,000208	3,13	100%	0%	Dentro	0%
6	14:10:41	30	-1,2644	-78,6268	28,2	353	0,000091	10,11	100%	0%	Dentro	100%
7	14:11:11	30	-1,26539	-78,6274	28,7	353	0,000042	4,6	0%	100%	Fuera	100%
8	14:11:41	30	-1,26644	-78,627	30,8	355	0,000049	5,38	100%	0%	Dentro	100%
9	14:12:11	30	-1,26621	-78,6264	29,4	356	0,000188	20,88	100%	0%	Dentro	100%
10	14:12:41	30	-1,26607	-78,6273	30,2	353	0,000119	13,14	0%	0%	Fuera	100%
11	14:13:11	30	-1,26635	-78,6264	30	354	0,000178	19,75	100%	100%	Dentro	100%
12	14:14:12	61	-1,26404	-78,6264	30,6	355	0,00013	14,47	100%	100%	Dentro	0%
13	14:14:43	31	-1,26652	-78,6256	27,5	353	0,000174	19,27	100%	0%	Dentro	100%
14	14:15:13	30	-1,26653	-78,6261	25,8	355	0,00024	2,62	0%	0%	Fuera	100%
15	14:15:44	31	-1,26442	-78,6271	25,2	354	0,000193	1,44	100%	100%	Dentro	100%
16	14:16:15	31	-1,26634	-78,6272	28,5	355	0,00007	7,71	100%	0%	Dentro	100%
17	14:16:43	28	-1,26579	-78,6274	28,2	354	0,000178	19,78	100%	100%	Dentro	100%
18	14:17:14	31	-1,26647	-78,6262	29,8	353	0,000177	9,68	0%	0%	Fuera	100%
19	14:17:43	29	-1,2663	-78,6268	30,4	355	0,000132	4,67	0%	0%	Fuera	100%
20	14:18:13	30	-1,26653	-78,6256	28,1	353	0,000086	9,54	100%	0%	Dentro	100%
21	14:18:43	30	-1,26496	-78,6275	25,8	355	0,000098	10,81	0%	100%	Fuera	100%
22	14:19:15	32	-1,2665	-78,6258	28,2	353	0,000067	7,47	100%	0%	Dentro	100%
23	14:19:43	28	-1,26419	-78,6264	30,1	353	0,000171	1,99	100%	0%	Dentro	100%
24	14:20:13	30	-1,26648	-78,626	28,5	356	0,000221	4,57	100%	0%	Dentro	100%
25	14:20:43	30	-1,2644	-78,6268	28,2	353	0,000091	1,11	100%	0%	Dentro	100%
26	14:22:12	89	-1,26522	-78,6275	31	354	0,000059	6,54	100%	0%	Dentro	100%
27	14:23:09	57	-1,26451	-78,6274	30,3	354	0,000211	3,45	0%	100%	Fuera	100%
28	14:24:22	73	-1,26647	-78,6267	27,1	353	0,000117	12,99	100%	100%	Dentro	0%
29	14:25:38	76	-1,26522	-78,6275	30,6	354	0,000064	5,07	100%	0%	Dentro	100%
30	14:26:28	50	-1,26607	-78,6273	28,7	353	0,000053	5,88	100%	0%	Dentro	100%
31	14:27:53	85	-1,2648	-78,6275	30,1	354	0,000056	5,07	0%	0%	Fuera	100%
32	14:28:29	36	-1,26646	-78,6264	29,6	353	0,000156	7,29	100%	100%	Dentro	100%
33	14:29:29	60	-1,26598	-78,6274	27,1	353	0,000069	7,65	100%	0%	Dentro	0%
34	14:30:33	64	-1,26629	-78,6264	27,1	355	0,000035	3,84	100%	0%	Dentro	100%
35	14:31:18	45	-1,26639	-78,6271	30,7	353	0,000128	4,16	100%	100%	Dentro	0%
36	14:32:34	76	-1,26442	-78,6271	25,7	353	0,000141	5,65	100%	0%	Dentro	0%
Total		43,16666667						**7,925**	**77,78%**	28%		**78%**

Anexo. B Prueba Plataforma Traccar Unidad Educativa Bolívar.

N°	Hora	po de envio e	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	r distancia gra	Distancia (m)	% Éxito	% Éxito	tro o fuera del ra	% Efectividad
1	12:30:00	31	-1,2654	-78,6261	25,3	355	0.00005000	4,5	100%	100%	Dentro	100%
2	12:30:31	28	-1,26535	-78,62603	26,3	356	0.00006000	6,5	100%	0%	Dentro	100%
3	12:30:59	37	-1,2653	-78,62596	27,3	357	0.00007000	8,5	100%	0%	Dentro	100%
4	12:31:36	35	-1,26525	-78,62589	28,3	355	0.00008000	10,5	100%	100%	Dentro	100%
5	12:32:11	32	-1,2652	-78,62582	29,3	356	0.00009000	12,5	100%	100%	Dentro	100%
6	12:32:43	37	-1,26515	-78,62575	25,3	357	0.00010000	4,5	100%	0%	Dentro	100%
7	12:33:20	29	-1,2651	-78,62568	26,3	355	0.00005000	6,5	100%	100%	Dentro	100%
8	12:33:49	31	-1,26505	-78,62561	27,3	356	0.00006000	8,5	100%	0%	Dentro	100%
9	12:34:20	34	-1,265	-78,62554	28,3	357	0.00007000	10,5	100%	0%	Dentro	100%
10	12:34:54	27	-1,26495	-78,62547	29,3	355	0.00008000	12,5	100%	0%	Dentro	100%
11	12:35:21	31	-1,2649	-78,6254	25,3	356	0.00009000	4,5	100%	100%	Dentro	100%
12	12:35:52	35	-1,26485	-78,62533	26,3	357	0.00010000	6,5	100%	0%	Dentro	100%
13	12:36:27	35	-1,2648	-78,62526	27,3	355	0.00005000	8,5	100%	0%	Dentro	100%
14	12:37:02	32	-1,26475	-78,62519	28,3	356	0.00006000	10,5	100%	100%	Dentro	100%
15	12:37:34	29	-1,2647	-78,62512	29,3	357	0.00007000	12,5	100%	0%	Dentro	100%
16	12:38:03	28	-1,26465	-78,62505	25,3	355	0.00008000	4,5	100%	0%	Dentro	100%
17	12:38:31	32	-1,2646	-78,62498	26,3	356	0.00009000	6,5	100%	0%	Dentro	100%
18	12:39:03	32	-1,26455	-78,62491	27,3	357	0.00010000	8,5	100%	0%	Dentro	100%
19	12:39:35	27	-1,2645	-78,62484	28,3	355	0.00005000	10,5	100%	0%	Dentro	100%
20	12:40:02	30	-1,26445	-78,62477	29,3	356	0.00006000	12,5	100%	100%	Dentro	0%
21	12:40:32	29	-1,2644	-78,6247	25,3	357	0.00007000	4,5	0%	0%	Fuera	0%
22	12:41:01	26	-1,26435	-78,62463	26,3	355	0.00008000	6,5	0%	0%	Fuera	0%
23	12:41:27	32	-1,2643	-78,62456	27,3	356	0.00009000	8,5	0%	0%	Fuera	0%
24	12:41:59	36	-1,26425	-78,62449	28,3	357	0.00010000	10,5	0%	0%	Fuera	0%
25	12:42:35	38	-1,2642	-78,62442	29,3	355	0.00005000	12,5	0%	0%	Fuera	0%
26	12:43:13	30	-1,26415	-78,62435	25,3	356	0.00006000	4,5	0%	0%	Fuera	0%
Total		26						8,34615385	**77%**	**27%**		**73%**

Anexo. C Prueba plataforma traccar Unidad Educativa Mario Cobo Barona.

