



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CON
TECNOLOGIA LORAWAN PARA LOCALIZACION DE NIÑOS
ENTRE 0 Y 11 AÑOS EN AMBIENTES ABIERTOS DE ALTA
CONCURRENCIA”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

SILVIO JHONY ASQUI LLANGARI

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CON
TECNOLOGIA LORAWAN PARA LOCALIZACION DE NIÑOS
ENTRE 0 Y 11 AÑOS EN AMBIENTES ABIERTOS DE ALTA
CONCURRENCIA”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR: SILVIO JHONY ASQUI LLANGARI

DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO VELOZ CHÉRREZ

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Silvio Jhony Asqui Llangari

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Silvio Jhony Asqui Llangari, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de mayo de 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Silvio Jhony Asqui Llangari', is centered on a light blue rectangular background.

Silvio Jhony Asqui Llangari

060553625-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CON TECNOLOGIA LORAWAN PARA LOCALIZACION DE NIÑOS ENTRE 0 Y 11 AÑOS EN AMBIENTES ABIERTOS DE ALTA CONCURRENCIA”**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA



Dra. Lourdes del Carmen Zúñiga Lema
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

2024-05-10



Ing. Diego Fernando Veloz Chérrez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2024-05-10



Ing. Mario Alejandro Paguay Alvarado
ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2024-05-10

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con mucho cariño a mis padres, Gonzalo y Delia, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y me guiaron en mis estudios con amor y paciencia. A mis hermanas, Myrian y Natasha, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, ofreciéndome su apoyo constante y motivación en cada paso del camino. A mis sobrinos, Ariadne y Gael, quienes siempre me han traído alegría y cuyo futuro me inspira a ser un mejor ejemplo para ellos. A mis profesores, que han guiado mis pasos con sabiduría y dedicación, inculcándome el valor del conocimiento y la perseverancia. Este logro también es para todos aquellos que creyeron en mí cuando yo mismo dudaba, sus palabras y actos de fe me dieron la fuerza para continuar. Quiero expresar mi gratitud a mis amigos, quienes, con su compañerismo y aliento, hicieron de este viaje una experiencia enriquecedora y memorable especialmente a mis mejores amigos Andrés, Diego, Alfonso y Paola, que siempre han estado pendientes de cada decisión que he tomado dándose su apoyo y consejos invaluable para lograr cumplir esta meta. A todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido a mi formación y crecimiento personal. Gracias por ser parte de este viaje, por sus consejos, su paciencia y por ayudarme a alcanzar esta meta. Este logro es tanto mío como de todos ustedes, y espero seguir contando con su apoyo en los futuros desafíos que la vida nos depara.

Jhony

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por inculcarme valores que me han convertido en una persona perseverante y responsable, y por su amor incondicional que me ha motivado a seguir adelante y luchar por mis sueños. A mis hermanas, que son mi inspiración y mi motor para levantarme cada vez que sea necesario y continuar adelante. A mis maestros, cuyos conocimientos impartidos han sido fundamentales para lograr mis metas en la Facultad de Informática y Electrónica (FIE) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A mi tutor, el Ingeniero Diego Veloz, por su invaluable apoyo y orientación, que han sido esenciales para culminar con éxito este proyecto. A mis amigos, quienes de una u otra forma me han ayudado a cumplir esta meta. Gracias por estar siempre a mi lado y por su constante apoyo y aliento. A cada persona que, de manera directa o indirecta, ha contribuido a mi formación personal y académica. Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes que han creído en mí y me han brindado su apoyo incondicional. Gracias por ser parte de este viaje y por ayudarme a alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

Jhony

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
RESUMEN.....	xxii
SUMMARY	xxiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Sistematización del problema.....	3
1.4 Justificación del trabajo de titulación	3
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	3
1.4.2 <i>Justificación aplicativa</i>	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Sistema de comunicaciones inalámbricas.....	6
2.1.1 <i>Redes inalámbricas de área corporal o WBAN</i>	6
2.1.2 <i>Redes inalámbricas de área personal o WPAN</i>	6
2.1.3 <i>Redes inalámbricas de área local o WLAN</i>	7

2.1.4	<i>Redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN</i>	7
2.1.5	<i>Redes inalámbricas de área amplia o WWAN</i>	7
2.2	Sistemas de posicionamiento global	8
2.2.1	<i>Funcionamiento del sistema de posicionamiento global</i>	8
2.2.1.1	<i>Método de triangulación</i>	9
2.3	Tecnologías inalámbricas del largo alcance y baja potencia (LPWAN)	11
2.3.1	<i>Sigfox</i>	12
2.3.2	<i>NB-IoT</i>	13
2.3.3	<i>LTE-M</i>	13
2.3.4	<i>LoRa</i>	13
2.4	LoRaWAN	14
2.4.1	<i>Clases de LoRaWAN</i>	15
2.4.2	<i>Parámetros regionales de LoRaWAN para Ecuador</i>	16
2.4.3	<i>Seguridad en una red LoRaWAN</i>	18
2.4.4	<i>Inicio de sesión</i>	19
2.4.5	<i>Métodos de activación de dispositivos</i>	20
2.4.5.1	<i>Activation by Personalization (ABP)</i>	20
2.4.5.2	<i>Over the Air Activation (OTAA)</i>	21
2.4.6	<i>Arquitectura de una red LoRaWAN</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1	Análisis de requerimientos	23
3.2	Evaluación de hardware y software	24
3.2.1	<i>Sensores</i>	24
3.2.1.1	<i>Módulo GPS</i>	24
3.2.1.2	<i>Sensor de temperatura</i>	26
3.2.2	<i>Módulo LoRa</i>	28

3.2.3	Gateway LoRaWAN	31
3.3	Diseño del dispositivo	33
3.3.1	<i>Nodo sensor</i>	34
3.3.2	<i>Nodo Gateway</i>	35
3.3.3	<i>Nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización</i>	36
3.4	Implementación del sistema	36
3.4.1	Implementación del nodo sensor	36
3.4.1.1	<i>Instalación de placa y biblioteca</i>	37
3.4.1.2	<i>Obtención de licencia para Heltec ESP32 LoRaWAN</i>	38
3.4.1.3	<i>Código en IDE de Arduino para sensor GPS y sensor de Temperatura</i>	39
3.4.1.4	<i>Código en IDE de Arduino para comunicación LoRaWAN</i>	40
3.4.1.5	<i>Creación de placa PCB para el dispositivo de localización de niños.</i>	41
3.4.2	Implementación del nodo Gateway	48
3.4.2.1	<i>Implementación de LoRa Gateway</i>	48
3.4.2.2	<i>Implementación del servidor TTN</i>	52
3.4.3	Implementación del nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización	58
3.4.3.1	<i>Implementación del nodo de procesamiento.</i>	58
3.4.3.2	<i>Implementación del nodo de almacenamiento</i>	68
3.4.3.3	<i>Implementación del nodo de visualización.</i>	74

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	80
4.1	Localización del Gateway en los diferentes escenarios propuestos	80
4.2	Análisis de cobertura máxima del sistema.	82
4.2.1	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia la Facultad de Recursos Naturales</i>	82
4.2.2	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia el Parque Isidro Gallegos</i>	84

4.2.3	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia el Parque de los Maestros</i>	85
4.2.4	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia la Av. Sergio Quirola y Camilo Egas.....</i>	86
4.2.5	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.</i>	87
4.2.6	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.....</i>	88
4.2.7	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.</i>	89
4.2.8	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.....</i>	90
4.2.9	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde el Parque Guayaquil hasta la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.</i>	91
4.2.10	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde el Parque Guayaquil hasta el sector de La Cerámica.....</i>	92
4.2.11	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde el Parque Guayaquil hasta el sector de La Estación.</i>	93
4.2.12	<i>Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde el Parque Guayaquil hasta las calles Boyacá y Duchicela.....</i>	94
4.2.13	<i>Análisis de cobertura máxima del dispositivo.</i>	95
4.2.14	<i>Análisis de cobertura máxima del dispositivo vs cobertura máxima teórica.....</i>	96
4.3	<i>Análisis de latencia del sistema</i>	98
4.3.1	<i>Latencia obtenida en el recorrido 1 de la ESPOCH hasta la Facultad de Recursos Naturales.....</i>	98
4.3.2	<i>Latencia obtenida en el recorrido 2 de la ESPOCH hasta el Parque Isidro Gallegos.</i>	99
4.3.3	<i>Latencia obtenida en el recorrido 3 de la ESPOCH hasta el Parque de los Maestros.....</i>	100
4.3.4	<i>Latencia obtenida en el recorrido 4 de la ESPOCH hasta la Av. Sergio Quirola y Camilo Egas.</i>	101
4.3.5	<i>Latencia obtenida en el recorrido 1 desde Mercado Víctor Proaño hasta las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.</i>	102

4.3.6	<i>Latencia obtenida en el recorrido 2 desde el Mercado Víctor Proaño hasta la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.</i>	104
4.3.7	<i>Latencia obtenida en el recorrido 3 desde el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.</i>	105
4.3.8	<i>Latencia obtenida en el recorrido 4 desde el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.</i>	106
4.3.9	<i>Latencia obtenida en el recorrido 1 desde el Parque Guayaquil hasta la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.</i>	107
4.3.10	<i>Latencia obtenida en el recorrido 2 desde el Parque Guayaquil hasta La Cerámica.</i>	108
4.3.11	<i>Latencia obtenida en el recorrido 3 desde el Parque Guayaquil hasta el sector de La Estación.</i>	109
4.3.12	<i>Latencia obtenida en el recorrido 4 desde el Parque Guayaquil hasta las calles Boyacá y Duchicela.</i>	110
4.4	Análisis de consumo energético	111
4.5	Análisis de precisión del sistema	113
4.5.1	<i>Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde la ESPOCH hacia la Facultad de Recursos Naturales</i>	114
4.5.2	<i>Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde la ESPOCH hacia el Parque Isidro Gallegos.</i>	117
4.5.3	<i>Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde la ESPOCH hacia el Parque de los Maestros.</i>	119
4.5.4	<i>Datos de GPS obtenidos en el cuarto recorrido desde la ESPOCH hacia la Av. Sergio Quirola y Camilo Egas.</i>	121
4.5.5	<i>Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.</i>	123
4.5.6	<i>Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.</i>	125
4.5.7	<i>Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.</i>	128
4.5.8	<i>Datos de GPS obtenidos en el cuarto recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Bolivia y Gaspar de Villarroel.</i>	130

<i>4.5.9 Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde el Parque Guayaquil hacia el sector de La Cerámica.....</i>	<i>132</i>
<i>4.5.10 Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde el Parque Guayaquil hacia la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.</i>	<i>135</i>
<i>4.5.11 Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde el Parque Guayaquil hacia las calles Boyacá y Duchicela.....</i>	<i>137</i>
<i>4.5.12 Datos de GPS obtenidos en el cuarto recorrido desde el Parque Guayaquil hacia el sector de la Estación.....</i>	<i>139</i>
<i>4.5.13 Análisis de precisión final del dispositivo</i>	<i>142</i>

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
5.1 Conclusiones	143
5.2 Recomendaciones	144

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Escala de Likert para valoración de dispositivos.....	24
Tabla 3-2: Comparación de módulos GPS.....	25
Tabla 3-3: Ponderación de acuerdo con las características de los módulos GPS.....	26
Tabla 3-4: Comparación de sensores de temperatura	27
Tabla 3-5: Ponderación de acuerdo con las características de los sensores de temperatura	28
Tabla 3-6: Comparación de módulos LoRa.	29
Tabla 3-7: Ponderación de acuerdo con las características de los módulos LoRa.	30
Tabla 3-8: Comparación de Gateway LoRa.....	31
Tabla 3-9: Ponderación de acuerdo con las características de los Gateway LoRaWAN.	33
Tabla 4-1: Localización del Gateway en los diferentes escenarios.....	80
Tabla 4-2: Análisis de cobertura máxima alcanzada por el dispositivo.....	95
Tabla 4-3: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 2 de la ESPOCH.....	99
Tabla 4-4: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 3 de la ESPOCH.....	100
Tabla 4-5: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 4 de la ESPOCH.....	102
Tabla 4-6: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 1 del mercado Víctor Proaño.....	103
Tabla 4-7: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 2 del mercado Víctor Proaño.....	104
Tabla 4-8: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 3 del mercado Víctor Proaño.....	105
Tabla 4-9: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 4 del mercado Víctor Proaño.....	106
Tabla 4-10: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 1 del Parque Guayaquil.	107
Tabla 4-11: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 2 del Parque Guayaquil.	108
Tabla 4-12: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 3 del Parque Guayaquil.	109
Tabla 4-13: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 4 del Parque Guayaquil.	110
Tabla 4-14: Consumo energético de elementos que componen el sistema.	111
Tabla 4-15: Promedio total de precisión del recorrido 1 en la ESPOCH.....	116
Tabla 4-16: Promedio total de precisión del recorrido 2 en la ESPOCH.....	118
Tabla 4-17: Promedio total de precisión del recorrido 3 en la ESPOCH.....	120
Tabla 4-18: Promedio total de precisión del recorrido 4 en la ESPOCH.....	122
Tabla 4-19: Promedio total de precisión del recorrido 1 en el Mercado Víctor Proaño.	124
Tabla 4-20: Promedio total de precisión del recorrido 2 en el Mercado Víctor Proaño.	127
Tabla 4-21: Promedio total de precisión del recorrido 3 en el Mercado Víctor Proaño.	129
Tabla 4-22: Promedio total de precisión del recorrido 4 en el Mercado Víctor Proaño.	132
Tabla 4-23: Promedio total de precisión del recorrido 1 en el Parque Guayaquil.	134
Tabla 4-24: Promedio total de precisión del recorrido 2 en el Parque Guayaquil.	136

Tabla 4-25: Promedio total de precisión del recorrido 3 en el Parque Guayaquil.	139
Tabla 4-26: Promedio total de precisión del recorrido 4 en el Parque Guayaquil.	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Medición de pseudo distancias.	9
Ilustración 2-2: Método de triangulación: 1 satélite.....	10
Ilustración 2-3: Método de triangulación: 2 satélites.	10
Ilustración 2-4: Método de triangulación: 3 satélites.	11
Ilustración 2-5: Características de diferentes tecnologías inalámbricas.....	11
Ilustración 2-6: Comparación de distancia vs consumo energético entre distintas tecnologías inalámbricas.	12
Ilustración 2-7: Distribución de capas de LoRaWAN.....	15
Ilustración 2-8: Parámetros regionales de LoRaWAN.....	17
Ilustración 2-9: US 902-928 Frecuencias del canal.....	18
Ilustración 2-10: Claves de sesión en una red LoRaWAN.....	19
Ilustración 2-11: Arquitectura de una red LoRaWAN.....	22
Ilustración 3-1: Diseño del dispositivo.....	34
Ilustración 3-2: Diagrama en bloques del nodo sensor.	35
Ilustración 3-3: Diagrama en bloques del nodo Gateway.	35
Ilustración 3-4: Diagrama en bloques del nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización.....	36
Ilustración 3-5: Instalación de placa Heltec Lora Esp32 v2.....	37
Ilustración 3-6: Instalación de la biblioteca ESP32_LoRaWAN.	38
Ilustración 3-7: Chip id del módulo ESP32.....	38
Ilustración 3-8: Licencia de módulo Heltec Lora Esp32 v2 obtenida.	39
Ilustración 3-9: Parámetros debugLevel y región de LoRaWAN.	41
Ilustración 3-10: Creación de nuevo esquema en software Eagle.....	42
Ilustración 3-11: Descarga de librería eagle-ibr.	43
Ilustración 3-12: Proceso de carga de librería eagle-ibr.....	43
Ilustración 3-13: Ingreso a opción Add para selección de elementos.	44
Ilustración 3-14: Selección de modulo wifi-lora-32-v2.....	44
Ilustración 3-15: Módulos usados dentro del software Eagle.	45
Ilustración 3-16: Resultado de interconexión de dispositivos.	45
Ilustración 3-17: Generación de tablero para circuito en PCB.....	46
Ilustración 3-18: Interfaz de elementos desorganizados.	46
Ilustración 3-19: Diseño final de circuito en PCB.....	47
Ilustración 3-20: Grabado de diseño final en baquelita.....	47

Ilustración 3-21: Nodo Sensor implementado.....	48
Ilustración 3-22: Red wifi dragino-22f194.....	48
Ilustración 3-23: Pagina de ingreso a la interfaz gráfica del Gateway Dragino.	49
Ilustración 3-24: Pagina inicial del Gateway Dragino.	49
Ilustración 3-25: Configuración de opciones de Wifi Access Point.....	50
Ilustración 3-26: Configuraciones de LoRa en Gateway Dragino.	50
Ilustración 3-27: Configuración de LoRaWAN en Gateway Dragino.	51
Ilustración 3-28: Gateway LoRa implementado.....	51
Ilustración 3-29: Página de registro de servidor TTN.....	52
Ilustración 3-30: Página de inicio de TTN.....	52
Ilustración 3-31: Página de registro de Gateway.....	53
Ilustración 3-32: Configuración para registro del Gateway.	53
Ilustración 3-33: Gateway Lora Registrado.	54
Ilustración 3-34: Página de registro de aplicaciones.....	54
Ilustración 3-35: Creación de aplicaciones.....	55
Ilustración 3-36: Página de registro de end devices.	55
Ilustración 3-37: Configuración de registro del módulo Heltec LoRa Esp32 v2 clase A OTAA	56
Ilustración 3-38: Dispositivos finales registrados dentro de la aplicación.	57
Ilustración 3-39: Datos en tiempo real enviados por el dispositivo final a TTN.....	57
Ilustración 3-40: Datos en tiempo real decodificados.	58
Ilustración 3-41: Información de conexión del protocolo MQTT.....	59
Ilustración 3-42: Configuración nodo MQTT in.....	60
Ilustración 3-43: Parámetros de conexión de nodo MQTT.....	60
Ilustración 3-44: Parámetros de seguridad de MQTT.	61
Ilustración 3-45: Suscripción a tópico dispositivo lora 1.	61
Ilustración 3-46: Código para extracción de datos de latitud y longitud enviados desde TTN. 62	
Ilustración 3-47: Geo cerca del Parque Guayaquil de la ciudad de Riobamba.	63
Ilustración 3-48: Geo cerca del Mercado Víctor Proaño de la ciudad de Riobamba.	63
Ilustración 3-49: Geo cerca de la Espoch de la ciudad de Riobamba.....	64
Ilustración 3-50: Nodo función para el control de los límites de latitud y longitud.	64
Ilustración 3-51: Función para el control de la temperatura.....	65
Ilustración 3-52: Configuración del nodo de envió de mensajes vía WhatsApp.....	66
Ilustración 3-53: Configuración de propiedades para envió de notificaciones vía WhatsApp.. 66	
Ilustración 3-54: Obtención de API-KEY para uso de nodo WhatsApp.....	67
Ilustración 3-55: Implementación de mensajes de alerta.	67