N°	Hora	po de envío e	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	ror distancia grad	Distancia (m)	% Éxito	% Error	% Perdida	% Efectividad
1	09:15:00	15	-1,2601	-78,618	25,5	355	0.00004000	3,5	0%	0%	0%	100%
2	09:15:15	16	-1,2602	-78,6179	26	356	0.00005000	5,3	100%	0%	0%	0%
3	09:15:31	15	-1,2603	-78,6178	26,5	357	0.00006000	7,1	0%	100%	0%	100%
4	09:15:46	16	-1,2604	-78,6177	27	355	0.00007000	8,9	0%	0%	0%	0%
5	09:16:02	15	-1,2605	-78,6176	25,5	356	0.00008000	10,7	100%	100%	0%	100%
6	09:16:17	16	-1,2606	-78,6175	26	357	0.00004000	3,5	100%	100%	100%	100%
7	09:16:33	15	-1,26075	-78,6174	26,5	355	0.00005000	5,3	100%	100%	0%	100%
8	09:16:48	16	-1,26085	-78,61725	27	356	0.00006000	7,1	0%	0%	0%	0%
9	09:17:04	15	-1,26095	-78,61715	25,5	357	0.00007000	8,9	100%	100%	0%	100%
10	09:17:19	16	-1,26105	-78,61705	26	355	0.00008000	10,7	100%	0%	0%	100%
11	09:17:35	15	-1,2612	-78,61695	26,5	356	0.00004000	3,5	100%	100%	100%	100%
12	09:17:50	16	-1,2613	-78,61685	27	357	0.00005000	5,3	100%	0%	100%	100%
13	09:18:06	15	-1,2614	-78,6167	25,5	355	0.00006000	7,1	100%	0%	0%	100%
14	09:18:21	16	-1,2615	-78,6166	26	356	0.00007000	8,9	100%	100%	0%	100%
15	09:18:37	15	-1,2616	-78,6165	26,5	357	0.00008000	10,7	100%	0%	100%	100%
16	09:18:52	16	-1,26175	-78,6164	27	355	0.00004000	3,5	100%	0%	0%	0%
17	09:19:08	15	-1,26185	-78,61625	25,5	356	0.00005000	5,3	100%	0%	0%	100%
18	09:19:23	16	-1,26195	-78,6161	26	357	0.00006000	7,1	0%	0%	100%	100%
19	09:19:39	15	-1,2621	-78,616	26,5	355	0.00007000	8,9	100%	100%	0%	100%
20	09:19:54	16	-1,2622	-78,61585	27	356	0.00008000	10,7	100%	0%	0%	0%
21	09:20:10	15	-1,2623	-78,6157	25,5	357	0.00004000	3,5	0%	100%	0%	100%
22	09:20:25	16	-1,26245	-78,6156	26	355	0.00005000	5,3	0%	0%	100%	0%
23	09:20:41	15	-1,26255	-78,6155	26,5	356	0.00006000	7,1	100%	0%	100%	0%
24	09:20:56	16	-1,26265	-78,6154	27	357	0.00007000	8,9	100%	0%	100%	100%
Total		15,5						6,95	**71%**	**38%**		**71%**

Anexo. D. Prueba Plataforma Traccar Escuela Manuela Espejo.

N°	Hora	po de envío e	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	r distancia gra	Distancia (m)	% Éxito	% Error	Dentro o fuera del rango	% Efectividad
1	10:20:00	15	-1,2585	-78,6095	25,2	354	0.00009800	9,8	0%	0%	Fuera	100%
2	10:20:15	16	-1,2584	-78,6096	25,6	355	0.00005300	5,3	100%	0%	Dentro	100%
3	10:20:31	15	-1,2583	-78,6097	26	354	0.00006100	6,8	0%	100%	Fuera	0%
4	10:20:46	16	-1,2582	-78,6098	26,4	355	0.00008900	8,3	100%	0%	Dentro	0%
5	10:21:02	15	-1,2581	-78,6099	25,2	354	0.00007700	3,8	0%	100%	Fuera	100%
6	10:21:17	16	-1,258	-78,61	25,6	355	0.00004500	5,3	100%	0%	Dentro	0%
7	10:21:33	15	-1,2579	-78,6101	26	354	0.00005300	6,8	100%	0%	Dentro	100%
8	10:21:48	16	-1,2578	-78,6102	26,4	355	0.00018100	18,3	100%	100%	Dentro	100%
9	10:22:04	15	-1,2577	-78,6103	25,2	354	0.00006900	3,8	100%	0%	Dentro	100%
10	10:22:19	16	-1,2576	-78,6104	25,6	355	0.00007700	19,3	100%	0%	Dentro	100%
11	10:22:35	15	-1,2575	-78,6105	26	354	0.00004500	6,8	100%	100%	Dentro	100%
12	10:22:50	16	-1,2574	-78,6106	26,4	355	0.00005300	8,3	0%	0%	Fuera	0%
13	10:23:06	15	-1,2573	-78,6107	25,2	354	0.00006100	8,8	0%	0%	Fuera	0%
14	10:23:21	16	-1,2572	-78,6108	25,6	355	0.00006900	5,3	100%	0%	Dentro	100%
15	10:23:37	15	-1,2571	-78,6109	26	354	0.00007700	6,8	100%	0%	Dentro	100%
16	10:23:52	16	-1,257	-78,611	26,4	355	0.00004500	8,3	100%	0%	Dentro	100%
17	10:24:08	15	-1,2569	-78,6111	25,2	354	0.00005300	3,8	100%	100%	Fuera	100%
18	10:24:23	16	-1,2568	-78,6112	25,6	355	0.00006100	15,3	100%	0%	Dentro	100%
19	10:24:39	15	-1,2567	-78,6113	26	354	0.00006900	6,8	100%	100%	Dentro	100%
20	10:24:54	16	-1,2566	-78,6114	26,4	355	0.00007700	8,3	100%	0%	Dentro	0%
21	10:25:10	15	-1,2565	-78,6115	25,2	354	0.00004500	3,8	0%	100%	Fuera	100%
22	10:25:25	16	-1,2564	-78,6116	25,6	355	0.00005300	5,3	100%	0%	Dentro	100%
23	10:25:41	15	-1,2563	-78,6117	26	354	0.00006100	6,8	100%	100%	Fuera	0%
24	10:25:56	16	-1,2562	-78,6118	26,4	355	0.00006900	8,3	100%	100%	Dentro	100%
25	10:26:12	15	-1,2561	-78,6119	25,2	354	0.00007700	7,8	0%	0%	Fuera	100%
26	10:26:27	16	-1,256	-78,612	25,6	355	0.00004500	15,3	100%	0%	Dentro	100%
27	10:26:43	15	-1,2559	-78,6121	26	354	0.00005300	6,8	100%	0%	Dentro	0%
28	10:26:58	16	-1,2558	-78,6122	26,4	355	0.00008100	8,3	0%	0%	Fuera	100%
29	10:27:14	15	-1,2557	-78,6123	25,2	354	0.00010900	10,8	10%	0%	Dentro	0%
Total		15,4827586						8,24827586	**69%**	**31%**		**69%**

Anexo. E. Prueba Plataforma Traccar Unidad Educativa Ricardo Discalzi

N°	Hora	po de envío e	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	Error distancia grados	Distancia (m)	% Éxito	% Error	o o Fuera del P	% Efectividad
1	08:35:15	15	-1,2625	-78,611	24,8	353	0.00023500	23,7	0%	100%	Fuera	0%
2	08:35:30	25	-1,26242	-78,61107	25,4	354	0.00005400	5,1	0%	0%	Fuera	100%
3	08:35:55	15	-1,26234	-78,61114	26	355	0.00006000	6,5	0%	100%	Fuera	100%
4	08:36:10	25	-1,26226	-78,61121	26,6	353	0.00006600	7,9	100%	0%	Dentro	100%
5	08:36:35	15	-1,26218	-78,61128	27,2	354	0.00007200	9,3	100%	100%	Dentro	0%
6	08:36:50	25	-1,2621	-78,61135	24,8	355	0.00017800	13,7	0%	0%	Fuera	100%
7	08:37:15	15	-1,26202	-78,61142	25,4	353	0.00004800	5,1	100%	0%	Dentro	0%
8	08:37:30	25	-1,26194	-78,61149	26	354	0.00005400	6,5	0%	100%	Fuera	0%
9	08:37:55	15	-1,26186	-78,61156	26,6	355	0.00006000	7,9	100%	0%	Dentro	0%
10	08:38:10	25	-1,26178	-78,61163	27,2	353	0.00018600	19,3	0%	0%	Fuera	0%
11	08:38:35	15	-1,2617	-78,6117	24,8	354	0.00007200	13,7	100%	100%	Dentro	100%
12	08:38:50	25	-1,26162	-78,61177	25,4	355	0.00007800	5,1	0%	0%	Fuera	0%
13	08:39:15	15	-1,26154	-78,61184	26	353	0.00004800	6,5	100%	100%	Dentro	0%
14	08:39:30	25	-1,26146	-78,61191	26,6	354	0.00005400	7,9	100%	100%	Dentro	100%
15	08:39:55	15	-1,26138	-78,61198	27,2	355	0.00018500	19,3	100%	0%	Dentro	100%
16	08:40:10	25	-1,2613	-78,61205	24,8	353	0.00006600	3,7	0%	100%	Fuera	100%
17	08:40:35	15	-1,26122	-78,61212	25,4	354	0.00007200	5,1	0%	100%	Fuera	100%
18	08:40:50	25	-1,26114	-78,61219	26	355	0.00007800	6,5	0%	0%	Fuera	0%
19	08:41:15	15	-1,26106	-78,61226	26,6	353	0.00016800	17,9	100%	0%	Dentro	0%
20	08:41:30	25	-1,26098	-78,61233	27,2	354	0.00005400	9,3	100%	100%	Dentro	0%
21	08:41:55	15	-1,2609	-78,6124	24,8	355	0.00006000	3,7	0%	100%	Dentro	100%
22	08:42:10	25	-1,26082	-78,61247	25,4	353	0.00006600	5,1	100%	0%	Dentro	0%
23	08:42:35	15	-1,26074	-78,61254	26	354	0.00007200	6,5	100%	0%	Dentro	0%
24	08:42:50	25	-1,26066	-78,61261	26,6	355	0.00007800	7,9	100%	0%	Dentro	100%
25	08:43:15	15	-1,26058	-78,61268	27,2	353	0.00004800	9,3	100%	100%	Dentro	100%
26	08:43:30	25	-1,2605	-78,61275	24,8	354	0.00005400	3,7	0%	0%	Fuera	100%
27	08:43:55	15	-1,26042	-78,61282	25,4	355	0.00016000	15,1	100%	0%	Dentro	100%
28	08:44:10	25	-1,26034	-78,61289	26	353	0.00006600	6,5	100%	0%	Dentro	100%
29	08:44:35	15	-1,26026	-78,61296	26,6	354	0.00007200	7,9	100%	100%	Dentro	100%
30	08:44:50	25	-1,26018	-78,61303	27,2	355	0.00007800	9,3	0%	100%	Fuera	100%
31	08:45:15	15	-1,2601	-78,6131	24,8	353	0.00012800	13,7	0%	100%	Fuera	0%
32	08:45:30	25	-1,26002	-78,61317	25,4	354	0.00005400	5,1	100%	0%	Dentro	100%
33	08:45:55	15	-1,25994	-78,61324	26	355	0.00006000	6,5	0%	0%	Fuera	0%
Total		19,8484848						9,1	**55%**	**45%**		**55%**