Ilustración 3-56: Proceso de creación de nuevo proyecto en Firebase.....	68
Ilustración 3-57: Asignación de nombre de la Base de datos.....	68
Ilustración 3-58: Des habilitación de Google Analytics.	69
Ilustración 3-59: Ingreso a la base de datos en tiempo real.....	69
Ilustración 3-60: Datos que serán enviados a la base de datos de Firebase.....	70
Ilustración 3-61: Proceso de configuración de nodo Firebase Modify.....	70
Ilustración 3-62: Modificación de enlace de base de datos Firebase.	71
Ilustración 3-63: Datos almacenados por la base de datos.	71
Ilustración 3-64: Conexión de nodo date picker y nodo dropdown con nodo función y nodo firebase.once.	72
Ilustración 3-65: Configuración de nodo Firebase.once.....	73
Ilustración 3-66: Proceso de comparación y separación de datos.	74
Ilustración 3-67: Rastreo en tiempo real mediante el uso de worldmap y tracks.	75
Ilustración 3-68: Recuperación de trayectoria mediante el uso de la base de datos.....	75
Ilustración 3-69: Dashboard en tiempo real para la localización de niños.	76
Ilustración 3-70: Conexión de nodos para el Dashboard en tiempo real y la base de datos.	76
Ilustración 3-71: Descarga de programa Ngrok.	77
Ilustración 3-72: Proceso de adyacencia de token de autenticación.	77
Ilustración 3-73: Ingreso a puerto 1880 de node-red.....	78
Ilustración 3-74: Acceso a dashboard de tiempo real.....	78
Ilustración 3-75: Acceso a dashboard de base de datos	79
Ilustración 4-1: Localización del Gateway en el Parque Guayaquil.	81
Ilustración 4-2: Localización del Gateway en el mercado Víctor Proaño.	81
Ilustración 4-3: Localización del Gateway en la ESPOCH.....	82
Ilustración 4-4: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 2 hacia el norte de la ciudad.	83
Ilustración 4-5: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 2.....	83
Ilustración 4-6: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2 hacia la puerta principal de la ESPOCH.	84
Ilustración 4-7: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2.....	84
Ilustración 4-8: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2 hacia el Parque de los Maestros.....	85
Ilustración 4-9: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2.....	85
Ilustración 4-10: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 4 hacia los rieles del tren.	86
Ilustración 4-11: Cálculo de distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 4.....	86

Ilustración 4-12: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3 hacia las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.	87
Ilustración 4-13: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3.....	87
Ilustración 4-14: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2 hacia la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.....	88
Ilustración 4-15: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2.....	88
Ilustración 4-16: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2 hacia las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.	89
Ilustración 4-17: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2.....	89
Ilustración 4-18: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 2 hacia las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.	90
Ilustración 4-19: Cálculo de distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 2.....	90
Ilustración 4-20: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3 hacia la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.....	91
Ilustración 4-21: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3.....	91
Ilustración 4-22: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 3 hacia La Cerámica.	92
Ilustración 4-23: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 3.....	92
Ilustración 4-24: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1 hacia La Estación.....	93
Ilustración 4-25: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1.....	93
Ilustración 4-26: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 1 hacia las calles Boyacá y Duchicela.	94
Ilustración 4-27: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1.....	94
Ilustración 4-28: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la ESPOCH.	96
Ilustración 4-29: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la Mercado Víctor Proaño...	97
Ilustración 4-30: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la Parque Guayaquil.....	97
Ilustración 4-31: Datos de tiempo en el aire guardados en la base de datos de firebase.....	98
Ilustración 4-32: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 1 en la ESPOCH.....	99
Ilustración 4-33: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 2 en la ESPOCH.....	100
Ilustración 4-34: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 3 en la ESPOCH.....	101
Ilustración 4-35: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 4 en la ESPOCH.....	102
Ilustración 4-36: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 1 en el Mercado Víctor Proaño.	103
Ilustración 4-37: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 2 en el mercado Víctor Proaño.	104
Ilustración 4-38: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 3 en el mercado Víctor Proaño.	105

Ilustración 4-39: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 4 en el mercado Víctor Proaño.	106
Ilustración 4-40: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 1 en el Parque Guayaquil. ...	107
Ilustración 4-41: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 2 en el Parque Guayaquil. ...	108
Ilustración 4-42: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 3 en el Parque Guayaquil. ...	109
Ilustración 4-43: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 4 en el Parque Guayaquil. ...	110
Ilustración 4-44: Hora de inicio de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia corta. ..	111
Ilustración 4-45: Hora de finalización de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia corta.	112
Ilustración 4-46: Hora de inicio de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia larga. ..	112
Ilustración 4-47: Hora de finalización de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia larga.	113
Ilustración 4-48: Interfaz gráfica de Network Cell Info Lite.....	114
Ilustración 4-49: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el primer recorrido.	115
Ilustración 4-50: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.....	116
Ilustración 4-51: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.....	117
Ilustración 4-52: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.....	118
Ilustración 4-53: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.....	119
Ilustración 4-54: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.....	120
Ilustración 4-55: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el cuarto recorrido.	121
Ilustración 4-56: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.....	122
Ilustración 4-57: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el primer recorrido.	123
Ilustración 4-58: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.....	124
Ilustración 4-59: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.....	126

Ilustración 4-60: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.....	127
Ilustración 4-61: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.....	128
Ilustración 4-62: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.....	129
Ilustración 4-63: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el cuarto recorrido.....	130
Ilustración 4-64: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.....	131
Ilustración 4-65: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el primer recorrido.....	133
Ilustración 4-66: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.....	134
Ilustración 4-67: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.....	135
Ilustración 4-68: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.....	136
Ilustración 4-69: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.....	138
Ilustración 4-70: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.....	138
Ilustración 4-71: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el cuarto recorrido.....	140
Ilustración 4-72: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.....	141

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CODIGO OBTENCION DE CHIP ID.

ANEXO B: CODIGO DE NODO SENSOR.

ANEXO C: INSTALACIÓN DE NODE-RED Y NODOS.

ANEXO D: ELIMINACIÓN DE HORAS, MINUTOS Y SEGUNDOS EN NODO DATE PICKER.

ANEXO E: IMPLEMENTACIÓN DE GEOCERCAS.

ANEXO F: SEPARACIÓN Y COMPARACIÓN DE DATOS RECOLECTADOS DE LA BASE DE DATOS.

RESUMEN

En Ecuador no existe un dispositivo capaz de localizar niños en tiempo real y enviar alertas en caso de posibles pérdidas o secuestros, por lo tanto, el objetivo del presente proyecto técnico fue realizar el “Diseño e implementación de un sistema con tecnología LoRaWAN para localización de niños entre 0 y 11 años en ambientes abiertos de alta concurrencia ”. El prototipo está conformado por 3 nodos, el nodo sensor es el encargado de recolectar datos de GPS por el módulo GPS Neo-6M y datos de temperatura por el módulo Mlx 90614, también es el encargado de transmitir los datos al nodo Gateway. El nodo Gateway se encargará de recibir los datos enviados y subirlos a TTN. El nodo de procesamiento es el encargado procesar los datos que se reciben de TTN a node-red, el nodo realiza el control de la geocerca, el control de temperatura del niño. El nodo de almacenamiento se encarga de guardar los datos de GPS, fecha y temperatura en la base de datos Firebase, estos datos son de vital importancia en caso de extravió. El nodo de visualización muestra mediante un mapa los datos de GPS en tiempo real. El sistema cubrió distancias entre 389.46 a 1039.64 metros, la autonomía de la batería ronda las 8 horas, la precisión del GPS del sistema varía entre 5.1429 a 22.129 metros y la latencia llega a tener una media de 400 a 500 ms, estos parámetros resultan favorables para un sistema de localización. En ese contexto se concluye que el prototipo funciona y ayuda a tener un monitoreo en tiempo real y de manera remota de la ubicación de los niños, logrando recibir alertas en tiempo real en caso de posibles pérdidas o secuestros.

Palabras clave: <LORAWAN (LONG RANGE WIDE AREA NETWORK)>, <SISTEMA DE LOCALIZACION>, <NODE-RED>, <CONSUMO ENERGETICO>, <PRECISION>, <COBERTURA>, <SPREADING FACTOR>.



SUMMARY

In Ecuador, there is currently no device capable of real-time child tracking and alerting in case of possible loss or abduction. Therefore, this technical project aimed to design and implement a system with LoRaWAN technology for tracking children aged 0 to 11 in high-traffic open environments. The prototype consists of three nodes: the sensor node, responsible for collecting GPS data through the Neo-6M GPS module, and temperature data through the Mlx 90614 module and transmitting this data to the Gateway node. The Gateway node receives the transmitted data and uploads it to TTN. The processing node is responsible for processing the data from TTN via node-red, controlling the geofence, and monitoring the child's temperature. The storage node is responsible for storing GPS data, date, and temperature in the Firebase database, which is crucial in case of a loss. The visualization node displays GPS data in real-time on a map. The system covered distances ranging from 389.46 to 1039.64 meters, with a battery life of around 8 hours. The GPS accuracy of the system varies between 5.1429 to 22.129 meters, and the latency averages between 400 to 500 ms, parameters that are favorable for a tracking system. In this context, it is concluded that the prototype functions effectively and assists in real-time and remote monitoring of children's locations, allowing real-time alerts in case of possible loss or abduction.

KEYWORDS: <LORAWAN (LONG RANGE WIDE AREA NETWORK)>, <TRACKING SYSTEM>, <NODE-RED>, <ENERGY CONSUMPTION>, <ACCURACY>, <COVERAGE>, <SPREADING FACTOR>.



Lic. Maritza Larrea Mg.

0603370784

INTRODUCCIÓN

La tecnología de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) está diseñada para distancias de transmisión de más de un kilómetro, tiene un bajo consumo de energía, admite la transmisión de datos de banda estrecha y tiene bajos costos de comunicación. (Machado, 2019 pág. 1)

LoRaWAN es el estándar de LPWAN, es una red aérea extensa de muy bajo consumo. Además, LoRaWAN describe la arquitectura y el protocolo de comunicación dentro del sistema utilizado en la red. (Viñas, 2018 pág. 11)

En Ecuador cada año aumenta el número de personas desaparecidas incluyendo a niños de 0 a 11 años. En el 2020 se tuvieron 6881 desapariciones de los cuales 402 fueron de niños. Aunque se ubicaron a 354 niños, 48 aún están perdidos. En 2021 hasta octubre existieron 6819 desapariciones de los cuales 459 fueron de niños, 305 niños fueron encontrados, pero 154 siguen desaparecidos esto indica un aumento en el número de personas desaparecidas. (Asfadec, 2022)

En la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo se tuvieron 172 desapariciones en 2020, de los cuales 8 no fueron encontrados y en 2021, se reportaron 219 desapariciones, con 60 casos de personas no encontradas. (Asfadec, 2022)

Estos datos muestran que los casos de niños desaparecidos son alarmantes por lo cual se propone el desarrollo de un dispositivo de localización de niños con tecnología LoRaWAN debido a su gran alcance, reducido consumo energético y gran escalabilidad los cuales resultan ser óptimos para el propósito propuesto.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La seguridad y el cuidado de los niños son preocupaciones fundamentales en la sociedad actual. Con el creciente número de casos de niños extraviados o expuestos a situaciones peligrosas en entornos abiertos de alta concurrencia, se requiere una solución eficaz para la localización de niños en tiempo real.

En los últimos años, ha existido un avance en el campo de las tecnologías de comunicación inalámbrica, lo que ha logrado el desarrollo de soluciones para la localización de personas. En la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Quito se desarrolló el trabajo de titulación denominado “DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO PARA PERSONAS ADULTAS MAYORES EN UNA RED IOT Y CLOUD”, realizado por (Rojas y Díaz, 2021 pág. 13). En este proyecto se utilizó la tecnología GSM como medio de comunicación para la localización de personas mayores, se obtuvieron buenos resultados, sin embargo, este proyecto tiene limitaciones en parámetros de precisión, consumo de energía y cobertura en áreas urbanas.

LoRaWAN es una tecnología LPWAN la cual permite transmitir datos a largar distancia con el uso de un mínimo consumo energético. Esta tecnología ha sido usada en aplicaciones como agricultura, medio ambiente sin embargo no ha sido utilizada para la localización de niños en ambientes abiertos de alta concurrencia.

Por lo tanto, este estudio se enfocará en el diseño y desarrollo de un sistema de localización de niños utilizando tecnología LoRaWAN en entornos abiertos de alta concurrencia. Se pretende aprovechar las capacidades de LoRaWAN para proporcionar una solución eficiente, precisa y confiable que permita a los padres y cuidadores rastrear la ubicación de los niños en tiempo real

1.2 Planteamiento del problema

¿Cómo la tecnología LoRaWAN podría complementar a la tecnología GPS para la implementación de sistemas de rastreo de personas?

1.3 Sistematización del problema

¿Qué características técnicas de la tecnología LoraWAN podemos aprovechar en sistemas de localización que utilizan GPS?

¿Cuáles son los requerimientos que deberá cumplir un sistema para localización de niños para su funcionamiento eficiente?

¿Como se pueden integrar las tecnologías LoraWAN y GPS para sistemas de localización de niños?

¿Cuáles son los parámetros de evaluación que deberían ser considerados en el funcionamiento de dispositivos de localización de niños?

1.4 Justificación del trabajo de titulación

1.4.1 Justificación teórica

En Ecuador, el problema de personas desaparecidas es una preocupación que afecta a todo el país. Cada año, un número significativo de personas desaparecen, dejando a sus familias con incertidumbre y angustia. Especialmente alarmante es el hecho de que este problema también afecta a los niños, incluyendo a aquellos en el grupo de edad de 0 a 11 años.

En el año 2020 la fiscalía general del estado de Ecuador publico estadísticas en las cuales se indicó que existieron 6881 personas desaparecidas, de las cuales 402 forman parte del grupo de niños de edades entre 0 y 11 años, un total de 354 niños fueron localizados sin embargo 48 no fueron encontrados (Asfadec, 2022).

En el año 2021 existieron 6819 personas desaparecidas de las cuales 459 son niños de edades de entre 0 y 11 años se localizaron 305 niños sin embargo 154 no fueron localizados. Estos datos muestran un incremento en comparación al año anterior (Asfadec, 2022).

En el año 2020, en la ciudad de Riobamba se reportaron 172 personas desaparecidas de las cuales 8 no fueron localizadas y en el año 2021 se reportaron 219 personas desaparecidas de las cuales 60 no fueron localizadas (Asfadec, 2022).

Para brindar una solución a esta problemática, se propone el desarrollo de un dispositivo de localización de niños. Para lo cual se usará una tecnología de largo alcance para poder cubrir la mayor cobertura posible.

La tecnología LPWAN tiene una distancia de transmisión de más de un kilómetro, bajo consumo de energía, admite transmisión de datos de banda estrecha y tiene bajos costos de comunicación. Estas tecnologías utilizan bandas de frecuencia sin licencia (como LoRa y Sigfox) y bandas de frecuencia de 2/3/4G con licencia (como EC-GSM, LTE-M, NB-IoT) (Machado, 2019 pág. 1).

LoRaWAN es el estándar de LPWAN, es una red aérea extensa de muy bajo consumo. Además, LoraWAN describe la arquitectura y el protocolo de comunicación dentro del sistema utilizado en la red (Viñas, 2018 pág. 11).

LoRaWAN está diseñado para velocidades de datos bajas, lo que lo hace ideal para soluciones de IoT que requieren comunicación de larga distancia. Además, tiene buenas capacidades de escalabilidad, arquitectura y funciones de coordinación central (Lucero y Heredia, 2021 pág. 21).

1.4.2 Justificación aplicativa

El sistema de rastreo de niños es una solución que utiliza tecnología inalámbrica y dispositivos electrónicos para proporcionar seguridad y monitoreo en tiempo real. Uno de los componentes clave de este sistema es el nodo inalámbrico, que está diseñado para ser portátil y llevarlo con el niño en todo momento.

El nodo inalámbrico está conformado por el módulo GPS el cual usa señales de satélite para determinar la posición del nodo con una precisión de 2.5 metros a 15 metros (u-blox, 2011).

Se logrará conocer la ubicación de niños en tiempo real mediante el uso de este módulo.

También se usará un sensor de temperatura para determinar la temperatura del niño y en función a este dato sabe si el niño posee el dispositivo o si este ha sido retirado.

Para el procesamiento de los datos se utilizará el microcontrolador Heltec LoRa esp 32 v2 el cual permite recopilar lo datos de ambos sensores.