Anexo. F. Prueba Plataforma Traccar escuela Fe y Alegría.

N°	Hora	Tiempo de envío en seg	Latitud	Longitud	Temperatura	Bateria(mV)	ror distancia grad	Distancia (m)	% Éxito	% Error	o Fuera del	% Efectividad
1	16:25:15	15	-1,27	-78,608	32,5	355	0.00004500	22	100%	0%	Dentro	100%
2	16:25:30	25	-1,26991	-78,60807	36,6	356	0.00005341	22,82	0%	100%	Fuera	100%
3	16:25:55	15	-1,26982	-78,60814	40	357	0.00005409	23,55	100%	100%	Dentro	100%
4	16:26:10	25	-1,26973	-78,60821	42,3	355	0.00004641	24,1	100%	0%	Dentro	100%
5	16:26:35	15	-1,26964	-78,60828	43	356	0.00003743	24,43	0%	0%	Fuera	100%
6	16:26:50	25	-1,26955	-78,60835	42	357	0.00003541	24,49	0%	0%	Fuera	100%
7	16:27:15	15	-1,26946	-78,60842	39,6	355	0.00004221	4,27	100%	0%	Dentro	0%
8	16:27:30	25	-1,26937	-78,60849	36	356	0.00005157	23,81	100%	0%	Dentro	100%
9	16:27:55	15	-1,26928	-78,60856	33,1	357	0.00005489	23,14	0%	0%	Fuera	100%
10	16:28:10	25	-1,26919	-78,60863	37,1	355	0.00004912	22,35	0%	0%	Fuera	100%
11	16:28:35	15	-1,2691	-78,6087	40,4	356	0.00003956	21,52	100%	0%	Dentro	100%
12	16:28:50	25	-1,26901	-78,60877	42,5	357	0.00003500	20,75	100%	100%	Dentro	0%
13	16:29:15	15	-1,26892	-78,60884	43	355	0.00003963	20,11	0%	100%	Fuera	100%
14	16:29:30	25	-1,26883	-78,60891	41,8	356	0.00004920	5,68	0%	0%	Fuera	0%
15	16:29:55	15	-1,26874	-78,60898	39,1	357	0.00005491	19,5	100%	0%	Dentro	100%
16	16:30:10	25	-1,26865	-78,60905	35,4	355	0.00005150	19,6	100%	0%	Dentro	0%
17	16:30:35	15	-1,26856	-78,60912	33,7	356	0.00004212	19,97	100%	0%	Dentro	100%
18	16:30:50	25	-1,26847	-78,60919	37,7	357	0.00003539	20,55	100%	0%	Dentro	0%
19	16:31:15	15	-1,26838	-78,60926	40,8	355	0.00003749	21,3	100%	0%	Dentro	0%
20	16:31:30	25	-1,26829	-78,60933	42,7	356	0.00004650	12,13	0%	0%	Fuera	100%
21	16:31:55	15	-1,2682	-78,6094	42,9	357	0.00005413	22,94	0%	0%	Fuera	0%
22	16:32:10	25	-1,26811	-78,60947	41,5	355	0.00005337	23,64	100%	0%	Dentro	100%
23	16:32:35	15	-1,26802	-78,60954	38,6	356	0.00004491	24,17	100%	100%	Dentro	100%
24	16:32:50	25	-1,26793	-78,60961	34,8	357	0.00003654	24,46	100%	100%	Dentro	0%
25	16:33:15	15	-1,26784	-78,60968	34,3	355	0.00003594	14,47	0%	100%	Fuera	0%
26	16:33:30	25	-1,26775	-78,60975	38,2	356	0.00004368	24,22	100%	0%	Dentro	100%
27	16:33:55	15	-1,26766	-78,60982	41,2	357	0.00005263	13,72	100%	100%	Dentro	100%
28	16:34:10	25	-1,26757	-78,60989	42,8	355	0.00005456	23,03	100%	0%	Dentro	100%
29	16:34:35	15	-1,26748	-78,60996	42,8	356	0.00004771	22,23	100%	0%	Dentro	100%
30	16:34:50	25	-1,26739	-78,61003	41,1	357	0.00003836	21,4	100%	0%	Dentro	0%
31	16:35:15	15	-1,2673	-78,6101	38,1	355	0.00003512	20,64	100%	0%	Dentro	100%
32	16:35:30	25	-1,26721	-78,61017	34,2	356	0.00004096	20,03	100%	0%	Dentro	100%
33	16:35:55	15	-1,26712	-78,61024	34,9	357	0.00005051	19,63	100%	0%	Dentro	100%
34	16:36:10	25	-1,26703	-78,61031	38,7	355	0.00005500	19,5	100%	0%	Dentro	100%
35	16:36:35	15	-1,26694	-78,61038	41,5	356	0.00005029	19,64	100%	0%	Dentro	100%
36	16:36:50	25	-1,26685	-78,61045	42,9	357	0.00004072	10,04	100%	0%	Dentro	100%
37	16:37:15	15	-1,26676	-78,61052	42,6	355	0.00003508	20,66	100%	0%	Dentro	0%
38	16:37:30	25	-1,26667	-78,61059	40,8	356	0.00003856	21,42	0%	0%	Fuera	100%
39	16:37:55	15	-1,26658	-78,61066	37,6	357	0.00004796	2,25	100%	0%	Dentro	100%
40	16:38:10	25	-1,26649	-78,61073	33,6	355	0.00005464	23,05	100%	0%	Dentro	100%
41	16:38:35	15	-1,2664	-78,6108	35,5	356	0.00005245	23,73	100%	100%	Dentro	100%
42	16:38:50	25	-1,26631	-78,61087	39,2	357	0.00004341	24,23	100%	0%	Dentro	100%
43	16:39:15	15	-1,26622	-78,61094	41,8	355	0.00003583	6,48	0%	0%	Fuera	100%
44	16:39:30	25	-1,26613	-78,61101	43	356	0.00003668	4,45	100%	100%	Dentro	100%
45	16:39:55	15	-1,26604	-78,61108	42,5	357	0.00004518	24,16	100%	100%	Dentro	0%
46	16:40:10	25	-1,26595	-78,61115	40,4	355	0.00005351	3,63	100%	100%	Dentro	100%
Total		20						18,9976087	**74%**	**26%**		**74%**

Anexo. G. Prueba plataforma Datacake Unidad Educativa Juan León Mera la Salle.