Cuando los datos se hayan procesado se usará la tecnología LoRa para enviar los datos a largas distancias, de hasta 2.8 km. Esto permitirá que el nodo envíe la información al Gateway LoRaWAN (Heltec Automation, 2018).

El Gateway deberá estar ubicado en un punto estratégico para tener una mejor línea de vista este actuará como una puerta de enlace para transmitir los datos hacia Internet. Este servidor se encarga de procesar los datos recibidos y mostrarlos por medio de un dashboard.

El desarrollo de un dispositivo de localización de niños que usa la tecnología LoRaWAN permite una rápida localización en caso de pérdidas o secuestros. Sus propiedades de gran cobertura, bajo consumo energético permite un seguimiento de los niños en tiempo real lo que permitirá un mayor control de las ubicaciones de los niños para las familias.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema con tecnología LoRaWAN para localización de niños entre 0 y 11 años en ambientes abiertos de alta concurrencia.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la tecnología LoRaWAN y GPS para sistemas de localización.
- Determinar cuáles son los requerimientos de diseño de un sistema para localización de niños, utilizando las tecnologías LoRaWAN y GPS.
- Implementar un sistema para localización de niños tomando en consideración los requerimientos de diseño, utilizando las tecnologías LoRaWAN y GPS.
- Evaluar el prototipo en diferentes escenarios para la localización de niños tomando en consideración parámetros técnicos como latencia, cobertura, precisión y consumo energético.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de comunicaciones inalámbricas

Es un tipo de comunicaciones, usa como medio de transmisión el aire mediante Ondas de Radio, en la actualidad es una de las tecnologías más usadas por una de sus características valoradas como positivas la portabilidad o traslado de los equipos informáticos. En comparación con redes cableadas las cuales es necesario tener una infraestructura cableada para poder brindar el servicio de comunicación (Carballar, 2007 págs. 4-5).

Las comunicaciones inalámbricas se dividen en los siguientes grupos según su cobertura:

2.1.1 Redes inalámbricas de área corporal o WBAN

Las redes de áreas corporales son pequeños sistemas de comunicación. La transmisión ocurre dentro, alrededor o sobre el cuerpo humano, por lo que la transmisión en el dominio corporal tiene características diferentes. En primer lugar, la cobertura se limita a una distancia no superior a 2 o 3 metros, y, en segundo lugar, las emisiones de energía de este tipo de tecnología son muy bajas, lo que ayuda a alargar la vida útil de la batería del dispositivo, reducir el nivel de interferencias, coexistir con otras tecnologías, y operar con potencias menores que pueden ser perjudiciales para los humanos. Las principales aplicaciones de las redes de áreas corporales se encuentran en los campos de la medicina y el entretenimiento (Betancur, 2011 pág. 12).

2.1.2 Redes inalámbricas de área personal o WPAN

LAN inalámbrica o WPAN (red de área personal inalámbrica) es una red personal inalámbrica. La principal característica de este tipo de redes es que concentran los sistemas de comunicación en un área típica de 10 metros alrededor de una persona o dispositivo, ya sea móvil o no. A diferencia de una red de área local (WLAN), una conexión establecida mediante una WPAN implica poca infraestructura o conexión directa con el mundo exterior. Estas tecnologías también se esfuerzan por utilizar los recursos de manera eficiente, por lo que se diseñan protocolos simples y óptimos para cada necesidad de comunicación y aplicación (Archundia, 2003 pág. 3).

El término "Red de área personal" (PAN) pretende describir estos diferentes tipos de redes. Una versión desconectada o sin ataduras de este concepto es el concepto WPAN. Se puede pensar en WPAN como una burbuja de comunicación personal alrededor de una persona. En esta burbuja que se mueve como personas, los dispositivos personales se podrán conectar entre sí (Archundia, 2003 pág. 3).

2.1.3 *Redes inalámbricas de área local o WLAN*

Las redes de área local inalámbricas (WLAN) están diseñadas para proporcionar acceso inalámbrico con un alcance típico de hasta 100 metros y se utilizan principalmente en el hogar, la escuela, la sala de ordenadores o la oficina. Permite a los usuarios moverse por el área de cobertura local y permanecer conectados a la red. WLAN se basa en el estándar IEEE 802.11 y se comercializa bajo la marca Wi-Fi. Otros estándares, como HIPERLAN, nunca lograron mucha adopción comercial debido a la competencia. El estándar IEEE 802.11 es más fácil de implementar y más rápido de comercializar (Genially, 2023).

2.1.4 *Redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN*

Las redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN). Fundamentado en el estándar IEEE 802.16, posee un alcance de 4 a 10 kilómetros, por lo que es muy favorable para compañías de telecomunicaciones. WiMAX es considerada la mejor tecnología inalámbrica, puede lograr una velocidad aproximada de 70 Mbps en un radio de varios kilómetros (Carrión et al., 2016 pág. 31).

2.1.5 *Redes inalámbricas de área amplia o WWAN*

Estas redes se basan en tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz (Carballar, 2007 págs. 4-5).

Las redes inalámbricas tipo WAN poseen de manera obligatoria antenas y torres, las cuales transmiten las ondas de radio utilizando las microondas como tecnología para acceder a los enlaces de redes de área local, utiliza enlaces punto- punto y punto-multipunto. Poseen varias utilidades ya que pueden servir para llegar con acceso a las redes de comunicaciones en lugares donde el cableado sería muy costoso en especial en sectores rurales y difícil acceso (Carrión et al., 2016 pág. 31).

La revolución de este siglo orientado a las tecnologías inalámbricas recae sobre WIFI, WIMAX, GSM ya que actualmente son las más usadas, estas tecnologías son las causantes en gran magnitud

del fenómeno conocido como movilidad y conexión remota. Los dispositivos inteligentes que en su pasado eran denominados fijos y poseían protección de manera perimetral, ahora son móviles y rotan por todo el mundo, ha esto se lo denomina movilidad (Carrión et al., 2016 pág. 31).

2.2 Sistemas de posicionamiento global

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de posicionamiento desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; Funciona desde 1995 y utiliza una red informática y una constelación de 24 satélites para triangular la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie de la Tierra (Herring, 1996 págs. 32-38).

En el sector civil, por motivos de seguridad, sólo se permite la degradación parcial de la señal GPS. Sin embargo, la comunidad civil ha encontrado soluciones alternativas para lograr la mayor precisión de localización utilizando los llamados métodos diferenciales. Gracias a ellos, el uso civil ha aumentado notable y actualmente existen más de 70 fabricantes de receptores GPS (Herring, 1996 págs. 32-38).

2.2.1 Funcionamiento del sistema de posicionamiento global

La ubicación de cualquier punto es posible si existe un sistema de referencia en el que se conoce la ubicación exacta del punto de partida del sistema. Los sistemas de posicionamiento global basados en satélites requieren un sistema de coordenadas mundial fijo, es decir, un sistema de coordenadas que pueda determinar de forma inequívoca la ubicación de cualquier punto de la Tierra. Entre los sistemas existentes, el Departamento de Defensa de Estados Unidos eligió el sistema de coordenadas geocéntricas conocido como WGS84 (World Geodetic System 1984). Este sistema de referencia global tiene la gran ventaja de no depender de datos geodésicos locales, como por ejemplo el sistema de referencia de un país o región. Cuando se utilizan datos de geo receptor para mapeo local, el usuario debe seleccionar el datum apropiado o luego realizar la conversión del datum (Fallas, 2002 págs. 6-9).

Una vez que se haya determinado su sistema de referencia, sólo se necesita saber la distancia de tres puntos de referencia para estimar la posición del objeto. En circunstancias normales, para determinar el tiempo transcurrido entre el envío de una señal por parte del emisor y su recepción por parte del receptor, es necesario sincronizar los relojes del emisor y del receptor. Sin embargo,

este requisito puede evitarse en un sistema de posicionamiento global basado en satélites utilizando satélites de posicionamiento adicionales (Fallas, 2002 págs. 6-9).

Los geo receptores tienen relojes de cuarzo, no atómicos, por lo que su precisión es menor que antes. Esto conduce a errores sistemáticos (subestimación o sobreestimación) en las mediciones del tiempo, pero este error es el mismo para todos los satélites. Debido a este error, las lecturas de tiempo se denominan "pseudointervalos" (el término "rango" se refiere a la diferencia entre dos valores: valor final - valor inicial). Resolver esta incógnita en el sistema requiere un sistema de ecuaciones con cuatro incógnitas: una representa la posición X, otra representa la posición Y, la tercera representa la altura y la cuarta representa el error en el reloj del receptor. Por lo tanto, los usuarios necesitan al menos cuatro satélites para determinar la posición 3D (X, Y, Z) (Fallas, 2002 págs. 6-9).

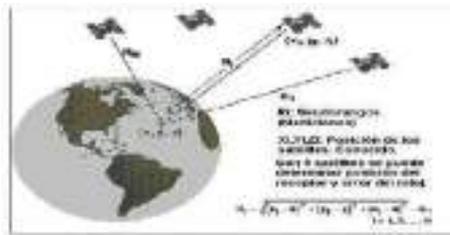


Ilustración 2-1: Medición de pseudo distancias.

Fuente: Enge y Misra, 1999.

2.2.1.1 Método de triangulación

Cada satélite envía una serie de señales codificadas que el receptor terrestre puede decodificar y así estimar el tiempo necesario para que la señal viaje desde el satélite GPS Navstar (remitente) hasta el receptor. Luego, el receptor detecta la diferencia en el tiempo y finalmente determina la distancia utilizando la velocidad de la luz. Los receptores terrestres determinan la distancia utilizando el tiempo de viaje de la señal (Fallas, 2002 págs. 6-9).

A continuación, se explica él porque es necesario al menos 3 satélites para determinar la posición de punto sobre la superficie de la Tierra.

- **Un satélite:** Cuando recibimos señales de satélites, sabemos que estamos en una esfera imaginaria con un radio de 26.560 km, como se puede ver en la Ilustración 2-2. Esto nos sitúa en algún lugar del sistema solar; Sin embargo, esto no es lo suficientemente preciso como para satisfacer nuestra necesidad de saber dónde nos encontramos en la Tierra (Fallas, 2002 págs. 6-9).

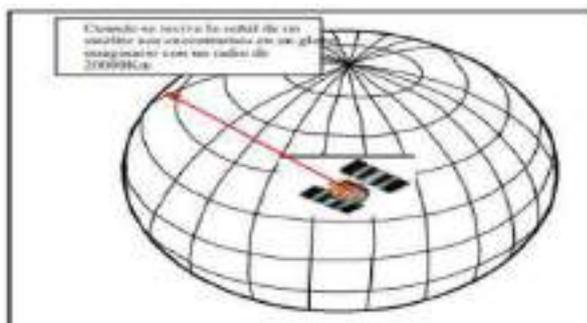


Ilustración 2-2: Método de triangulación: 1 satélite

Fuente: Fallas, 2002.

- **Dos satélites:** A partir de las mediciones de distancia de los dos satélites se pueden determinar dos esferas, cuya superficie total determina a su vez el tercer círculo, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 2-3. Este círculo determina dónde estamos en el Universo. Aunque hemos reducido la incertidumbre sobre nuestra posible ubicación, todavía no es lo suficientemente precisa como para satisfacer nuestra necesidad de saber dónde estamos (Fallas, 2002 págs. 6-9).

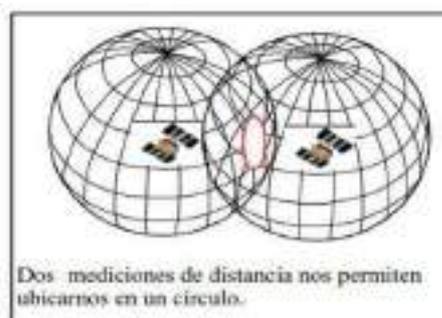


Ilustración 2-3: Método de triangulación: 2 satélites.

Fuente: Fallas, 2002.

- **Tres satélites:** Añadiendo un tercer satélite se creará una tercera esfera, que a su vez capturará las dos primeras esferas en dos puntos, en la Ilustración 2-4 se puede apreciar la creación de los dos puntos. Por tanto, el receptor limita su posible posición a dos puntos de la Tierra. Para determinar cuál de los dos puntos es el correcto, se necesita un cuarto satélite, que creará otra esfera cuya circunferencia toca sólo uno de los dos puntos determinados. En la práctica, se utiliza un cuarto satélite para sincronizar la hora del receptor con la hora del reloj atómico. Por lo tanto, se pueden utilizar relojes más baratos y menos precisos en los receptores portátiles (Fallas, 2002 págs. 6-9).



Ilustración 2-4: Método de triangulación: 3 satélites.

Fuente: Fallas, 2002.

2.3 Tecnologías inalámbricas del largo alcance y baja potencia (LPWAN)

Con el rápido desarrollo de la tecnología IoT, existen cada vez más aplicaciones prácticas en campos como la agricultura, seguridad, medición inteligente, seguimiento de activos, ciudades inteligentes, etc.; el largo alcance, bajo consumo de energía y bajo costo, baja velocidad de datos son algunos requisitos especiales que tienen estas aplicaciones de IoT. ZigBee, Bluetooth son tecnologías de radio de corto alcance que no son adecuadas para los requisitos de transmisión de larga distancia, mientras que las soluciones móviles (2G, 3G y 4G) pueden proporcionar un mayor alcance, pero consumen demasiada energía del dispositivo (Machado, 2019 pág. 7).

Debido a estos inconvenientes con las tecnologías mostradas anteriormente nacen las tecnologías LPWAN las cuales cumplen los requisitos de IoT tales como transmisión a larga distancia, bajo consumo energético, baja velocidad de datos y un costo moderado, en la Ilustración 2-5 y 2-6 se puede apreciar las ventajas que tienen las tecnologías LPWAN frente a las tecnologías tradicionales de comunicaciones inalámbricas

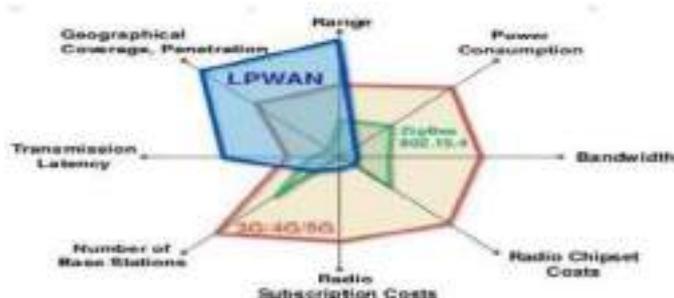


Ilustración 2-5: Características de diferentes tecnologías inalámbricas.

Fuente: Waviot, 2023.

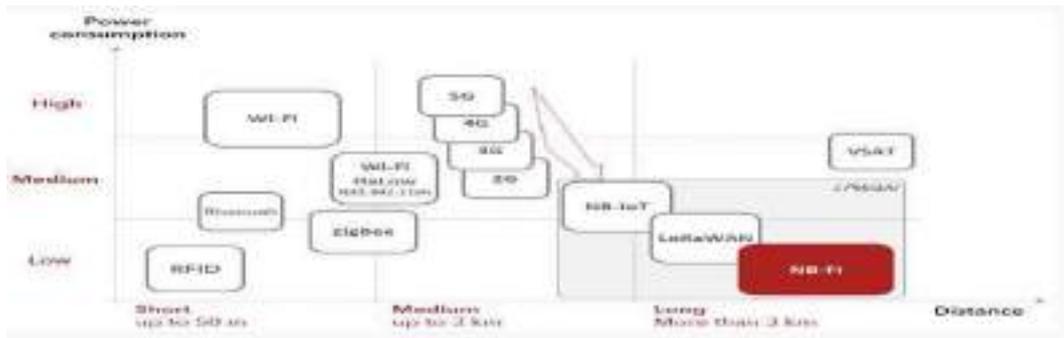


Ilustración 2-6: Comparación de distancia vs consumo energético entre distintas tecnologías inalámbricas.

Fuente: Waviot, 2023.

Actualmente, en el mercado existen diversas tecnologías LPWAN que cumplen con los requisitos de la industria del Internet de las Cosas para conectar una gran cantidad de dispositivos emergentes (Hernández, 2020 pág. 11):

- Batería de larga duración: el bajo nivel de señal garantiza una larga duración de la batería (Hernández, 2020 pág. 11).
- Bajo costo: Los protocolos LPWAN simples y livianos reducen la complejidad en el diseño de hardware, reduciendo así los costos (Hernández, 2020 pág. 11).
- Amplia cobertura: la cobertura LPWAN varía desde unos pocos kilómetros en áreas urbanas hasta más de 10 kilómetros en áreas rurales. Esto también garantiza una transmisión de datos eficiente en interiores y bajo tierra (Hernández, 2020 pág. 12).
- Bajo consumo de energía: los transceptores LPWAN de energía optimizada pueden funcionar con baterías pequeñas y económicas por hasta 20 años (Hernández, 2020 pág. 12).
- Admite una gran cantidad de dispositivos: Con un nivel de señal bajo, admite una gran cantidad de dispositivos (Hernández, 2020 pág. 12).

Existen varias tecnologías LPWAN las cuales tienen una gran variedad de aplicaciones entre ellas podemos encontrar: SigFox, LoRa, NB-IoT, LTE-M, etc.

2.3.1 Sigfox

SigFox es una empresa francesa fundada en el año 2009, esta es una red IoT pensada para tener un bajo consumo de energía y ser independiente de los despliegues de telefonía. Ofrece servicios principalmente al mundo de las M2M (Machine to Machine). SigFox tiene una limitación a 140

paquetes al día y cada paquete tiene 12 bytes obteniéndose una velocidad de transmisión de 0,3 a 50kbps (SigFox, 2023).

Los dispositivos de SigFox trabajan en la banda de 962 MHz a 928 MHz, estos dispositivos están casi siempre en modo espera lo que les permite consumir muy poca energía, debido a su bajo consumo de energía una batería podría llegar a tener una vida útil de hasta 10 años (SigFox, 2023).

2.3.2 NB-IoT

NB-IoT es una tecnología celular, utiliza bandas celulares y está diseñada para operar de diversas maneras, incluido el uso de bandas GSM, el uso de la banda LTE y así compartirla (en banda), o incluso aprovechar el espacio entre los canales LTE para utilizar el espectro de comunicación (banda de guarda) de la manera más eficiente posible. A diferencia de las otras tecnologías LPWAN, NB-IoT es nativo de la arquitectura LTE y debe coexistir con esta tecnología sin provocar cambios estructurales y arquitectónicos en la red móvil. Esto significa una complejidad significativamente mayor que la de los competidores LPWAN. NB-IoT es una tecnología semidúplex que proporciona comunicación ascendente de forma eficiente, es decir, permite la conexión a redes móviles, asignando recursos de red al nodo (llamado, por ejemplo, Equipo de usuario o UE) y transmisión de datos (EIMT, 2018).

2.3.3 LTE-M

Se trata de un estándar de baja complejidad y velocidad de datos destinado a su desarrollo en el rango de frecuencias inferior a 1 GHz. Está optimizado para la comunicación de dispositivo a dispositivo de bajo consumo, pero aún no es tan eficiente energéticamente como otros competidores. Existen versiones de este estándar, como 3GPP, que admiten una velocidad de datos máxima de 1 Mbit/s. Otra opción, como NB-LTE-M, reduce el ancho de banda de 1,4 MHz a 0,2 MHz, pero aumenta el alcance a 15 km. Una de las principales ventajas es que utiliza redes móviles existentes, por lo que no se necesita implementación adicional. Aunque esto tiene sus desventajas ya que el soporte depende de la disponibilidad y cobertura del proveedor (Lodovico, 2018 págs. 12-13).

2.3.4 LoRa

LoRa es una técnica de modulación centrada en IoT que utiliza la banda ISM, aunque puede funcionar en cualquier frecuencia por debajo de 1 GHz. Esta frecuencia se utiliza porque siempre que se cumplan los valores de emisión se puede utilizar sin licencia (Hernández, 2020 pág. 14).

Sus principales características son (Hernández, 2020 pág. 14):

- Opera en la banda de 433 MHz en Asia, 868 MHz en Europa y 915 MHz en Estado Unidos (Hernández, 2020 pág. 14).
- El esquema de modulación es un tipo de modulación llamado DSSS (Hernández, 2020 pág. 14).
- Chirp Spread Spectrum (CSS), que proporciona conexiones de bajo costo y bajo consumo, libres de interferencias y del efecto Doppler (Hernández, 2020 pág. 14).
- Las técnicas de limitación dinámica (ADR) permiten que el terminal o la red ajuste dinámicamente la configuración de potencia de transmisión y las velocidades de transmisión dependiendo de la distancia entre el terminal y la puerta de enlace y el tamaño del mensaje. Esto le permite lograr una comunicación energéticamente eficiente a la mayor velocidad posible (Hernández, 2020 pág. 14).
- Espectro ensanchado, en el que la señal transmitida utiliza más ancho de banda del que es teóricamente necesario, pero permite recibir múltiples señales simultáneamente a diferentes velocidades (Hernández, 2020 pág. 14).
- Se utilizan 6 factores de expansión (SF7 – SF12), para cada uno de los cuales se determina la relación entre potencia y velocidad de transmisión. Cuanto mayor sea el valor SF, mayor será la sensibilidad del receptor y, por tanto, mayor será el rango operativo, pero la velocidad disminuirá (Hernández, 2020 pág. 15).
- Las velocidades varían desde 0,3 kbps para SF12 hasta 5486 kbps para SF7 (Hernández, 2020 pág. 15).
- Sensibilidad de recepción de -137 dBm para SF12 y -123 para SF7 (Hernández, 2020 pág. 15).
- Autonomía de funcionamiento 14 km para SF12 y 2 km para SF7 (Hernández, 2020 pág. 15).

2.4 LoRaWAN

La especificación abierta LoRaWAN es un estándar de red de área amplia de bajo consumo (LPWAN) administrado por LoRa Alliance®, una alianza tecnológica sin fines de lucro. Diseñado para conectar de forma inalámbrica dispositivos que funcionan con baterías a Internet a través de redes regionales, nacionales o globales, el ecosistema LoRaWAN incluye 181 operadores de red con redes en todos los continentes habitados. Esta infraestructura permite el

despliegue inmediato de soluciones y facilita la interacción de los dispositivos conectados. Las redes LoRaWAN públicas, privadas e híbridas están disponibles en todo el mundo (Semtech, 2023).

El estándar LoRaWAN cumple con los parámetros del Internet de las cosas, como la comunicación en dos vías, la seguridad de un extremo a otro, la movilidad y los servicios de geolocalización. LoRaWAN utiliza espectro de radio sin licencia en las bandas industrial, científica y médica. La especificación define la infraestructura del dispositivo de acuerdo con los parámetros de la capa física LoRa® y el estándar LoRaWAN, como se puede apreciar en la Ilustración 2-7, al tiempo que garantiza una interoperabilidad perfecta entre fabricantes. El estándar LoRaWAN está reconocido como estándar LPWAN por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la agencia especializada en tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) de las Naciones Unidas (Semtech, 2023).

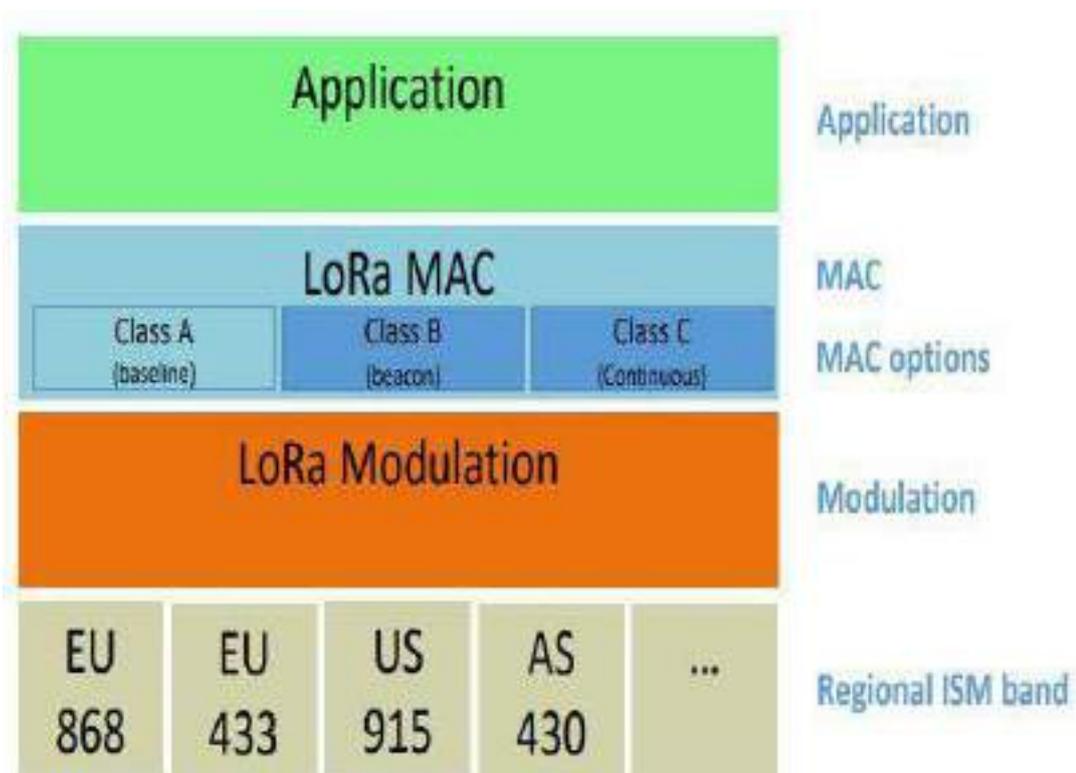


Ilustración 2-7: Distribución de capas de LoRaWAN.

Fuente: Sorni, 2016.

2.4.1 Clases de LoRaWAN

En una red LoRaWAN, los dispositivos se dividen en tres clases, determinadas en función de sus capacidades: Clase A, Clase B y Clase C.

Todos los dispositivos deben cumplir al menos con la funcionalidad especificada para la Clase A, pero con la posibilidad de agregar las características de la clase B y/o C si se desea. Además, los dispositivos de los tres tipos pueden coexistir en la misma red LoRaWAN, y los dispositivos finales pueden cambiar la configuración y operar bajo cualquiera de estos tipos según sus necesidades (Sornin, 2016 pág. 6).

Dispositivos finales bidireccionales (Clase A): Los dispositivos finales de Clase A proporcionan comunicación bidireccional, y la transmisión de enlace ascendente de cada punto final sigue dos breves ventanas de recepción de enlace descendente. El intervalo de transmisión lo programa el dispositivo final en función de sus propias necesidades de comunicación, con pequeñas variaciones basadas en temporizaciones aleatorias. En la Clase A los dispositivos finales requieren comunicación de enlace descendente con el servidor sólo inmediatamente después de que el dispositivo final envía una transmisión de enlace ascendente. La comunicación de enlace descendente con el servidor en cualquier otro momento tendrá que esperar hasta el próximo enlace ascendente preprogramado (Burbano, 2017 pág. 13).

Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción programadas (Clase B): Las terminales de clase B proporcionan más espacio de recepción. Además de las ventanas de recolección aleatorias de Clase A, los dispositivos de Clase B abrirán ventanas de recolección adicionales en horarios programados. Para que el dispositivo terminal abra la ventana de recepción en un momento predeterminado, recibe una señal de baliza sincronizada en el tiempo desde la puerta de enlace. Esto le permite al servidor saber cuándo el dispositivo final está escuchando (Burbano, 2017 pág. 13).

Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción máximas (Clase C): La ventana para recibir equipos terminales Clase C está casi siempre abierta, silenciada sólo durante la transmisión. Los dispositivos finales de clase C consumen más energía que los dispositivos finales de clase A o B, pero proporcionan la latencia más baja para la comunicación entre el servidor y el dispositivo final (Burbano, 2017 pág. 14).

2.4.2 Parámetros regionales de LoRaWAN para Ecuador

Las aplicaciones LoRaWAN están presentes en todo el mundo, pero las especificaciones varían de región a región. En la Ilustración 2-8 se muestra que las aplicaciones LoRaWAN están bien definidas para la Región de Europa y América del Norte. Para una parte de Asia, sólo la frecuencia de banda, las demás especificaciones están siendo definidas por el comité técnico.

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8				
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	600kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps-50kbps	990bps-21.6kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Ilustración 2-8: Parámetros regionales de LoRaWAN

Fuente: Medium, 2023.

En los parámetros regionales 1.3.0 de LoRaWAN define que en Ecuador se deberá usar la banda de 902 – 928 MHz con el plan de canal de US 902-928 por lo cual se profundizará más en este canal.

La banda US 902-928 Se divide en los siguientes planes de canales (LoRa Alliance, 2018 págs. 21-22):

- Upstream: 64 canales, numerados del 0 al 63, que utilizan LoRa 125 kHz BW, que varían de DR0 a DR3, utilizan una velocidad de codificación 4/5, comenzando en 902.3 MHz y aumentando linealmente de 200 kHz a 914.9 MHz.
- Upstream: 8 canales, numerados del 64 al 71, que utilizan LoRa 500 kHz BW en DR4, comenzando en 903.0 MHz e incrementándose linealmente en 1.6 MHz hasta 914.2 MHz.
- Descendente: 8 canales, numerados del 0 al 7, que utilizan LoRa 500 kHz BW en DR8 a DR13, comenzando en 923,3 MHz y aumentando linealmente en 600 kHz hasta 927,5 MHz.
- Los dispositivos finales de la banda AU915-928 pueden utilizar una PIRE máxima de +30 dBm.
- Los dispositivos finales US 902-928 deben ser capaces de operar en la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz y deben presentar una estructura de datos de canal para almacenar los parámetros de 72 canales.

En la Ilustración 2-9 se puede apreciar los canales tanto de subida como de bajada para la banda US 902-928.

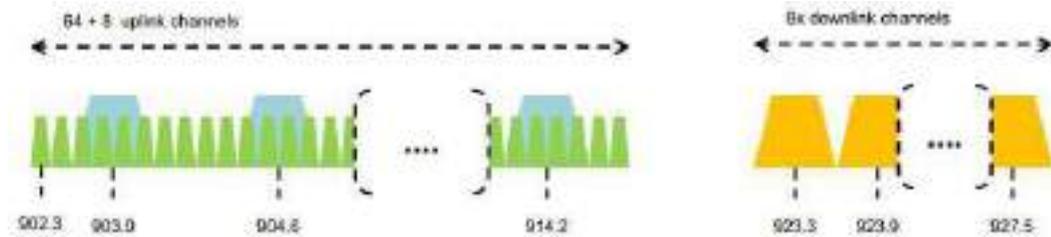


Ilustración 2-9: US 902-928 Frecuencias del canal

Fuente: LoRa Alliance 2018.

2.4.3 Seguridad en una red LoRaWAN

Como cualquier sistema de comunicación inalámbrica, la red LoRaWAN está sujeto a diversos tipos de ataques que pueden afectar su funcionamiento (por ejemplo, denegación de servicio) y violar la integridad y confidencialidad de los mensajes transmitidos. Por tanto, es necesario implementar mecanismos que aseguren la autenticación mutua entre dispositivos y aplicaciones, minimizando el riesgo de robo de identidad y ataques de repetición. También es importante proteger adecuadamente la integridad y el cifrado de los mensajes (Modernell, 2020 pág. 17).

La seguridad en las redes LoRaWAN utiliza un estándar avanzado de cifrado de clave simétrica de 128 bits (AES-128) para garantizar la autenticidad, integridad y confidencialidad anteriores datos. Para proteger la confidencialidad de los mensajes entre el dispositivo y la aplicación mediante el cifrado simétrico, definido en el modo de operación AES-CCM del estándar IEEE 802.15.4-2011 (Modernell, 2020 pág. 17).

Los dispositivos y aplicaciones de bajo consumo deben utilizar la clave de cifrado de clave de sesión de aplicación (AppSKey) correcta para cada sesión de comunicación. Por otro lado, para realizar la verificación de la integridad del mensaje, se utiliza el modo operativo AES-CMAC definido en RFC4493 con otra clave de sesión en la capa de red llamada clave de sesión de red (NwkSKey), en la Ilustración 2-10 se pueden ver las diferentes claves de sesión usadas en la red LoRaWAN (Modernell, 2020 pág. 17).

Dependiendo del método de activación utilizado las claves de sesión se renuevan dinámicamente o permanecen fijas toda la vida útil del dispositivo.

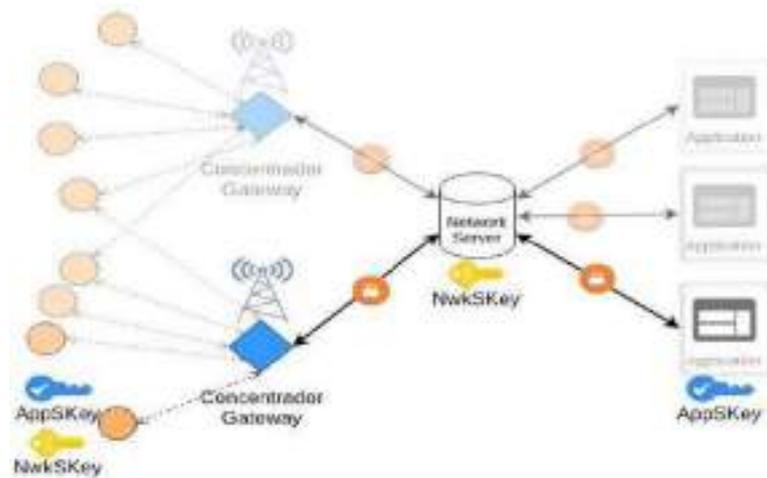


Ilustración 2-10: Claves de sesión en una red LoRaWAN.

Fuente: Modernell, 2020.

2.4.4 Inicio de sesión

La activación de un dispositivo en una red LoRaWAN implica la creación y distribución de claves de sesión, así como la asignación de identificadores. Estos identificadores y claves se definen para cada sesión de un dispositivo (Modernell, 2020 pág. 19).

- DevAddr: Es una dirección corta de 32 bits asignada por la red LoRaWAN a cada dispositivo y es válida durante toda la sesión. No es necesario que sea única y consta de un identificador de red (NwkID) en los 7 bits más significativos y los 25 bits restantes de la dirección de red del dispositivo (NwkAddr) (Modernell, 2020 pág. 19).
- AppSKey: Se trata de una clave de sesión utilizada para la encriptación de los datos de la capa de aplicación y se comparte entre cada dispositivo y el Servidor de Aplicación (Modernell, 2020 pág. 19).
- NwkSKey: Es una clave de sesión utilizada para generar el código de integridad del mensaje (MIC) y encriptar los comandos MAC. Esta clave se comparte entre el dispositivo y el Servidor de Red (Network Server) (Modernell, 2020 pág. 19).

Cada dispositivo tiene conocimiento de sus propias claves y dirección de red corta. Además, en cada componente de la red LoRaWAN se conoce lo siguiente (Modernell, 2020 pág. 19):

En el Servidor de Red:

- NwkSKey: Es la clave de sesión de red compartida con el dispositivo (Modernell, 2020 pág. 19).