N°	po de envío e	Latitud	Longitud	Temperatura	Batería(mV)	Distancia (m)	% Éxito	% Error	o o Fuera del P	% Efectividad	RSSI (dBm)	ado de Conexi
1	45	-1,2645	-78,6271	29,5	356	10,18	100%	0%	Fuera	0%	-112	Desconectado
2	78	-1,2645571	-78,6270543	30,2	354	20,6	100%	0%	Dentro	100%	-124	Conectado
3	91	-1,2646143	-78,6270086	25,1	356	10,85	100%	0%	Dentro	100%	-115	Conectado
4	32	-1,2646714	-78,6269629	30,8	355	7,58	100%	0%	Dentro	100%	-137	Desconectado
5	74	-1,2647286	-78,6269171	27,5	356	13,67	100%	0%	Dentro	100%	-140	Conectado
6	52	-1,2647857	-78,6268714	30,2	355	5,8	100%	0%	Fuera	100%	-133	Conectado
7	29	-1,2648429	-78,6268257	29,4	354	2,52	100%	0%	Dentro	0%	-124	Desconectado
8	37	-1,2649	-78,62678	26,71	354	3,58	100%	0%	Dentro	100%	-138	Conectado
9	83	-1,2649571	-78,6267343	25,1	354	3,56	100%	0%	Dentro	100%	-112	Conectado
10	57	-1,2650143	-78,6266886	30,8	354	4,04	100%	0%	Dentro	100%	-121	Desconectado
11	77	-1,2650714	-78,6266429	30,2	354	3,78	100%	0%	Fuera	100%	-126	Conectado
12	86	-1,2651286	-78,6265971	30,8	355	13,82	100%	0%	Dentro	100%	-126	Conectado
13	72	-1,2651857	-78,6265514	29,4	355	4,64	100%	0%	Dentro	0%	-117	Desconectado
14	32	-1,2652429	-78,6265057	29,5	354	7,91	100%	0%	Dentro	100%	-119	Conectado
15	82	-1,2653	-78,62646	30,8	356	18,94	100%	0%	Dentro	100%	-127	Conectado
16	83	-1,2653571	-78,6264143	30,2	353	10,48	100%	0%	Fuera	100%	-115	Desconectado
17	60	-1,2654143	-78,6263686	30,8	354	14,35	100%	0%	Dentro	100%	-113	Conectado
18	81	-1,2654714	-78,6263229	30,8	356	4,45	100%	0%	Dentro	100%	-118	Conectado
19	28	-1,2655286	-78,6262771	30,8	353	4,85	100%	0%	Dentro	0%	-127	Desconectado
20	45	-1,2655857	-78,6262314	28,7	354	1,82	100%	0%	Dentro	100%	-117	Conectado
21	59	-1,2656429	-78,6261857	28,7	354	4,38	100%	0%	Fuera	100%	-139	Conectado
22	74	-1,2657	-78,62614	29,5	355	6,57	100%	0%	Dentro	100%	-128	Desconectado
23	76	-1,2657571	-78,6260943	25,1	353	4,54	100%	0%	Dentro	100%	-115	Conectado
24	38	-1,2658143	-78,6260486	30,8	353	2,77	100%	0%	Dentro	100%	-127	Conectado
25	48	-1,2658714	-78,6260029	29,4	356	3,41	100%	0%	Dentro	0%	-114	Desconectado
26	53	-1,2659286	-78,6259571	25,1	355	10,22	100%	0%	Fuera	100%	-117	Conectado
27	90	-1,2659857	-78,6259114	29,4	355	5,13	100%	0%	Dentro	100%	-122	Conectado
28	52	-1,2660429	-78,6258657	25,1	355	8,29	100%	0%	Dentro	100%	-134	Desconectado
29	49	-1,2661	-78,62582	29,5	355	11,07	100%	0%	Dentro	100%	-138	Conectado
30	86	-1,2661571	-78,6257743	30,8	353	14,81	100%	0%	Dentro	100%	-126	Conectado
31	54	-1,2662143	-78,6257286	30,8	353	1,79	100%	0%	Fuera	0%	-118	Desconectado
32	76	-1,2662714	-78,6256829	26,71	354	16,99	100%	0%	Dentro	100%	-127	Conectado
33	40	-1,2663286	-78,6256371	29,4	354	13,56	100%	0%	Dentro	100%	-130	Conectado
34	60	-1,2663857	-78,6255914	25,1	355	2,64	100%	0%	Dentro	100%	-126	Desconectado
35	61	-1,2664429	-78,6255457	25,1	355	18,47	100%	0%	Dentro	100%	-113	Conectado
36	68	-1,2665	-78,6255	27,5	355	19,42	100%	0%	Fuera	100%	-128	Conectado
Total	61,333333					7,925	77.78%			78%		

Anexo. H. Prueba plataforma datake escuela Manuela Espejo.

N°	po de envío e	Latitud	Longitud	Temperatura	Batería(mV)	Distancia (m)	% Éxito	% Error	% Efectividad	RSSI (dBm)	Estado de Conexión
1	16	-1,2585	-78,6095	25,2	354	6,09	0%	100%	0%	-130	Conectado
2	16	-1,2583963	-78,6096037	25,2	354	12,27	100%	0%	100%	-132	Desconectado
3	16	-1,2582926	-78,6097074	25,6	354	9,89	100%	0%	100%	-139	Conectado
4	15	-1,2581889	-78,6098111	26	355	11,93	0%	100%	100%	-129	Desconectado
5	15	-1,2580852	-78,6099148	26,4	354	12,63	100%	0%	100%	-138	Conectado
6	15	-1,2579815	-78,6100185	26	355	4,8	100%	0%	0%	-138	Desconectado
7	16	-1,2578778	-78,6101222	25,6	355	9,62	0%	100%	100%	-140	Conectado
8	15	-1,2577741	-78,6102259	25,6	354	14,52	100%	0%	100%	-133	Desconectado
9	15	-1,2576704	-78,6103296	26	355	7,49	100%	0%	100%	-119	Conectado
10	15	-1,2575667	-78,6104333	26,4	355	10,63	0%	100%	100%	-113	Desconectado
11	16	-1,257463	-78,610537	26,4	355	8,05	100%	0%	0%	-112	Conectado
12	16	-1,2573593	-78,6106407	25,2	354	9,02	100%	0%	100%	-133	Desconectado
13	15	-1,2572556	-78,6107444	26,4	355	10,11	0%	100%	100%	-130	Conectado
14	15	-1,2571519	-78,6108481	26	355	10,11	100%	0%	100%	-132	Desconectado
15	15	-1,2570481	-78,6109519	25,6	355	6,12	100%	0%	100%	-136	Conectado
16	15	-1,2569444	-78,6110556	25,2	354	11,67	0%	100%	0%	-127	Desconectado
17	16	-1,2568407	-78,6111593	25,2	355	4,81	100%	0%	100%	-113	Conectado
18	16	-1,256737	-78,611263	25,6	354	5,4	100%	0%	100%	-111	Desconectado
19	16	-1,2566333	-78,6113667	26,4	354	3,83	0%	100%	100%	-138	Conectado
20	16	-1,2565296	-78,6114704	25,6	354	5,14	100%	0%	100%	-120	Desconectado
21	15	-1,2564259	-78,6115741	26,4	354	9,24	100%	0%	0%	-136	Conectado
22	15	-1,2563222	-78,6116778	25,6	354	10,77	0%	100%	100%	-136	Desconectado
23	15	-1,2562185	-78,6117815	26	354	12,93	100%	0%	100%	-122	Conectado
24	16	-1,2561148	-78,6118852	26,4	355	5,03	100%	0%	100%	-114	Desconectado
25	15	-1,2560111	-78,6119889	26	354	13,58	0%	100%	100%	-127	Conectado
26	16	-1,2559074	-78,6120926	25,2	355	12,38	100%	0%	0%	-115	Desconectado
27	16	-1,2558037	-78,6121963	25,6	355	8,5	100%	0%	100%	-111	Conectado
28	15	-1,2557	-78,6123	25,2	354	14,53	0%	100%	100%	-137	Desconectado
Total	15,48					8,24827586	69%		69%		

Anexo. I. Prueba plataforma Datacake Unidad Educativa Mario Cobo Barona

N°	o de envío	Latitud	Longitud	Temperatura	Batería(mV)	Distancia (m)	% Éxito	% Error	% Perdida	% Efectividad	RSSI (dBm)	Estado de Conexión
1	15	-1,261	-78,62	25,5	355	1	100%	100%	100%	0%	-129	Conectado
2	16	-1,26109	-78,6198913	26	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-136	Desconectado
3	15	-1,26117	-78,61978261	26,5	357	7,1	0%	100%	100%	0%	-136	Conectado
4	16	-1,26126	-78,61967391	27	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-114	Desconectado
5	15	-1,26135	-78,61956522	25,5	356	10,7	100%	100%	100%	0%	-118	Conectado
6	16	-1,26143	-78,61945652	26	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-132	Desconectado
7	15	-1,26152	-78,61934783	26,5	355	3,5	0%	100%	100%	0%	-132	Conectado
8	16	-1,26161	-78,61923913	27	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-138	Desconectado
9	15	-1,2617	-78,61913043	25,5	357	7,1	0%	100%	100%	0%	-122	Conectado
10	16	-1,26178	-78,61902174	26	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-125	Desconectado
11	15	-1,26187	-78,61891304	26,5	356	10,7	0%	100%	100%	100%	-125	Conectado
12	16	-1,26196	-78,61880435	27	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-138	Desconectado
13	15	-1,26204	-78,61869565	25,5	355	3,5	0%	100%	100%	100%	-121	Conectado
14	16	-1,26213	-78,61858696	26	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-117	Desconectado
15	15	-1,26222	-78,61847826	26,5	357	7,1	100%	100%	100%	0%	-119	Conectado
16	16	-1,2623	-78,61836957	27	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-117	Desconectado
17	15	-1,26239	-78,61826087	25,5	356	10,7	0%	100%	100%	100%	-140	Conectado
18	16	-1,26248	-78,61815217	26	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-117	Desconectado
19	15	-1,26257	-78,61804348	26,5	355	7,5	0%	100%	100%	0%	-121	Conectado
20	16	-1,26265	-78,61793478	27	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-130	Desconectado
21	15	-1,26274	-78,61782609	25,5	357	7,1	100%	100%	100%	100%	-124	Conectado
22	16	-1,26283	-78,61771739	26	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-133	Desconectado
23	15	-1,26291	-78,6176087	26,5	356	10,7	0%	100%	100%	0%	-137	Conectado
24	16	-1,263	-78,6175	27	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-135	Desconectado
Total	**15,5**					**6,5625**	**67%**		33%	**67%**		