DevAddr: El servidor conoce este parámetro para cada dispositivo, lo que permite el mapeo correcto con la aplicación después de verificar la integridad del mensaje utilizando la NwkSKey correspondiente a la sesión del dispositivo (Modernell, 2020 pág. 19).

En el Servidor de Aplicación:

- AppSKey: Se comparte una segunda clave de sesión con el dispositivo para cifrar los datos (Modernell, 2020 pág. 19).

Una vez que se han configurado estos parámetros, el dispositivo puede enviar mensajes que serán recibidos por un Gateway LoRa conectado a la red LoRaWAN y reenviados al servidor de Red (Modernell, 2020 pág. 19).

2.4.5 Métodos de activación de dispositivos

LoRaWAN define 2 métodos de activación de dispositivos, para lograr que estos dispositivos obtengan las claves e identificadores necesarios para establecer la comunicación con los servidores LoRaWAN.

2.4.5.1 Activation by Personalization (ABP)

La forma más sencilla de activar un dispositivo y preparar la sesión para enviar datos es habilitar la Activación mediante Personalización (ABP). En este método de activación, el dispositivo se configura con claves de sesión persistentes y una dirección de red (DevAddr) las cuales serán fijas siempre, para que el servidor de aplicaciones y el servidor web tengan constancia que el dispositivo se ha activado mediante ABP y proporcionen claves de sesión AppSKey y NwkSKey respectivamente (Modernell, 2020 págs. 20-37).

Si bien habilitar ABP puede ser conveniente en algunos casos, es recomendable usarlo solo cuando no existan otras alternativas porque introduce un riesgo de seguridad debido a la imposibilidad de actualizar las claves de sesión. Los dispositivos son más susceptibles a ataques de fuerza bruta para descubrir las claves que se utilizan y es más difícil determinar métodos para mover dispositivos a nuevas redes debido a que es necesario que exista un método de seguridad para transferir claves de una red a otra (Modernell, 2020 págs. 20-37).

2.4.5.2 *Over the Air Activation (OTAA)*

Una opción implementada para mejorar la seguridad y dificultad al configurar dispositivos es la activación inalámbrica (OTAA). Con este método de activación, la red LoRaWAN tiene una lista de dispositivos que pueden comunicarse y compartir una clave maestra con cada uno. El dispositivo conoce la dirección del servidor con el que quiere autenticarse y en base a la información compartida se determina una serie de mensajes (Modernell, 2020 pág. 21).

- **Join Request:** Es un mensaje que un dispositivo envía a la red, indicando su identidad y la identidad de la aplicación con la que quiere comunicarse. Este mensaje no está cifrado para que cualquiera pueda ver su contenido, pero está firmado para garantizar que proviene del dispositivo (Modernell, 2020 pág. 22).
- **Join Accept:** Los mensajes son generados por el servidor responsable de la gestión de la sesión y enviados al dispositivo como respuesta. El mensaje está cifrado para que solo el dispositivo pueda ver su contenido, que incluye la clave de sesión y la dirección de red asignada al dispositivo (Modernell, 2020 pág. 22).

Para comenzar a intercambiar mensajes JOIN que activen dispositivos, se deben definir los siguientes parámetros y claves en cada componente involucrado (Modernell, 2020 pág. 22).

En dispositivos de bajo consumo:

- **DevEUI:** Identificador único a nivel mundial conforme al estándar IEEE EUI64, normalmente asignado por el fabricante.
- **Application Key (AppKey):** clave raíz (AES-128) utilizada para generar claves de sesión. Entre el dispositivo compartido y el servidor responsable de la generación de claves: en versiones de protocolo hasta V1.0.3.
- **AppEUI:** identificador del servidor de aplicaciones, global y único según el estándar IEEE EUI64. Desde LoRaWAN 1.1, este identificador se llama JoinEUI.

Servidor de aplicaciones:

- Registro en la lista de dispositivos que pueden iniciar sesión con DevEUI y la AppKey correspondiente.
- AppEUI

2.4.6 Arquitectura de una red LoRaWAN

Arquitectura de red La arquitectura de red LoRaWAN es una topología de estrella a estrella, que incluye múltiples dispositivos como se puede ver en la Ilustración 2-11.

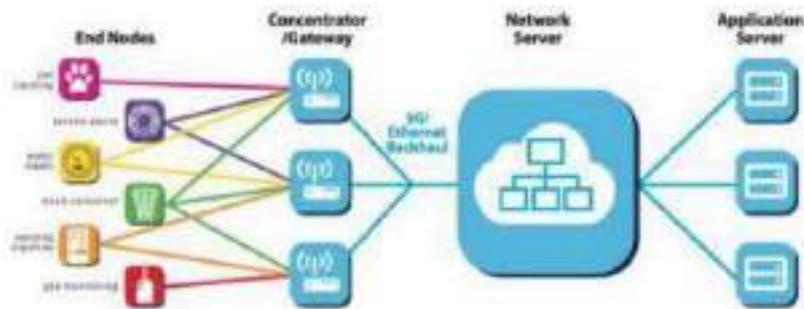


Ilustración 2-11: Arquitectura de una red LoRaWAN

Fuente: Medium, 2023.

La arquitectura de la red se compone básicamente de la siguiente manera (Sornin, 2016):

- **Los dispositivos finales** se comunican con las puertas de enlace LoRa con LoRaWAN, estas puertas de enlace reenvían tramas LoRaWAN entrantes a una interfaz de backhaul con una tasa de mayor transferencia, utilizando una red tipo Ethernet o 3G.
- **Las puertas de enlace** solo se utilizan como convertidores de paquetes o relés bidireccionales, solo pasando paquetes de los dispositivos a la red y de la red de regreso a los dispositivos, ajustando la decodificación de paquetes para la red.
- **Servidor de red** procesa los mensajes recibidos desde los nodos finales y se encarga de los aspectos de autenticación, encriptación, mensajes duplicados en la red, control de transmisión de los nodos, gestión de tráfico y redirección hacia aplicaciones como plataformas IoT.
- **Aplicaciones** son los servidores de aplicación y p plataformas IoT utilizan la carga útil de los nodos remotos para generar información productiva para los usuarios finales del sistema a través de interfaces gráficas de usuario.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se abordará el diseño e implementación de un sistema para localización de niños de edades entre 0 y 11 con tecnología LoRaWAN en ambientes abiertos de alta concurrencia, para su desarrollo es necesario establecer fases para la realización del diseño e implementación.

Las fases por desarrollar se han definido de la siguiente forma:

1. Análisis de requerimientos
2. Evaluación de hardware y software
3. Diseño del prototipo
4. Implementación del sistema

3.1 Análisis de requerimientos

Debido a que el sistema de localización de niños se implementará en ambientes abiertos de alta concurrencia es importante establecer requisitos que permitan localizar a los niños a la mayor distancia posible. Esto debe llevarse a cabo teniendo en cuenta que el dispositivo debe ser portátil, garantizando que los niños puedan participar en sus actividades diarias sin ningún malestar. Para cumplir con estos requisitos se plantean los siguientes requerimientos:

1. El dispositivo debe ser portátil y de bajo costo.
2. El dispositivo LoRa Gateway debe estar colocado en un lugar estratégico para que pueda abarcar la mayor cobertura posible.
3. El dispositivo LoRa Gateway debe admitir la operación de varios canales para que los datos enviados por diferentes dispositivos no entren en conflicto.
4. Es necesario que se limite un área de funcionamiento para que en el caso de que el niño salga de esta área se envíe una alerta instantáneamente a los padres o tutores.
5. La información debe estar siempre disponible para cuando los padres quieran consultar la ubicación de su hijo.
6. Es necesario disponer de una base de datos para almacenar el recorrido del niño, la cual es información de vital importancia en el caso de que el niño sea secuestrado o se pierda.

3.2 Evaluación de hardware y software

El hardware por utilizar en el sistema de localización de niños con tecnología LoRaWAN debe cumplir con ciertos parámetros como la portabilidad para que los niños lo lleven todo el tiempo. Por lo tanto, es necesario usar hardware que sea adecuado para el proyecto.

El proceso de elección de materiales se hará de adecuado al tamaño y peso del dispositivo, así como la durabilidad, el mecanismo de montaje y la comodidad de este, este debe ser apto para niños y de fácil uso.

Para la selección del hardware que componen el sistema de rastreo de niños, se utilizará el método denominado “Escala de Likert”, este método consiste en asignar indicadores para realizar puntuaciones a las cualidades de los dispositivos, tal y como se muestra en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Escala de Likert para valoración de dispositivos

Escala de Likert			
0	1	2	3
Malo	Regular	Bueno	Muy bueno

Fuente: (Fernandez de Piñedo, 1982)

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.2.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. (Naranjo Ordoñez y Chilinguina Chilinguina, 2010 pág. 50)

3.2.1.1 Módulo GPS

En el mercado existen varios módulos GPS, se han escogido los siguientes debido a sus beneficios y popularidad. En la tabla 3-2 se presentan las especificaciones de los diferentes módulos GPS.

Tabla 3-2: Comparación de módulos GPS

Modulo GPS	Modulo GPS UBLOX NEO- 6M	Modulo GPS UBLOX NEO- 7M	Modulo GPS UBLOX NEO-M8N
Voltaje de operación	2.7 – 3.6 V	1.65 - 3.6V	2.7 – 3.6 V
Consumo en búsqueda	67 mA	67 mA	67 mA
Consumo en tracking	11mA	17 mA	25 mA
Velocidad del puerto serial	9600 baudios	9600 baudios	9600 baudios
Dimensiones	25mm*35mm	25mm*35mm	16.1mm*12.3mm
Precisión	2.5m – 15m	2.5m – 15m	2.5m – 15m
Precio	\$ 12.90	\$ 15.60	\$20.60

Fuente: (u-blox, 2011) (u-blox, 2014) (u-blox, 2022)

Realizado por: Asqui J., 2023.

El voltaje de alimentación debe estar acorde a la batería que se use para garantizar un consumo energético estable. El dispositivo trabaja en 2 modos de operación conexión y seguimiento, es esencial que durante ambos modos se tenga el menos consumo energético posible

La velocidad del puerto serial debe ser rápida para garantizar una actuación de datos en tiempo real.

Las dimensiones del dispositivo son importantes debido a que se implementaran en niños debe ser suficientemente pequeña para que no interfiera con las actividades del niño.

La precisión del dispositivo resulta tener una prioridad pues el sistema debe tener una variación de pocos metros para que los padres de familia tengan la seguridad que de los datos visto sean los más exactos posibles.

El costo del dispositivo debe ser accesible para la población general pues se intenta llegar a la mayor población posible, por lo tanto, debe ser barato.

En la tabla 3-3 se muestra las ponderaciones otorgadas a cada una de las características que poseen los módulos GPS.

Tabla 3-3: Ponderación de acuerdo con las características de los módulos GPS

Modulo GPS	Modulo GPS UBLOX NEO- 6M	Modulo GPS UBLOX NEO- 7M	Modulo GPS UBLOX NEO-M8N
Voltaje de operación	2	3	2
Consumo en búsqueda	3	3	3
Consumo en tracking	3	2	1
Velocidad del puerto serial	3	3	3
Dimensiones	2	2	3
Precisión	3	3	3
Precio	3	2	1
Total	18	17	16

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez se ha realizado el análisis mediante el método de la tabla de Likert, se determinó que el GPS Neo-6M es la mejor opción ya que este módulo cumple con todos los requisitos esenciales del proyecto. El rango de voltaje es adecuado para la batería que usara la cual es de 3.7v.

Su consumo energético en modo track es de 11 mA el cual es relativamente bajo. El costo del Neo-6M es bajo en comparación con los otros módulos GPS. El módulo NEO-6M obtuvo un total de 18 puntos en la sumatoria total mientras que los otros módulos obtuvieron 17 y 16 puntos.

3.2.1.2 *Sensor de temperatura*

Un sensor de temperatura es un dispositivo que detecta y mide la temperatura de un entorno o de un objeto específico.

En el mercado existen varios sensores de temperatura de los cuales se han escogido los siguientes sensores para realizar el análisis. En la tabla 3-4 se presentan las especificaciones técnicas de los diferentes sensores de temperatura.

Tabla 3-4: Comparación de sensores de temperatura

Sensores de temperatura	Sensor de temperatura DHT11	Sensor de temperatura MLX90614	Sensor de temperatura lm35
Voltaje de operación	3.3 – 5V	3 – 5 V	4v
Consumo de energía	2.5 mA	2 mA	< 60uA
Dimensiones	15.5mm * 12mm	12mm*17mm	5.2mm*14.2mm
Temperatura de operación	0 a 50 °C	-40 a 125 °C	-55 a 150 °C
Tipo de sensor	Analógico	Digital	Analógico
Precio	\$ 3.25	\$ 15.00	\$2.00

Fuente: (D-Robotics) (Melexis Inspired engineering, 2019) (Texas instruments, 2017)

Realizado por: Asqui J.,2023.

El voltaje de alimentación debe estar acorde a la batería que se use para garantizar un consumo energético estable.

El consumo energético del sensor de temperatura debe ser bajo para extender la vida útil de la batería.

Las dimensiones del sensor de temperatura son importantes debido a que se implementaran en niños debe ser suficientemente pequeña para que no interfiera con las actividades del niño.

La temperatura de operación debe estar en un rango de 0 y 40 grados que es la temperatura promedio del niño.

La elección de un sensor analógico o digital determinara la velocidad de respuesta que tenga el sensor ante cambios de temperatura se busca un sensor que tenga una respuesta rápida.

El costo del sensor de temperatura debe ser accesible para la población general pues se intenta llegar a la mayor población posible, por lo tanto, debe ser barato.

En la tabla 3-5 se muestra las ponderaciones otorgadas a cada una de las características que poseen los sensores de temperatura.

Tabla 3-5: Ponderación de acuerdo con las características de los sensores de temperatura

Sensores de temperatura	Sensor de temperatura DHT11	Sensor de temperatura MLX90614	Sensor de temperatura lm35
Voltaje de operación	2	3	1
Consumo de energía	1	2	3
Dimensiones	2	2	2
Temperatura de operación	1	2	3
Tipo de sensor	0	3	0
Precio	2	1	3
Total	7	13	12

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez realizada la evaluación mediante el método de la tabla de Likert, se concluyó que el Sensor de temperatura mlx 90614 es la mejor opción en cuanto a sensores de temperatura. Este sensor opera en un rango de voltaje compatible con la batería de litio de 3.7v. Además, su consumo de energía es de 2mA siendo aceptable para un dispositivo de localización de niños. Tiene una dimensión de 12mm x 17mm, que si bien no es tan pequeño como el sensor lm 35 sigue siendo lo suficientemente pequeño para implementarlo en espacios reducidos. Es un sensor digital por lo cual recolecta los datos de forma más precisa y rápida que los sensores analógicos. El precio del Sensor de temperatura es accesible, situándose en \$15.00, siendo aun barato para el proyecto. Con los factores mencionados se llega a la conclusión de que el sensor Mlx 90614 es la mejor opción. El sensor de temperatura mlx 90614 obtuvo una puntuación de 13 mayor que la de sensor lm35 el cual obtuvo 12 puntos y el sensor de Dht11 que obtuvo 7 puntos.

3.2.2 Módulo LoRa

El módulo LoRa cumple con la función de recolectar datos de GPS y de temperatura y transmitirlos hacia el LoRa Gateway.

Tabla 3-6: Comparación de módulos LoRa.

Módulos	Módulo lora ttgo t-beam esp32	Modulo Heltec Lora Esp32 V2	Lora Shield Dragino
Voltaje de alimentación [V]	1.8v - 3.7v	3.3v - 3.7v	3.3v - 5v
Frecuencia de funcionamiento	915 MHz	915 MHz	915 MHz
Potencia de transmisión	+20 dBm	+19 dBm \pm 1dBm	+20 dBm
Sensibilidad del receptor	-139 dBm	-135 dBm	-148 dBm
Corriente de transmisión	120 mA	130 mA	120 mA
Incluye GPS	Si	No	Si
Dimensiones	100.13mm*32.89mm	50.2mm*25.2mm	62mm*43mm
Precio	\$79.40	\$40	\$31.88

Fuente: (Electrostore, 2019) (Heltec Automation, 2020) (Dragino, 2020)

Realizado por: Asqui J., 2023.

El voltaje de alimentación del módulo LoRa debe estar dentro del rango de la batería de usar la cual es de 3.7v.

La frecuencia de operación del módulo debe ser de 915Mhz pues es la designada por LoRa para Ecuador.

La potencia de transmisión debe ser lo más alta posible para que el módulo sea capaz de enviar datos desde la mayor distancia posible.

El consumo energético del módulo debe ser bajo para extender la vida útil de la batería.

El insertar un módulo Gps al módulo LoRa no puede ser siempre la mejor opción debido al tamaño que este aumente, lo mejor es trabajar de manera independiente entre estos 2 módulos.

Las dimensiones del módulo LoRa son importantes debido a que se implementaran en niños debe ser pequeña para que se ingresen dentro de la caja de protección de manera adecuada.

El costo del módulo LoRa debe ser accesible para la población general pues se intenta llegar a la mayor población posible, por lo tanto, debe ser barato.

En la tabla 3-7 se muestra las ponderaciones otorgadas a cada una de las características que poseen los módulos lora.

Tabla 3-7: Ponderación de acuerdo con las características de los módulos LoRa.

Módulos	Lora ttgo t-beam esp32	Heltec Lora Esp32 V2	Lora Shield Dragino
Voltaje alimentación [V]	3	2	1
Frecuencia de funcionamiento	3	3	3
Potencia de transmisión	3	3	3
Sensibilidad del receptor	3	2	1
Corriente de transmisión	2	2	3
Incluye GPS	1	3	1
Dimensiones	0	3	1
Precio	0	2	3
Total	15	20	16

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez realizado el análisis usando el método de la tabla de Likert se determinó que la mejor opción es el módulo Heltec LoRa ESP32 V2 ya que tiene un consumo energético bajo y es de bajo costo. Este opera en la frecuencia de 915 MHz por lo cual es adecuado, tiene una potencia de transmisión y una sensibilidad del receptor adecuada. Sus dimensiones y voltaje de operación lo convierten en la mejor opción para el dispositivo de localización de niños.