Anexo. J. Prueba de Plataformas Unidad Educativa Ricardo Discalzi

N°	Tiempo de envío en seg	Latitud	Longitud	Temperatura	Batería(mV)	Distancia (m)	% Éxito	% Error	% Perdida	% Efectividad	RSSI (dBm)	Estado de Conexión
1	15	-1,26	-78,62	25,5	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-117	Conectado
2	16	-1,2601094	-78,6198438	26,5	357	3,5	0%	100%	100%	0%	-113	Desconectado
3	16	-1,2602188	-78,6196875	26,5	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-120	Conectado
4	15	-1,2603281	-78,6195313	25,5	355	3,5	0%	100%	100%	0%	-133	Desconectado
5	15	-1,2604375	-78,619375	27	356	3,5	100%	0%	0%	100%	-115	Conectado
6	15	-1,2605469	-78,6192188	27	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-113	Desconectado
7	16	-1,2606562	-78,6190625	25,5	357	10,7	100%	0%	0%	100%	-137	Conectado
8	16	-1,2607656	-78,6189063	25,5	356	5,3	0%	100%	100%	0%	-115	Desconectado
9	16	-1,260875	-78,61875	26,5	357	8,9	100%	0%	0%	100%	-133	Conectado
10	15	-1,2609844	-78,6185938	27	356	10,7	0%	100%	100%	0%	-115	Desconectado
11	15	-1,2610938	-78,6184375	25,5	355	10,7	100%	0%	0%	100%	-113	Conectado
12	16	-1,2612031	-78,6182812	26,5	357	10,7	0%	100%	100%	0%	-123	Desconectado
13	16	-1,2613125	-78,618125	27	357	10,7	100%	0%	0%	100%	-113	Conectado
14	15	-1,2614219	-78,6179688	26	355	10,7	0%	100%	100%	0%	-113	Desconectado
15	16	-1,2615312	-78,6178125	26,5	357	7,1	100%	0%	0%	100%	-136	Conectado
16	16	-1,2616406	-78,6176562	27	357	8,9	0%	100%	100%	0%	-132	Desconectado
17	15	-1,26175	-78,6175	27	356	10,7	100%	0%	0%	100%	-137	Conectado
18	16	-1,2618594	-78,6173438	26,5	357	8,9	0%	100%	100%	0%	-114	Desconectado
19	15	-1,2619688	-78,6171875	26	355	7,1	100%	0%	0%	100%	-119	Conectado
20	15	-1,2620781	-78,6170312	26,5	356	7,1	0%	100%	100%	0%	-124	Desconectado
21	15	-1,2621875	-78,616875	27	356	8,9	100%	0%	0%	100%	-132	Conectado
22	15	-1,2622969	-78,6167188	25,5	355	3,5	0%	100%	100%	0%	-140	Desconectado
23	15	-1,2624062	-78,6165625	25,5	355	5,3	100%	0%	0%	100%	-120	Conectado
24	15	-1,2625156	-78,6164062	26,5	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-121	Desconectado
25	15	-1,262625	-78,61625	27	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-128	Conectado
26	16	-1,2627344	-78,6160937	25,5	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-113	Desconectado
27	15	-1,2628438	-78,6159375	27	355	10,7	100%	0%	0%	100%	-125	Conectado
28	15	-1,2629531	-78,6157812	26,5	356	7,1	0%	100%	100%	0%	-112	Desconectado
29	16	-1,2630625	-78,615625	25,5	355	3,5	100%	0%	0%	100%	-128	Conectado
30	16	-1,2631719	-78,6154687	27	356	7,1	0%	100%	100%	0%	-127	Desconectado
31	16	-1,2632813	-78,6153125	25,5	357	8,9	100%	0%	0%	100%	-138	Conectado
32	15	-1,2633906	-78,6151562	26,5	356	5,3	0%	100%	100%	0%	-112	Desconectado
33	16	-1,2635	-78,615	27	356	8,9	100%	0%	0%	100%	-135	Conectado
Total	15,45					7,65	79%		21%			

Anexo. K. Prueba Datacake Escuela Fe y Alegría.

N°	Tiempo de envío en seg	Latitud	Longitud	Temperatura	Batería(mV)	Distancia (m)	% Éxito	% Error	% Perdida	% Efectividad	RSSI (dBm)	Estado de Conexión
1	15	-1,26	-78,62	25,5	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-129	Conectado
2	16	-1,2600778	-78,6198889	27	357	7,1	0%	100%	100%	0%	-138	Desconectado
3	16	-1,2601556	-78,6197778	27	357	10,7	100%	0%	0%	100%	-140	Conectado
4	16	-1,2602333	-78,6196667	26	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-140	Desconectado
5	16	-1,2603111	-78,6195556	25,5	356	10,7	100%	0%	0%	100%	-133	Conectado
6	16	-1,2603889	-78,6194444	26	356	8,9	0%	100%	100%	0%	-131	Desconectado
7	15	-1,2604667	-78,6193333	25,5	355	10,7	100%	0%	0%	100%	-130	Conectado
8	15	-1,2605444	-78,6192222	26	355	3,5	0%	100%	100%	0%	-129	Desconectado
9	15	-1,2606222	-78,6191111	26,5	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-112	Conectado
10	16	-1,2607	-78,619	27	357	10,7	0%	100%	100%	0%	-128	Desconectado
11	15	-1,2607778	-78,6188889	25,5	356	8,9	100%	0%	0%	100%	-129	Conectado
12	16	-1,2608556	-78,6187778	25,5	357	5,3	0%	100%	100%	0%	-127	Desconectado
13	16	-1,2609333	-78,6186667	27	355	5,3	100%	0%	0%	100%	-139	Conectado
14	15	-1,2610111	-78,6185556	25,5	356	10,7	0%	100%	100%	0%	-112	Desconectado
15	15	-1,2610889	-78,6184444	25,5	357	8,9	100%	0%	0%	100%	-122	Conectado
16	16	-1,2611667	-78,6183333	26	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-123	Desconectado
17	15	-1,2612444	-78,6182222	25,5	357	10,7	100%	0%	0%	100%	-138	Conectado
18	16	-1,2613222	-78,6181111	26,5	356	5,3	0%	100%	100%	0%	-118	Desconectado
19	16	-1,2614	-78,618	26,5	355	5,3	100%	0%	0%	100%	-124	Conectado
20	16	-1,2614778	-78,6178889	27	355	10,7	0%	100%	100%	0%	-115	Desconectado
21	16	-1,2615556	-78,6177778	25,5	356	8,9	100%	0%	0%	100%	-133	Conectado
22	16	-1,2616333	-78,6176667	27	357	5,3	0%	100%	100%	0%	-112	Desconectado
23	15	-1,2617111	-78,6175556	26,5	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-115	Conectado
24	15	-1,2617889	-78,6174444	25,5	355	5,3	0%	100%	100%	0%	-131	Desconectado
25	16	-1,2618667	-78,6173333	25,5	355	5,3	100%	0%	0%	100%	-115	Conectado
26	16	-1,2619444	-78,6172222	27	356	7,1	0%	100%	100%	0%	-111	Desconectado
27	15	-1,2620222	-78,6171111	26,5	356	5,3	100%	0%	0%	100%	-139	Conectado
28	15	-1,2621	-78,617	25,5	357	3,5	0%	100%	100%	0%	-122	Desconectado
29	16	-1,2621778	-78,6168889	27	357	10,7	100%	0%	0%	100%	-132	Conectado
30	15	-1,2622556	-78,6167778	26,5	357	10,7	0%	100%	100%	0%	-134	Desconectado
31	16	-1,2623333	-78,6166667	27	356	8,9	100%	0%	0%	100%	-137	Conectado
32	15	-1,2624111	-78,6165556	26	356	5,3	0%	100%	100%	0%	-115	Desconectado
33	16	-1,2624889	-78,6164444	25,5	357	3,5	100%	0%	0%	100%	-120	Conectado
34	15	-1,2625667	-78,6163333	26	357	8,9	0%	100%	100%	0%	-123	Desconectado
35	16	-1,2626444	-78,6162222	26,5	356	7,1	100%	0%	0%	100%	-128	Conectado
36	15	-1,2627222	-78,6161111	26	357	8,9	0%	100%	100%	0%	-130	Desconectado
37	15	-1,2628	-78,616	26	355	8,9	100%	0%	0%	100%	-112	Conectado
38	16	-1,2628778	-78,6158889	26,5	356	5,3	0%	100%	100%	0%	-117	Desconectado
39	15	-1,2629556	-78,6157778	27	357	7,1	100%	0%	0%	100%	-137	Conectado
40	16	-1,2630333	-78,6156667	26	356	8,9	0%	100%	100%	0%	-116	Desconectado
41	15	-1,2631111	-78,6155556	27	355	3,5	100%	0%	0%	100%	-120	Conectado
42	16	-1,2631889	-78,6154444	26	356	3,5	0%	100%	100%	0%	-112	Desconectado
43	15	-1,2632667	-78,6153333	27	356	10,7	100%	0%	0%	100%	-116	Conectado
44	16	-1,2633444	-78,6152222	26,5	356	7,1	0%	100%	100%	0%	-137	Desconectado
45	15	-1,2634222	-78,6151111	26	356	7,1	100%	0%	0%	100%	-131	Conectado
46	16	-1,2635	-78,615	26,5	355	10,7	0%	100%	100%	0%	-136	Desconectado
Total		15,54				7,15	75%		25%			

Anexo. L. Prueba plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Juan León Mera la Salle.