El módulo Heltec LoRa ESP32 V2 obtuvo una puntuación de 20 muy por encima del módulo Lora Shield Dragino que obtuvo 16 puntos y del Lora ttgo t-beam esp32 que obtuvo 15 puntos.

3.2.3 Gateway LoRaWAN

El Gateway será el encargado de recibir los datos enviados por los módulos Heltec lora esp 32, y enviarlos hacia el servidor LoRaWAN para su posterior procesamiento, es muy importante que estos Gateway tengan compatibilidad completa con los nodos finales. En la tabla 3-8 se muestran algunos de los Gateway que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 3-8: Comparación de Gateway LoRa

Gateway LoRaWAN	LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway	E870-L915LG12 LoRaWAN Gateway	LG308 Indoor LoRaWAN Gateway
Voltaje de alimentación [V]	5v	8 – 28v	12v
Frecuencia de funcionamiento	915 MHz	915 MHz	915 MHz
Potencia de transmisión	+27 dBm	+27 dBm	+27 dBm
Sensibilidad del receptor	-140 dBm	-157 dBm	-140dBm
Puerto ethernet	Si	Si	Si
Wifi	2.4 GHz (802.11 bgn)	2.4 GHz (802.11 bgn)	2.4 GHz (802.11 bgn)
Numero de canales	Hasta 10 canales programables paralelos	Hasta 8 canales programables paralelos	Hasta 10 canales programables paralelos
Gateway LoRaWAN	LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway	E870-L915LG12 LoRaWAN Gateway	LG308 Indoor LoRaWAN Gateway
Voltaje de alimentación [V]	5v	8 – 28v	12v
Frecuencia de funcionamiento	915 MHz	915 MHz	915 MHz
Potencia de transmisión	+27 dBm	+27 dBm	+27 dBm

Sensibilidad del receptor	-140 dBm	-157 dBm	-140dBm
Puerto ethernet	Si	Si	Si
Wifi	2.4 GHz (802.11 bgn)	2.4 GHz (802.11 bgn)	2.4 GHz (802.11 bgn)
Numero de canales	Hasta 10 canales programables paralelos	Hasta 8 canales programables paralelos	Hasta 10 canales programables paralelos
Precio	\$130.00	\$163.39	\$291.11

Fuente: (Dragino, 2023) (EBYTE, 2023) (Dragino, 2022)

Realizado por: Asqui J., 2023.

El Gateway LoRaWAN debe estar siempre conectado a la red eléctrica por lo tanto su voltaje de alimentación no resulta ser de suma importancia.

La frecuencia de operación del Gateway debe estar acorde a la frecuencia de operación de Ecuador la cual es de 915Mhz.

La sensibilidad del receptor del Gateway es importante para recibir los datos del módulo de transmisión Heltec por lo cual mientras mayor sea la sensibilidad del receptor lograra recibir mejor los datos a largas distancias.

El puerto ethernet permitirá tener una conexión confiable a internet por lo cual es de suma importancia.

El número de canales del Gateway se refiere a la cantidad de dispositivos que se pueden conectar al dispositivo a la vez.

El costo del Gateway LoRaWAN debe ser accesible para el usuario por lo cual debe ser de bajo costo.

En la Tabla 3-9 se muestra las ponderaciones otorgadas a cada una de las características que poseen los Gateway LoRaWAN.

Tabla 3-9: Ponderación de acuerdo con las características de los Gateway LoRaWAN.

Gateway LoRaWAN	LPS-8N Indoor LoRaWAN Gateway	E870-L915LG12 LoRaWAN Gateway	LG308 Indoor LoRaWAN Gateway
Voltaje de alimentación [V]	3	1	2
Frecuencia de funcionamiento	3	3	3
Potencia de transmisión	3	3	3
Sensibilidad del receptor	2	3	2
Puerto ethernet	3	3	3
Wifi	3	3	3
Numero de canales	3	2	3
Precio	3	2	0
Total	23	20	19

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez realizado el análisis mediante el método de la tabla de Likert se llegó a la conclusión que el Gateway LoRaWAN LPS-8N es la mejor opción pues tiene una potencia de transmisión de +27 dBm y una sensibilidad de receptor de -140 dBm. Posee puertos Ethernet y WiFi 2.4 GHz lo cual permite que la conexión a internet sea confiable. Tiene 10 canales programables, el LPS-8N ofrece capacidad para administrar varios dispositivos LoRaWAN al mismo tiempo.

El Gateway LoRaWAN LPS-8N obtuvo una puntuación de 23 a diferencia del E870-L915LG12 el cual obtuvo 20 puntos y el LG308 que obtuvo 19 puntos siendo la mejor opción el LPS-8N.

3.3 Diseño del dispositivo

En la Ilustración 3-1 se puede apreciar el diseño general del sistema el cual consta de los diferentes nodos: Nodo sensor, Nodo Gateway, Nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización, los cuales van a estar conectados a través de la red inalámbrica LoRaWAN.

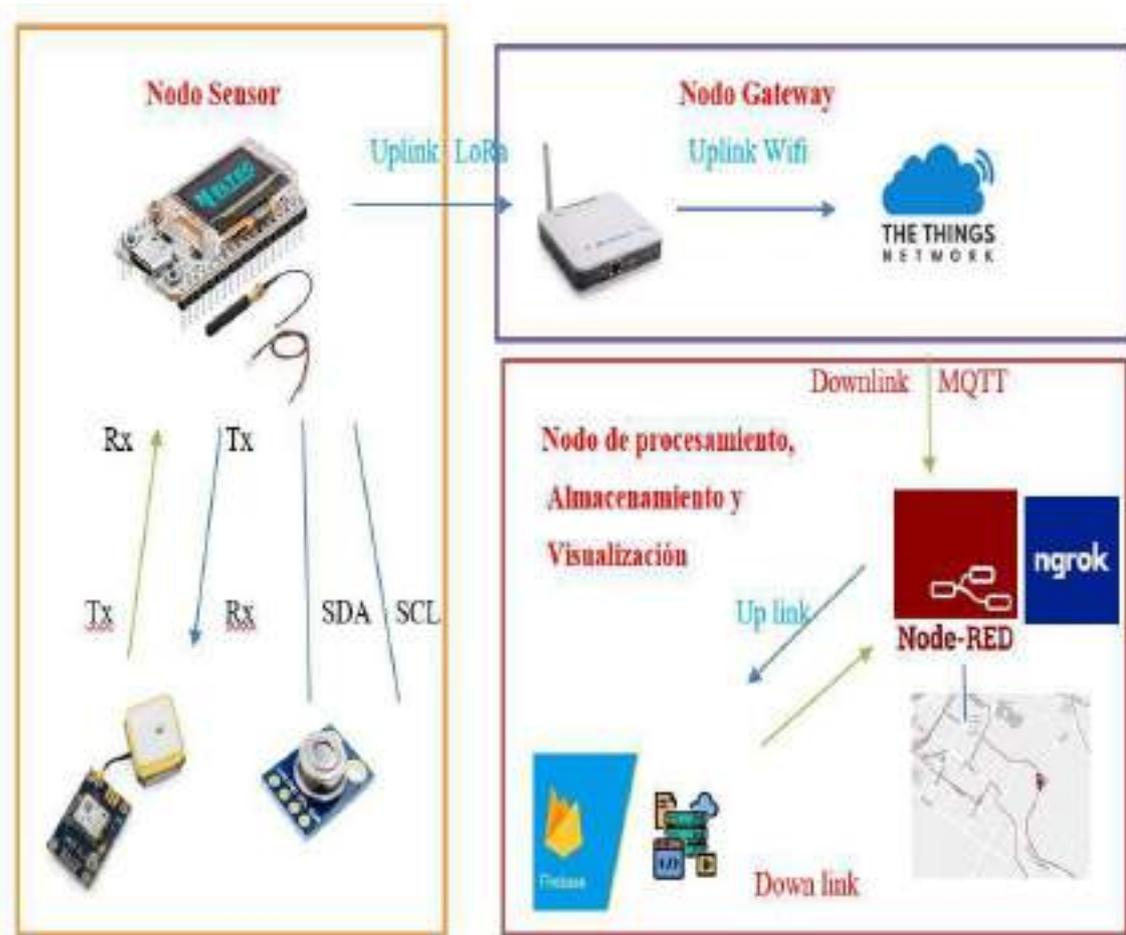


Ilustración 3-1: Diseño del dispositivo.

Fuente: Asqui J., 2023.

3.3.1 *Nodo sensor*

El nodo sensor se encarga de recolectar los datos de los sensores GPS Neo-6M y el sensor de temperatura Mlx 90614.

En este sistema el módulo Heltec LoRa esp32 v2 se encarga de recolectar los datos de los sensores mencionados y envía estos datos al nodo Gateway por medio de la comunicación LoRa.

En la Ilustración 3-2 se muestra el diagrama en bloques del nodo sensor.

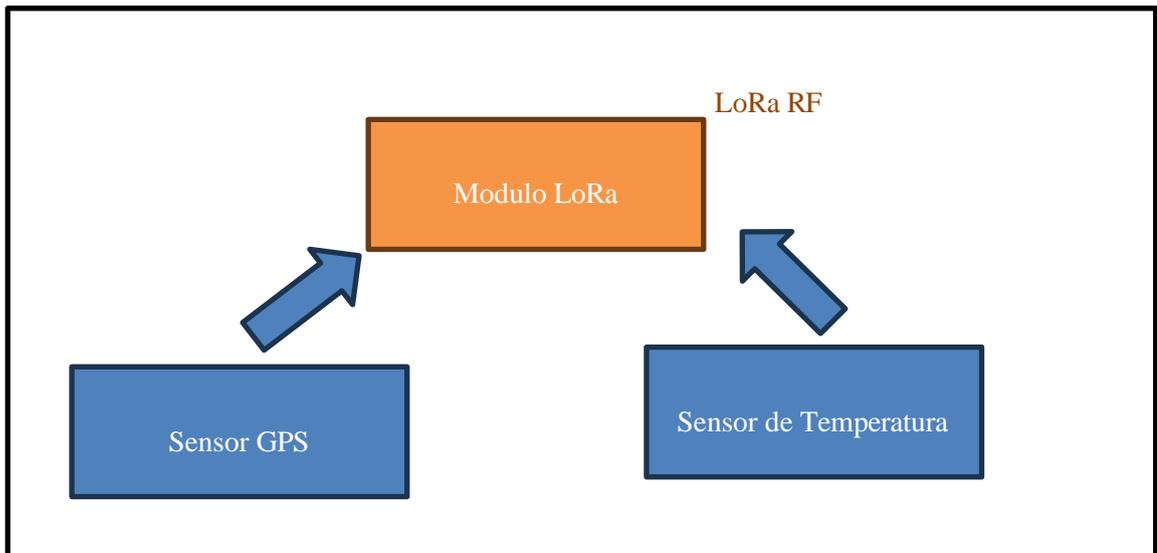


Ilustración 3-2: Diagrama en bloques del nodo sensor.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.3.2 *Nodo Gateway*

El nodo Gateway se encarga de recibir los datos transmitidos por el nodo sensor a través de LoRa, una vez los datos han sido recibidos los sube a la plataforma TTN.

El nodo Gateway debe estar colocado en un lugar elevado para que la conexión a este sea lo más estable posible. El nodo Gateway debe estar conectado siempre a internet sea por Wifi o por Ethernet de esta forma los datos siempre llegarán a la plataforma TTN. De igual forma debe estar siempre conectado a la red eléctrica para garantizar que siempre los datos sean recibidos por este.

En la Ilustración 3-3 se muestra el diagrama en bloques del nodo Gateway.



Ilustración 3-3: Diagrama en bloques del nodo Gateway.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.3.3 *Nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización*

Este nodo se encarga de recibir los datos desde TTN a través del protocolo MQTT. Realiza el procesamiento y la visualización de la ubicación de los niños utilizando Node-RED y almacena los datos mediante el uso de Firebase.

En la Ilustración 3-4 se muestra el diagrama en bloques del nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización.

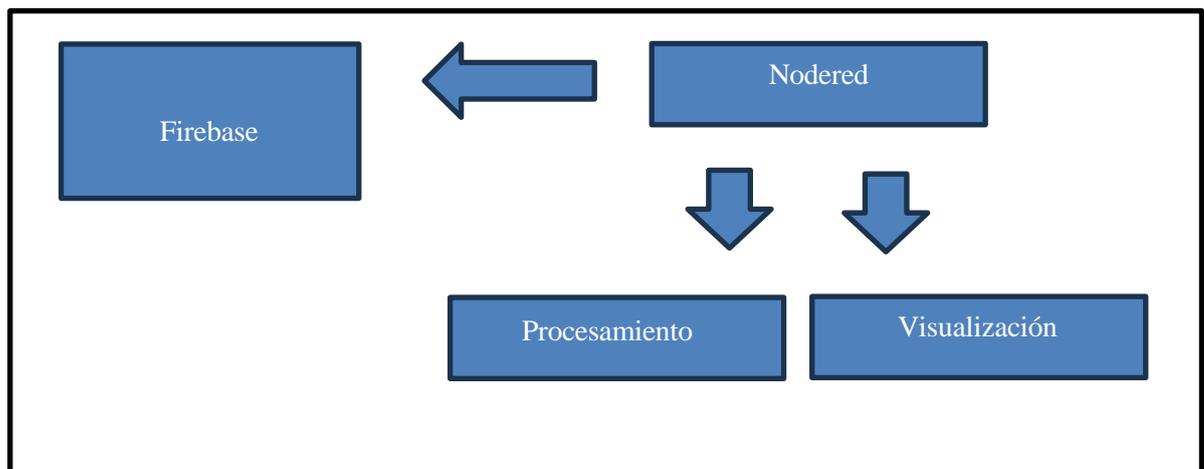


Ilustración 3-4: Diagrama en bloques del nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4 Implementación del sistema

En esta sección, se detallará las diversas configuraciones necesarias para poner en funcionamiento el dispositivo de rastreo de niños. Se seguirá la estructura del esquema de diseño para una explicación sistemática:

- Nodo sensor.
- Nodo Gateway.
- Nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización.

3.4.1 *Implementación del nodo sensor*

El código para la implementación del nodo sensor se ha desarrollado en el IDE de Arduino sin embargo es necesario realizar ciertas configuraciones previas.

3.4.1.1 Instalación de placa y biblioteca

En primer lugar, fue necesario instalar la placa del módulo Heltec Lora Esp32 v2 para lo cual se inició Ide de Arduino y se dirigió hacia la pestaña archivos. Luego, en las preferencias de la aplicación, se seleccionaron las opciones necesarias. En la sección de "URLs adicionales de gestor de placas", se copió el siguiente enlace.

https://resource.heltec.cn/download/package_heltec_esp32_index.json

En la Ilustración 3-5 se puede apreciar los pasos explicados anteriormente.

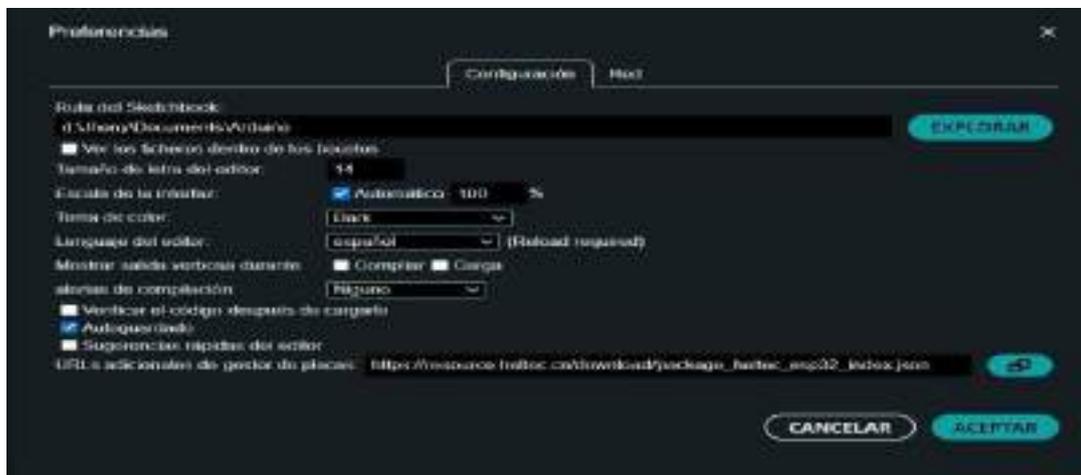


Ilustración 3-5: Instalación de placa Heltec Lora Esp32 v2.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para la instalación de la biblioteca ESP32_LoRaWAN, se procedió a acceder al siguiente enlace, y desde allí se descargó el archivo .ZIP.

https://github.com/HelTecAutomation/ESP32_LoRaWAN/tree/master

Una vez que el archivo fue descargado, se procedió a dirigirse a la pestaña "Sketch", luego a "Incluir biblioteca" y se seleccionó la opción "Añadir biblioteca .ZIP". Posteriormente, se cargó el archivo descargado anteriormente como se muestra en la Ilustración 3-6.

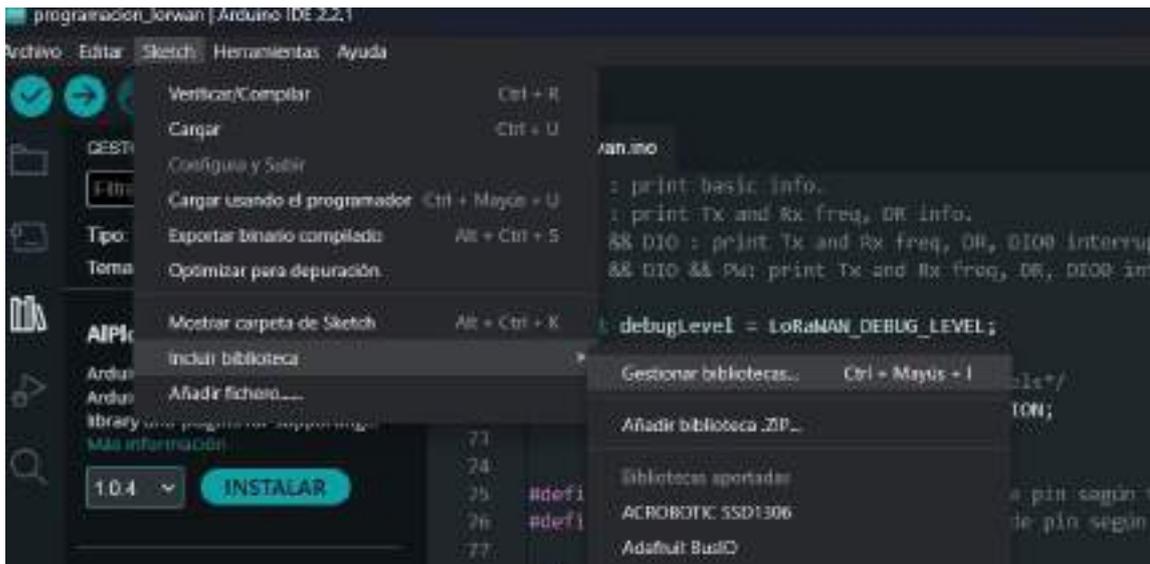


Ilustración 3-6: Instalación de la biblioteca ESP32_LoRaWAN.

Realizado por: Asqui J, 2023.

3.4.1.2 Obtención de licencia para Heltec ESP32 LoRaWAN

Para el uso de la librería LoRaWAN fue necesaria una licencia proporcionada por Heltec la cual tiene un tamaño de 32 bits y es única para cada dispositivo, se puede averiguar cuál es la licencia haciendo uso del Chip id el cual de igual forma es único para cada dispositivo este tiene un tamaño de 12 bits.

Para determinar el Chip id de cada dispositivo basto con conectar el módulo Heltec Lora Esp32 v2 y ejecutar el código que se encuentra en el Anexo A, el resultado se muestra en la Ilustración 3-7, fue necesario realizar este proceso con cada módulo Heltec Lora Esp32 v2.

```
ESP32 Chip model = ESP32-D0WDQ6 Rev 1
This chip has 2 cores
ESP32ChipID=E425859EF0C8
```

Ilustración 3-7: Chip id del módulo ESP32.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que se ha obtenido el Chip ID de cada módulo, se accede al siguiente enlace: <https://resource.heltec.cn/search/> y se ingresa el Chip ID.

En la Ilustración 3-8 se muestra la licencia obtenida.

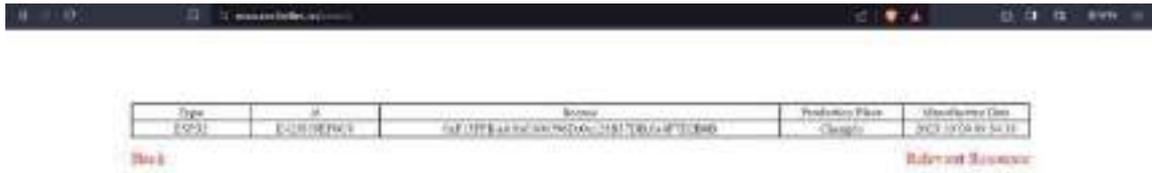


Ilustración 3-8: Licencia de módulo Heltec Lora Esp32 v2 obtenida.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.1.3 Código en IDE de Arduino para sensor GPS y sensor de Temperatura

Para poder tomar los datos proporcionados por el módulo Gps Neo-6M fue necesario instalar la librería TinyGPSPlus para poder definir los pines correspondientes al Tx y Rx que irán conectados al Rx y Tx del módulo GPS.

```
#define NEO_GPS_RX 2
#define NEO_GPS_TX 17
```

Para la adquisición de datos de temperatura, se requirió la instalación de la biblioteca Adafruit_MLX90614, dado que el sensor es de naturaleza digital. Los pines designados para la recolección de datos en la placa Heltec LoRa ESP32 V2 son el pin SDA, correspondiente al pin 21, y el pin SCL, ubicado en el pin 22.

Para la lectura de los datos, se utilizó el comando `gps.location`, el cual posibilita la obtención de datos de latitud o longitud. Estos datos fueron redondeados a números enteros para su procesamiento.

```
int32_t latitude = gps.location.lat() * 10000; int32_t longitude = gps.location.lng() * 10000;
```

Para la lectura de los datos de temperatura, se empleó el comando `mlx.readObjectTempC`, el cual facilita la obtención de datos de la temperatura del objeto a medir. Asimismo, estos datos fueron redondeados a números enteros para su procesamiento.

```
int32_t temperaturaAmbiente2 =mlx.readObjectTempC()*100;
```

Luego, se procedió a crear un vector llamado `appData`, en el cual se enviarán los valores de latitud (4 bytes), longitud (4 bytes) y temperatura (2 bytes), sumando un total de 10 bytes.

```
appData[0] = (uint8_t)(latitude >> 24);
```

```

appData[1] = (uint8_t)(latitud >> 16);
appData[2] = (uint8_t)(latitud >> 8);
appData[3] = (uint8_t)latitud;
appData[4] = (uint8_t)(longitud >> 24);
appData[5] = (uint8_t)(longitud >> 16);
appData[6] = (uint8_t)(longitud >> 8);
appData[7] = (uint8_t)longitud;
appData[8]=(uint8_t)(temperaturaAmbiente2>>8);
appData[9] = (uint8_t)temperaturaAmbiente2;

```

3.4.1.4 Código en IDE de Arduino para comunicación LoRaWAN

La licencia de Heltec, previamente obtenida, fue ingresada dentro del parámetro `license`.

```
uint32_t license[4] = {0xEFFA5301,0xDCB06548,0xEEF23092,0x651A616E };
```

Los parámetros DevEui, AppEui, AppKey son propios para cada dispositivo y serán copiados desde la plataforma TTN en la Ilustración 3-37 se aprecia los parámetros.

```

uint8_t DevEui[] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x06, 0x1F, 0x9F };
uint8_t AppEui[] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
uint8_t AppKey[] = { 0xDF, 0xEA, 0x7D, 0xC2, 0xDE, 0xED, 0x34, 0x47, 0x24, 0xD0, 0xA4,
0x57, 0x8B, 0x83, 0x07, 0xA8 };

```

En los siguientes parámetros se escogen el canal a usar, la clase, el tiempo de espera para enviarse el siguiente mensaje, el método de activación (OTTA O ABP), si se va a usar ADR (data rate adaptivo), si el nodo transmite mensajes confirmados, y por último el puerto de aplicación.

```

uint16_t userChannelsMask[6]={ 0x00FF,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };
DeviceClass_t loraWanClass = CLASS_A;
uint32_t appTxDutyCycle = 15000;
bool overTheAirActivation = true;
bool loraWanAdr = true;
bool isTxConfirmed = true; uint8_t appPort = 2;

```

Los parametros debugLevel y región se seleccionan en las herramientas del IDE de Arduino.

```
uint8_t debugLevel = LoRaWAN_DEBUG_LEVEL;  
LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION.
```

En la Ilustración 3-9 se puede apreciar los parámetros seleccionados.

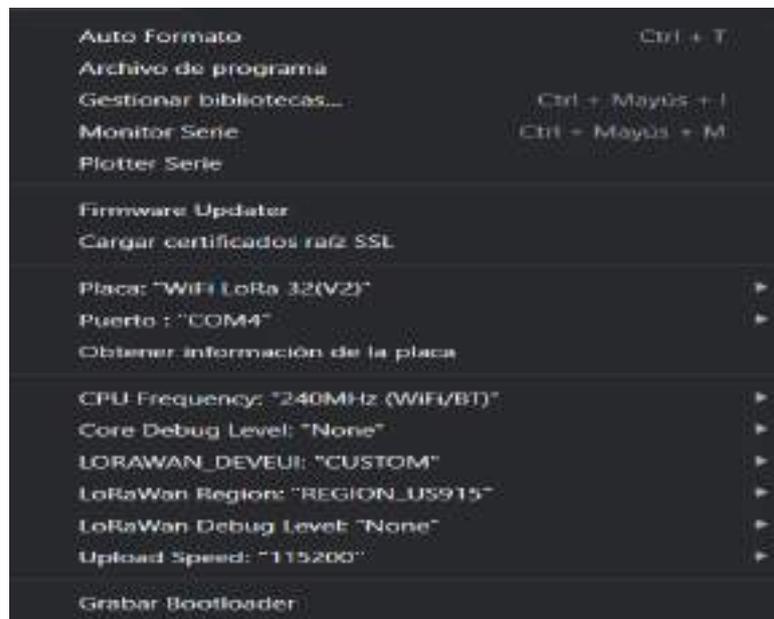


Ilustración 3-9: Parámetros debugLevel y región de LoRaWAN.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Finalmente se hace uso del código para el envío de datos hacia el Gateway LoRaWAN como se ve en el anexo 2.

3.4.1.5 Creación de placa PCB para el dispositivo de localización de niños.

La creación de una placa de circuito impreso es importante, ya que elimina el uso de cables que, en las actividades diarias del niño podrían sufrir daños fácilmente.

Para lo cual se ha hecho uso del software Autodesk EAGLE, el cual es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) especializado en el diseño de circuitos electrónicos y placas de circuito impreso (PCB).

En Eagle, fue necesario iniciar un nuevo esquema. Para ello, se dirigió a la pestaña "File", y se seleccionó "New", y se optó por la opción "Schematic", como se aprecia en la Ilustración 3-10.

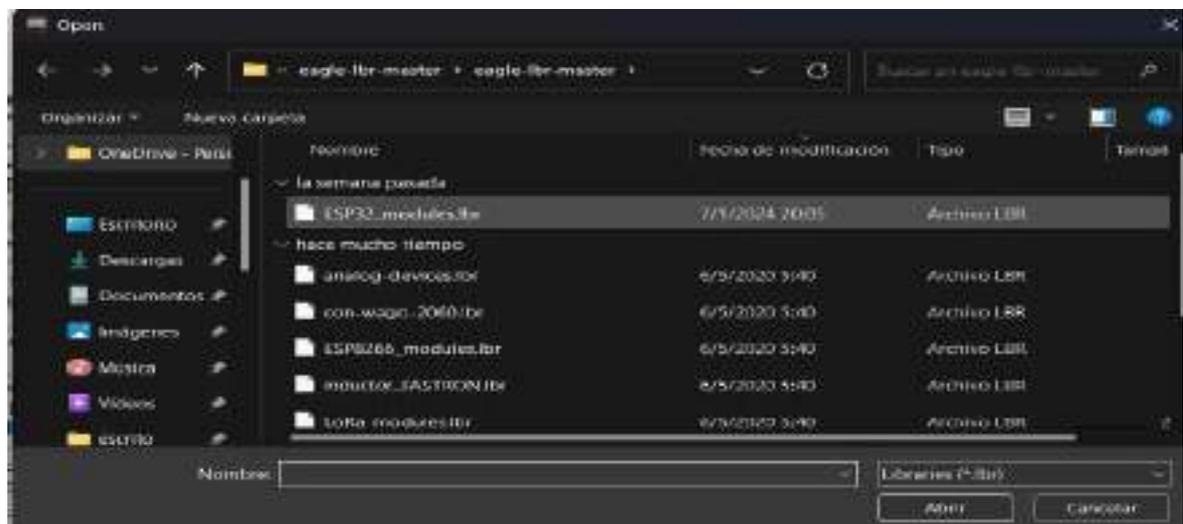
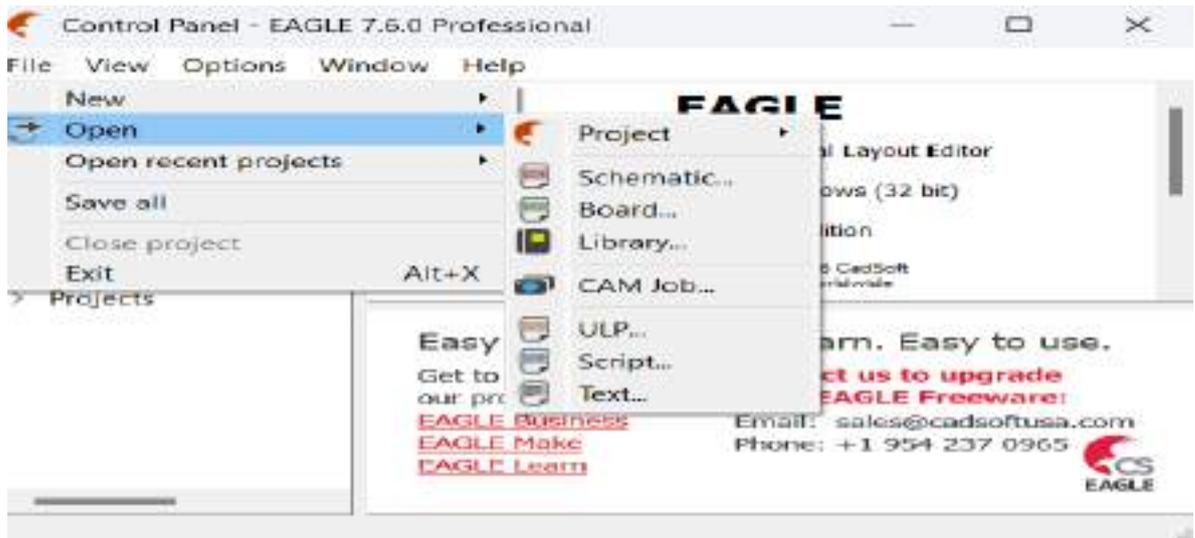


Ilustración 3-10: Creación de nuevo esquema en software Eagle.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Eagle tiene librerías en la cual se pueden encontrar elementos para el diseño de placas pcb. Sin embargo, no posee una librería para el dispositivo Heltec LoRa esp32 v2. Por lo cual fue necesario buscar la librería para el dispositivo Heltec en GitHub.

Para la descarga de la librería, se accedió al siguiente enlace: <https://github.com/1randy/eagle-lib> y descargamos la librería como se puede ver en la Ilustración 3-11.

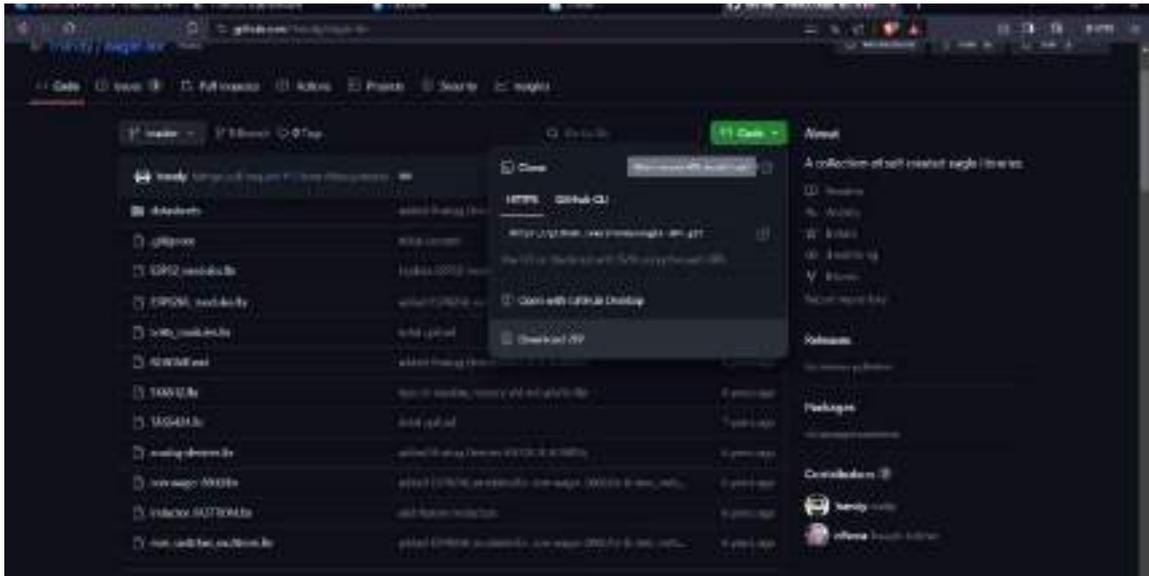


Ilustración 3-11: Descarga de librería eagle-ibr.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Después de haber descargado la librería, el usuario se dirige a Eagle y selecciona la opción "Library". Posteriormente, elige "Use" y localiza el archivo descargado anteriormente. Este procedimiento se puede observar detalladamente en la Ilustración 3-12.



Ilustración 3-12: Proceso de carga de librería eagle-ibr.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que la librería ha sido cargada, el usuario se dirige a la parte derecha del software, donde selecciona "Add". Esta opción le permite cargar en su área de trabajo los elementos necesarios para el diseño, este proceso puede apreciarse en la Ilustración 3-13.