Hora Última Transmisión	Longitud	Latitud	Temperatura (°C)	ivel de Batería (mV	Nivel de Batería (V)	RSSI (dBm)	Latencia (s)	Éxito	Error de ubicación (m)
14:07:10	-78,6261	-1,26354	25,1	356	0,356	-102	6,95	100%	14
14:08:41	-78,6261	-1,26441	28,7	355	0,355	-112	8,22	100%	9,46
14:09:10	-78,626	-1,26441	26,71	354	0,354	-114	8,88	100%	9,82
14:09:41	-78,6269	-1,26441	28,7	354	0,354	-93	10,26	100%	12,19
14:10:11	-78,6268	-1,2644	28,2	355	0,355	-120	10,82	100%	20,14
14:10:41	-78,6271	-1,2644	30,8	353	0,353	-100	12,11	100%	13,24
14:11:10	-78,6271	-1,26447	29,4	353	0,353	-111	12,58	0%	8,6
14:11:41	-78,627	-1,26644	30,8	355	0,355	-94	11,67	0%	14,6
14:12:11	-78,6264	-1,26607	29,4	354	0,354	-111	12,68	100%	7,4
14:12:41	-78,6264	-1,26607	30,2	353	0,353	-101	21,43	0%	2
14:13:11	-78,6264	-1,26607	30	355	0,355	-104	16,91	100%	9,04
14:13:41	-78,6264	-1,26607	27,5	355	0,355	-106	18,46	100%	8,11
14:14:11	-78,6264	-1,26607	25,2	355	0,355	-101	20,76	0%	3,6
14:14:44	-78,6264	-1,26607	25,8	355	0,355	-114	22,35	100%	23,44
14:15:13	-78,6264	-1,26579	28,2	354	0,354	-119	18,73	100%	6,24
14:15:43	-78,6264	-1,26579	28,5	353	0,353	-104	20,49	100%	10,38
14:16:13	-78,6264	-1,26579	28,2	354	0,354	-107	26,98	100%	9,75
14:16:43	-78,6264	-1,26579	30,4	355	0,355	-102	24,78	100%	14,29
14:17:13	-78,6264	-1,26638	30,8	353	0,353	-103	24,74	0%	8,3
14:17:43	-78,6275	-1,26638	28,8	353	0,353	-114	24,14	100%	17,56
14:18:13	-78,6275	-1,26638	30,1	355	0,355	-91	28,27	100%	8,86
14:18:43	-78,6275	-1,26638	30,1	354	0,354	-119	26,6	100%	16,66
14:19:13	-78,6275	-1,26638	30,1	354	0,354	-91	24,9	0%	20,91
14:19:43	-78,6275	-1,26547	29,6	354	0,354	-97	21,94	100%	8,44
14:20:13	-78,6275	-1,26547	27,1	353	0,353	-117	28,97	0%	2
14:20:43	-78,6275	-1,26547	30,6	354	0,354	-112	29,85	100%	7,09
14:21:13	-78,6275	-1,26547	30,1	353	0,353	-120	32,97	100%	10,8
14:21:43	-78,6275	-1,26547	30,1	353	0,353	-100	33,72	100%	9,87
14:22:13	-78,6275	-1,26639	30,7	353	0,353	-109	32,95	100%	2,78
14:32:34	-78,6271	-1,2644	25,7	353	0,353	-92	33,31	100%	7,4
							20,914	**77%**	**10,56566667**

Anexo. M. Prueba Plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Bolívar.

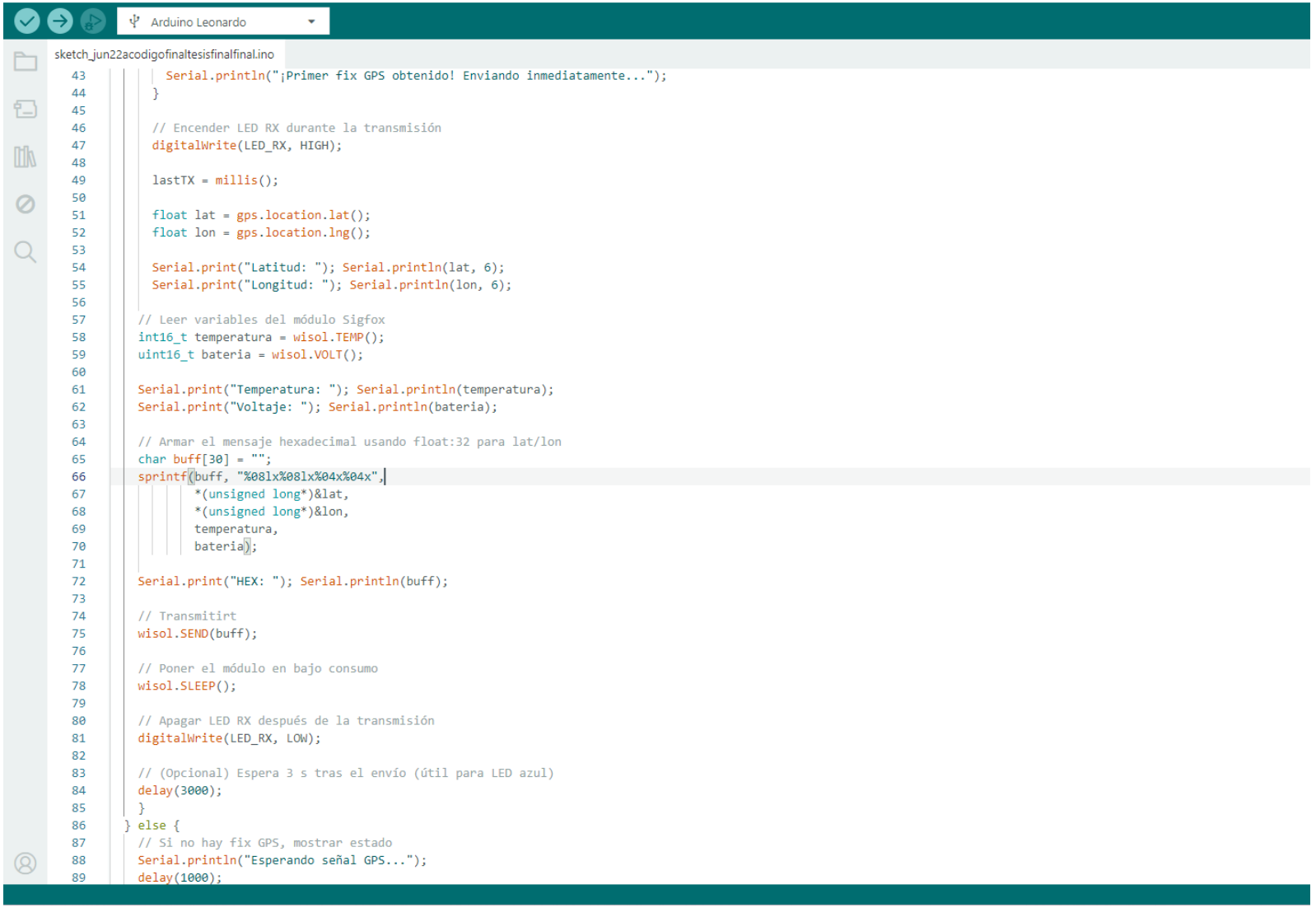
Mensajes enviados	Hora Última Transmisión	Longitud	Latitud	Temperatura (°C)	Nivel de Batería (mV)	Nivel de Batería (V)	RSSI (dBm)	Latencia (s)	Éxito	Error de ubicación (m)
1	14:07:10	-78,6261	-1,26354	25,1	356	0,356	-102	6,95	100%	14
2	14:08:41	-78,6261	-1,26441	28,7	355	0,355	-112	8,22	100%	9,46
3	14:09:10	-78,626	-1,26441	26,71	354	0,354	-114	8,88	100%	9,82
4	14:09:41	-78,6269	-1,26441	28,7	354	0,354	-93	10,26	100%	12,19
5	14:10:11	-78,6268	-1,2644	28,2	355	0,355	-120	10,82	100%	20,14
6	14:10:41	-78,6271	-1,2644	30,8	353	0,353	-100	12,11	100%	13,24
7	14:11:10	-78,6271	-1,26447	29,4	353	0,353	-111	12,58	0%	8,6
8	14:11:41	-78,627	-1,26644	30,8	355	0,355	-94	11,67	0%	14,6
9	14:12:11	-78,6264	-1,26607	29,4	354	0,354	-111	12,68	100%	7,4
10	14:12:41	-78,6264	-1,26607	30,2	353	0,353	-101	21,43	0%	2
11	14:13:11	-78,6264	-1,26607	30	355	0,355	-104	16,91	100%	9,04
12	14:13:41	-78,6264	-1,26607	27,5	355	0,355	-106	18,46	100%	8,11
13	14:14:11	-78,6264	-1,26607	25,2	355	0,355	-101	20,76	0%	3,6
14	14:14:44	-78,6264	-1,26607	25,8	355	0,355	-114	22,35	100%	23,44
15	14:15:13	-78,6264	-1,26579	28,2	354	0,354	-119	18,73	100%	6,24
16	14:15:43	-78,6264	-1,26579	28,5	353	0,353	-104	20,49	100%	10,38
17	14:16:13	-78,6264	-1,26579	28,2	354	0,354	-107	26,98	100%	9,75
18	14:16:43	-78,6264	-1,26579	30,4	355	0,355	-102	24,78	100%	14,29
19	14:17:13	-78,6264	-1,26638	30,8	353	0,353	-103	24,74	0%	8,3
20	14:17:43	-78,6275	-1,26638	28,8	353	0,353	-114	24,14	100%	17,56
21	14:18:13	-78,6275	-1,26638	30,1	355	0,355	-91	28,27	100%	8,86
22	14:18:43	-78,6275	-1,26638	30,1	354	0,354	-119	26,6	100%	16,66
23	14:19:13	-78,6275	-1,26638	30,1	354	0,354	-91	24,9	0%	20,91
24	14:19:43	-78,6275	-1,26547	29,6	354	0,354	-97	21,94	100%	8,44
25	14:20:13	-78,6275	-1,26547	27,1	353	0,353	-117	28,97	0%	2
26	14:20:43	-78,6275	-1,26547	30,6	354	0,354	-112	29,85	100%	7,09
27	14:21:13	-78,6275	-1,26547	30,1	353	0,353	-120	32,97	100%	10,8
28	14:21:43	-78,6275	-1,26547	30,1	353	0,353	-100	33,72	100%	9,87
29	14:22:13	-78,6275	-1,26639	30,7	353	0,353	-109	32,95	100%	2,78
30	14:32:34	-78,6271	-1,2644	25,7	353	0,353	-92	33,31	100%	7,4
								20,914	**77%**	**10,56566667**

Anexo. N Prueba plataforma ThingsBoardCloud de la Unidad Educativa Mario Cobo Barona

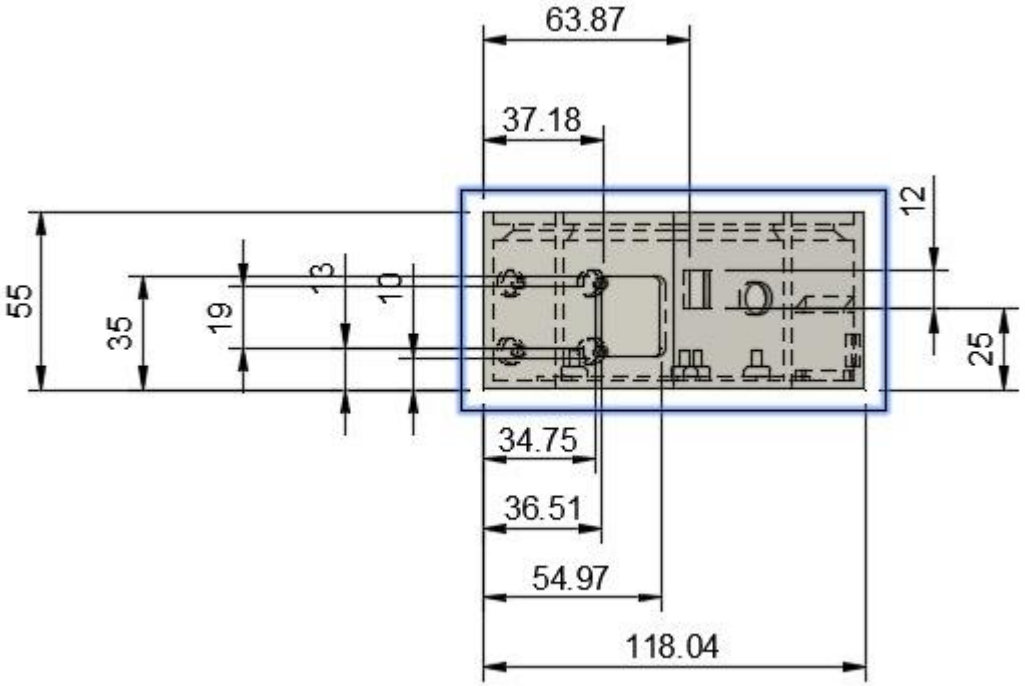
Mensajes enviados	Hora Última Transmisión	Longitud	Latitud	RSSI (dBm)	Temperatura (°C)	Nivel de Batería (V)	Latencia (s)	Éxito	Error de ubicación (m)
1	09:15:00	-78,618	-1,2601	-116	25,5	0,355	10,31	100%	9,31
2	09:15:15	-78,6179	-1,2602	-108	26	0,356	10,1	100%	6,15
3	09:15:31	-78,6179	-1,2603	-95	26,5	0,357	14,07	100%	15,2
4	09:15:46	-78,6177	-1,2604	-94	27	0,355	15,19	100%	16,03
5	09:16:02	-78,6176	-1,2605	-100	25,5	0,356	13,51	0%	9,6
6	09:16:17	-78,6175	-1,2606	-92	26,5	0,357	12,95	100%	4
7	09:16:33	-78,6174	-1,2607	-102	25,5	0,357	13,41	100%	4,65
8	09:16:48	-78,6173	-1,26085	-108	27	0,356	19,56	100%	12,55
9	09:17:04	-78,6173	-1,26095	-91	25,5	0,356	22,73	0	16,93
10	09:17:19	-78,61705	-1,26105	-99	25,5	0,356	15,9	100%	2
11	09:17:35	-78,61695	-1,26115	-99	26,3	0,357	18,72	0	8,29
12	09:17:50	-78,61685	-1,2613	-113	26,5	0,356	23,3	0	16,14
13	09:18:06	-78,6167	-1,2614	-91	25,5	0,355	23,13	100%	15,99
14	09:18:21	-78,6166	-1,26145	-95	26,3	0,356	20,98	100%	2,35
15	09:18:37	-78,6165	-1,2616	-90	27	0,357	26,42	100%	8,54
16	09:18:52	-78,6164	-1,26175	-111	27,5	0,355	28,88	100%	10,96
17	09:19:08	-78,6162	-1,26185	-102	25,5	0,356	28,93	100%	12,26
18	09:19:23	-78,6161	-1,26195	-93	26	0,357	27,09	100%	8,32
19	09:19:39	-78,616	-1,2621	-93	27	0,356	28,89	100%	4,43
20	09:19:54	-78,61585	-1,2622	-116	27	0,357	31,29	100%	7,01
21	09:20:10	-78,6157	-1,26235	-91	25,5	0,356	32,14	100%	16,71
22	09:20:25	-78,6156	-1,26245	-114	26,5	0,355	28,28	100%	4,73
23	09:20:41	-78,6155	-1,26255	-95	27,3	0,356	33,48	100%	13,94
24	09:20:56	-78,6154	-1,26265	-98	27	0,357	36,47	100%	5,6
							22,3220833	**83%**	**9,65375**

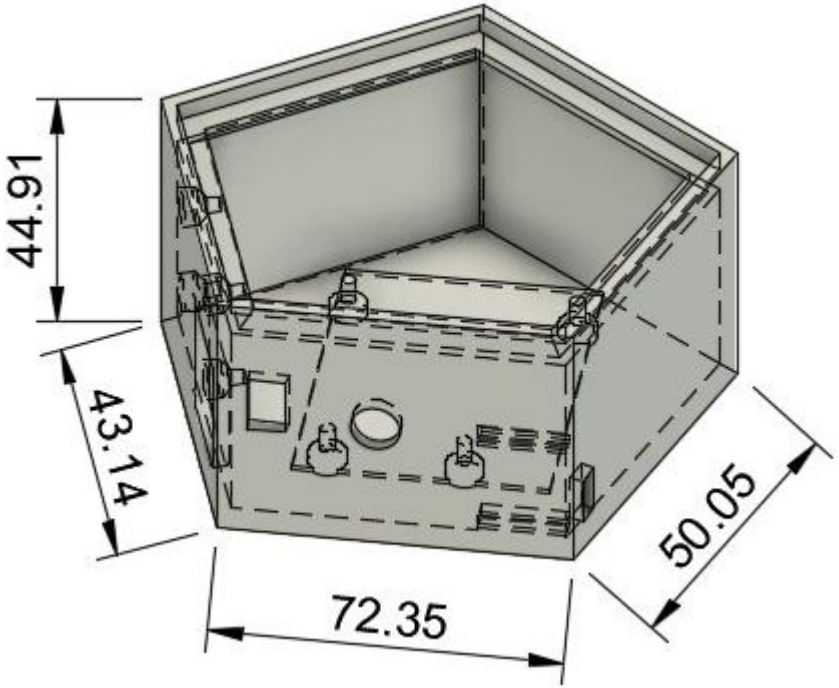
Anexo. O. Código de Configuración del Devkit Ufox.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <Ufox.h>