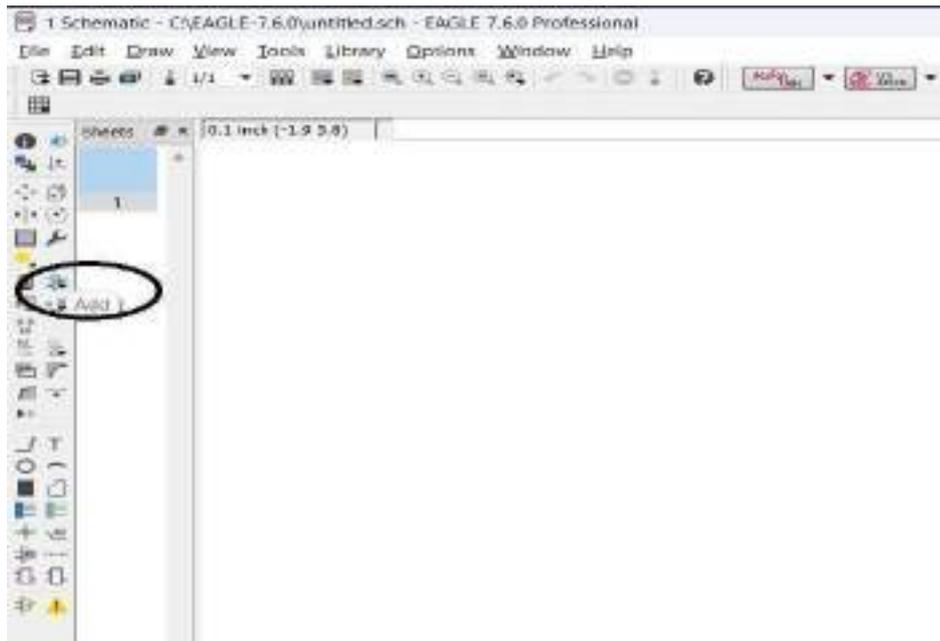


Ilustración 3-13: Ingreso a opción Add para selección de elementos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Al seleccionar la opción Add se abre una ventana en la cual se buscó el apartado ESP32_modules dentro del cual se seleccionó la opción WIFI-LORA-32 V2, este proceso se muestra en la Ilustración 3-14.

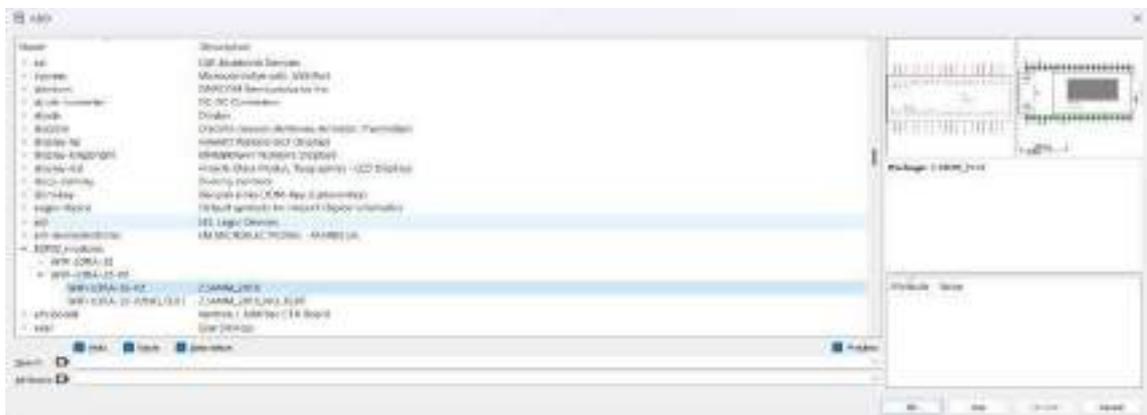


Ilustración 3-14: Selección de modulo wifi-lora-32-v2

Realizado por: Asqui J., 2023.

El proceso se repitió de la misma forma para el módulo MLX-90614 y el conector con-wago-500 en el cual se optó por el conector W237-4 y el conector w237-102, como se puede apreciar en la Ilustración 3-15.

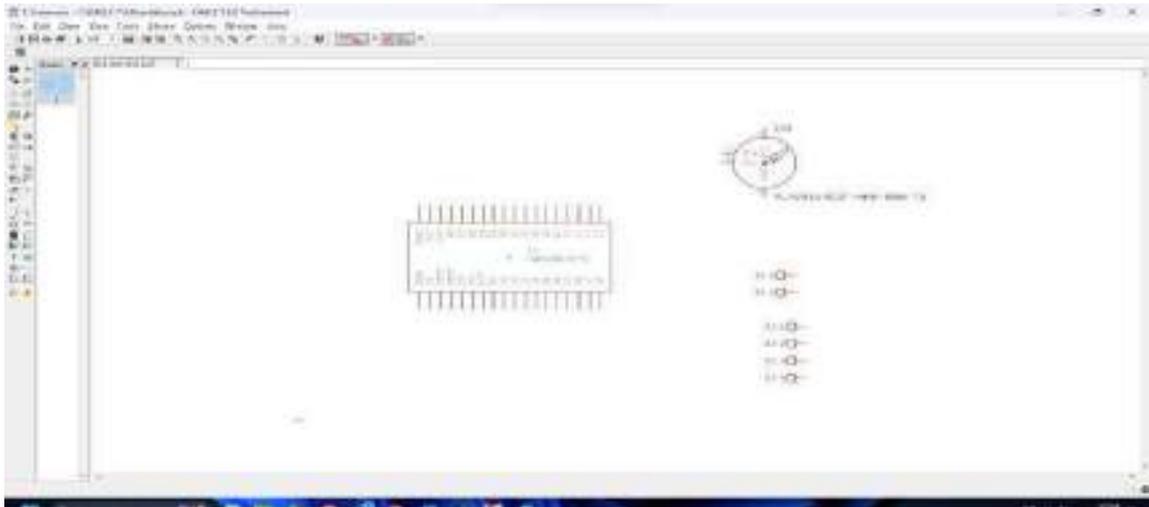


Ilustración 3-15: Módulos usados dentro del software Eagle.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que se colocaron los componentes en el área de trabajo se conectaron estos componentes entre sí, con el uso de la herramienta "net" la que sirve para la conexión de elementos. El resultado de este proceso se muestra en la Ilustración 3-16.

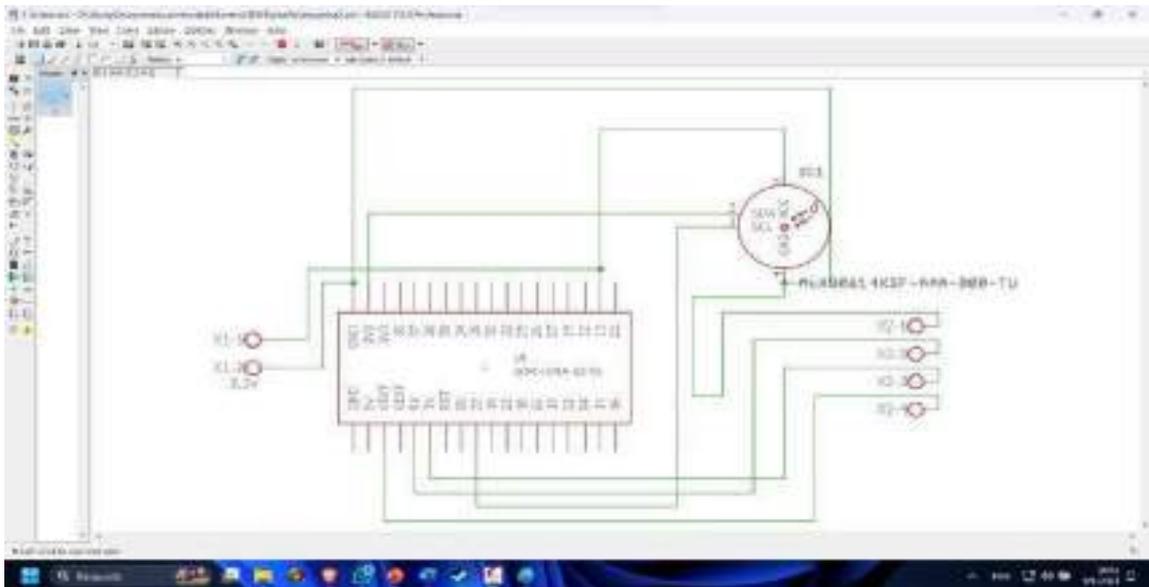


Ilustración 3-16: Resultado de interconexión de dispositivos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Al concluir el proceso de interconexión, se procedió a generar el tablero para el modelado del circuito en PCB. Este paso implicó la selección de la opción indicada en la Ilustración 3-17.

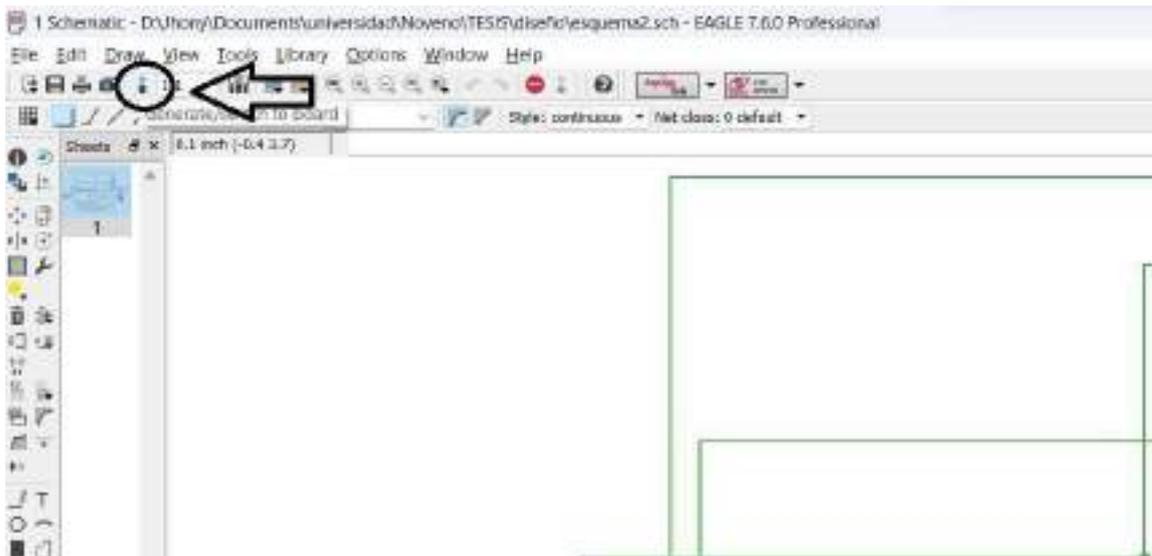


Ilustración 3-17: Generación de tablero para circuito en PCB.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que se selecciona la opción mencionada anteriormente, se accede a la siguiente interfaz donde los elementos se presentan desordenados. La interfaz de los elementos desordenados se puede ver en la Ilustración 3-18.

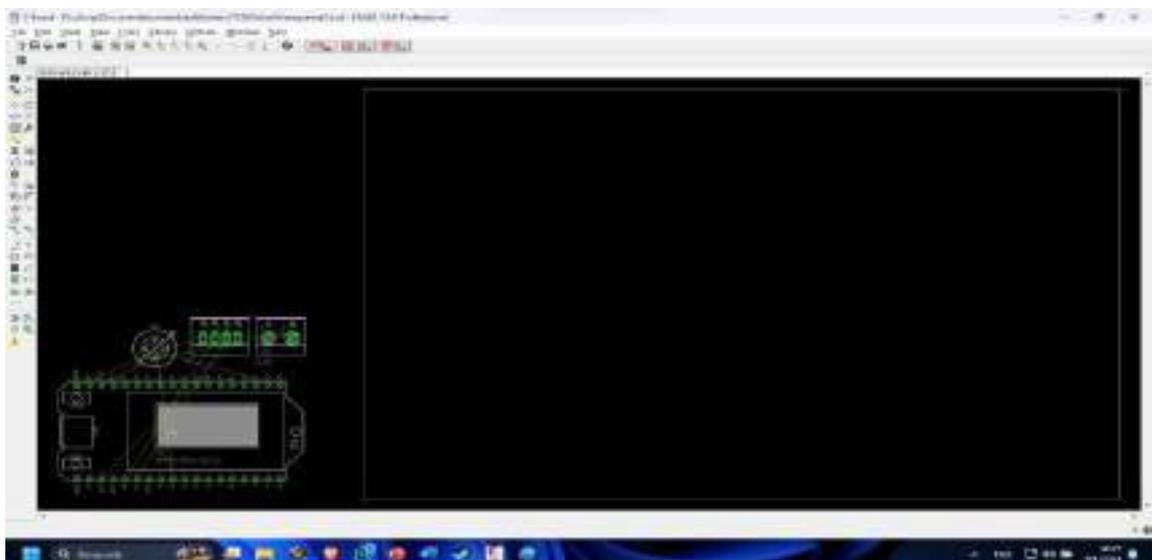


Ilustración 3-18: Interfaz de elementos desorganizados.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para organizar los elementos de forma correcta se hizo uso de la herramienta route la cual se encuentra en la parte izquierda de la interfaz tomando en consideración el uso de pistas de un ancho de 1mm para pistas de potencia y de 0.4 mm para pistas de control, el resultado de este proceso se muestra en la Ilustración 3-19.

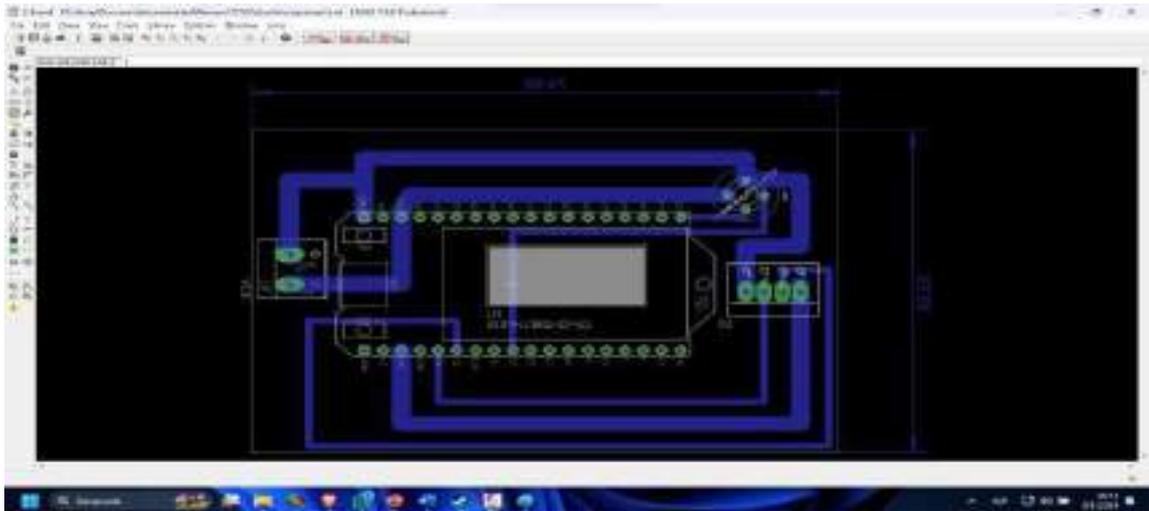


Ilustración 3-19: Diseño final de circuito en PCB.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Luego de completar el diseño de la placa PCB, se llevó a cabo el proceso de fabricación mediante el grabado en baquelita. Los resultados de este procedimiento se encuentran en la Ilustración 3-20.



Ilustración 3-20: Grabado de diseño final en baquelita.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que se ha realizado todo el procedimiento de forma correcta se procedió a montar todos los elementos en la caja de protección esta se puede observar en la Ilustración 3-21.



Ilustración 3-21: Nodo Sensor implementado.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.2 Implementación del nodo Gateway

La implementación del nodo Gateway se abordará en 2 partes para lograr una configuración integral y eficiente:

- Implementación del Lora Gateway.
- Implementación del servidor TTN.

3.4.2.1 Implementación de LoRa Gateway

Para iniciar la implementación del nodo Gateway, fue necesaria una conexión desde un ordenador o un dispositivo móvil. Para ello, se accedió a la configuración de redes Wi-Fi y se procedió a buscar la red denominada "dragino-22f194". Después se realizó la conexión con la contraseña predeterminada "dragino+dragino", como se aprecia en la Ilustración 3-22.

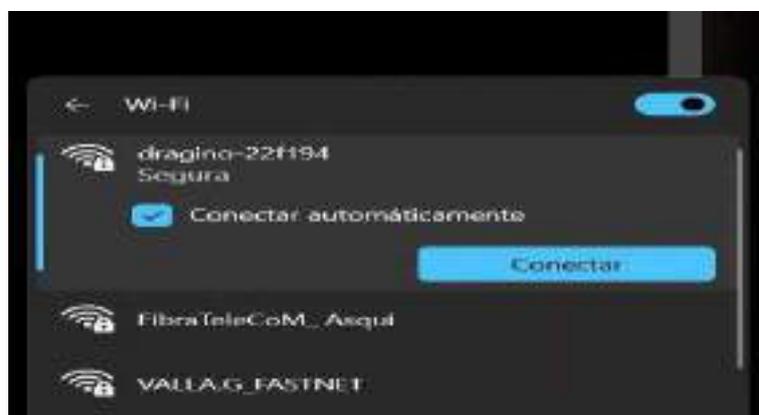


Ilustración 3-22: Red wifi dragino-22f194.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Después se accedió a la interfaz gráfica mediante el navegador, utilizando la dirección IP 10.130.1.1. Se ingreso mediante el uso del nombre de usuario "root" y la contraseña "dragino", tal como se muestra en la Ilustración 3-23.



Ilustración 3-23: Pagina de ingreso a la interfaz gráfica del Gateway Dragino.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En la Ilustración 3-24, se presenta la página inicial del Gateway Dragino la cual es interfaz gráfica mediante la