TinyGPSPlus gps;
Ufox wisol;  // Módulo Sigfox UFOX

// RX del GPS (TX del módulo GPS va al pin 10 del devkit)
SoftwareSerial ss(10, -1);

long lastTX = -30000;  // Control de tiempo entre transmisiones
bool firstGPSFix = false;  // Para detectar el primer fix GPS

// Pin del LED RX según tu devkit
#define LED_RX PB0  // LED Rx está en pin PB0

void setup() {
  Serial.begin(115200);     // Monitor serial
  ss.begin(9600);           // GPS a 9600 baudios
  wisol.begin(9600);        // Comunicación con módulo Sigfox

  delay(1000);              // Espera inicial

  Serial.println("Sistema portátil: GPS + Sigfox listo.");
}

void loop() {
  // Lectura de datos del GPS

  // Leer coordenadas GPS
  while (ss.available()) {
    gps.encode(ss.read());
  }

  // Verificar si tenemos datos GPS válidos
  if (gps.location.isValid()) {

    // Enviar inmediatamente al primer fix GPS, luego cada 30 segundos
    if (!firstGPSFix || (millis() - lastTX > 30000)) {

      if (!firstGPSFix) {
        firstGPSFix = true;
        Serial.println("¡Primer fix GPS obtenido! Enviando inmediatamente...");
      }
```

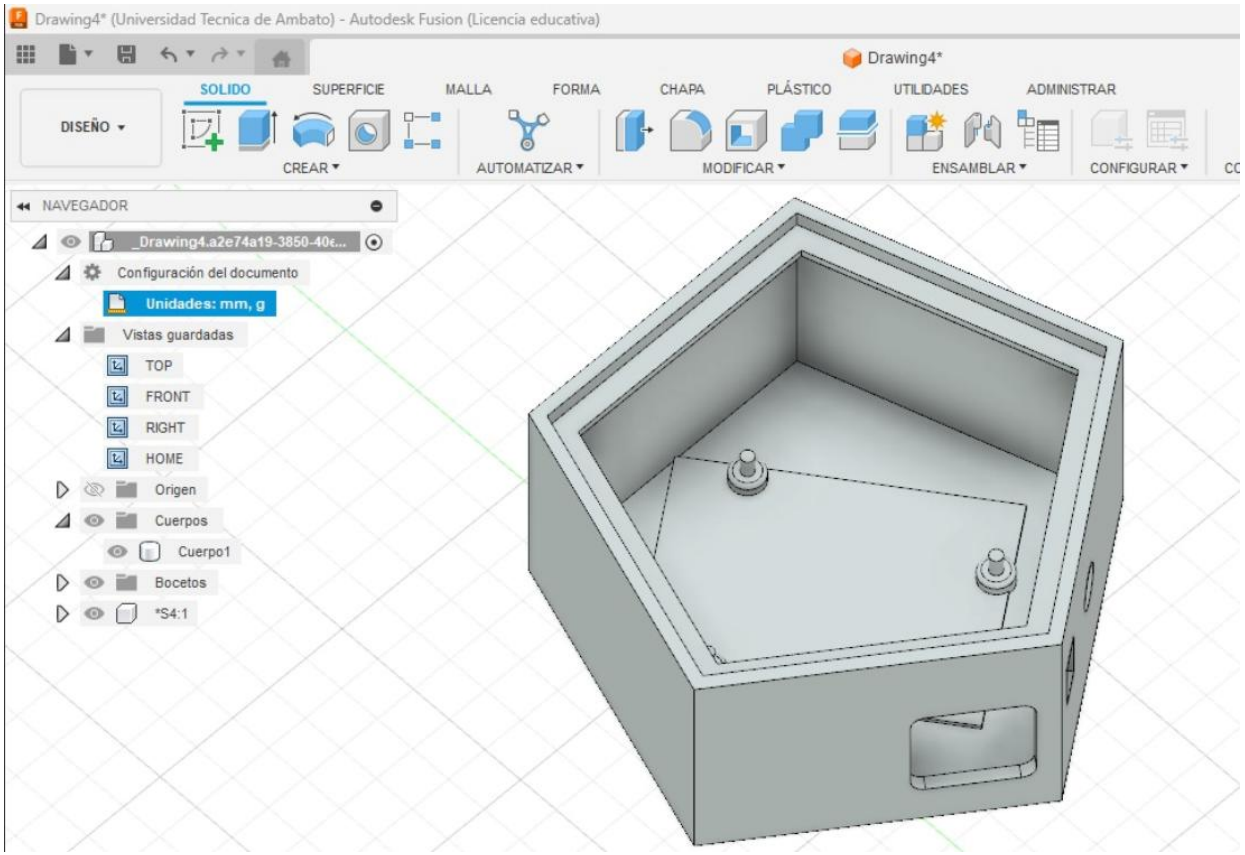

Arduino Leonardo
sketch_jun22acodigofinaltesisfinalfinal.ino
Serial.println("¡Primer fix GPS obtenido! Enviando inmediatamente...");
}
// Encender LED RX durante la transmisión
digitalWrite(LED_RX, HIGH);
lastTX = millis();
float lat = gps.location.lat();
float lon = gps.location.lng();
Serial.print("Latitud: "); Serial.println(lat, 6);
Serial.print("Longitud: "); Serial.println(lon, 6);
// Leer variables del módulo Sigfox
int16_t temperatura = wisol.TEMP();
uint16_t bateria = wisol.VOLT();
Serial.print("Temperatura: "); Serial.println(temperatura);
Serial.print("Voltaje: "); Serial.println(bateria);
// Armar el mensaje hexadecimal usando float:32 para lat/lon
char buff[30] = "";
sprintf(buff, "%08lx%08lx%04x%04x",
(unsigned long)&lat,
(unsigned long)&lon,
temperatura,
bateria);
Serial.print("HEX: "); Serial.println(buff);
// Transmitirt
wisol.SEND(buff);
// Poner el módulo en bajo consumo
wisol.SLEEP();
// Apagar LED RX después de la transmisión
digitalWrite(LED_RX, LOW);
// (Opcional) Espera 3 s tras el envío (útil para LED azul)
delay(3000);
}
} else {
// Si no hay fix GPS, mostrar estado
Serial.println("Esperando señal GPS...");
delay(1000);

Anexo. P Planos del prototipo desarrollado.





Anexo. Q Diseño del Case en 3D.



Anexo. R Características técnica devkit Ufox.

Caracteristicas Eléctricas

Descripcion (1*)	Unidad
Voltaje entrada USB (Conector micro USB)	5 Voltios
Voltaje Mínimo entrada (Pin VIN)	3.7 Voltios
Voltaje Máximo entrada (Pin VIN)	9 Voltios
Corriente máxima	1A
Voltaje de funcionamiento interno típico	3.3 Voltios

Descripcion (2*)	Unidad
Voltaje Máximo absoluto entrada (Pin 3.3V)	4 Voltios
Voltaje Mínimo absoluto entrada (Pin 3.3V)	2.7 Voltios

Radiofrecuencia

Descripcion	Unidad
Antena helicoidal	3 DBi
Frec. Uplink	920.8 MHz
Frec. Downlink	922.3 MHz
Data rate	600bps
Potencia RF	+22dbm 0,2045W máx
Modulación	DBPSK
Técnica de transmisión	FHSS
Técnologia de transmisión	UNB (Ultra narrow band) - Sigfox
Canales de transmisión	54 canales (9 macro-canales x 6 micro-canales)

Anexo. S.Características técnicas Sheild Ufox y Neo GEO-6M

Caracteristicas Eléctricas

Descripcion	Unidad
Voltaje Minimo VIN (JACK DC)	6 Voltios
Voltaje Máximo VIN (JACK DC)	20 Voltios
Voltaje Típico VIN (JACK DC)	12 Voltios
Corriente máxima de regulador de voltaje	2 Amperios
Voltaje de sistema de carga baterias de litio	3.6 a 4.2 Voltios
Corriente máxima de sistema de carga de baterias	500 mA
Voltaje de periféricos (+V)	Vbateria, 5 Voltios, 3 Voltios

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de alimentación: 3-5 VDC
- Interfaz: Serial UART 5V
- Baud rate por defecto: 9600bps
- Antena cerámica
- EEPROM para guardar datos de configuración
- Batería de respaldo (MS621FE)
- Frecuencia de refresco: 5Hz
- Soporta SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)
- Indicador de señal con LED
- Dimensiones antena: 25mm x 25mm
- Dimensiones Módulo: 25mm x 35mm
- Agujeros de montaje: 3mm
- Peso: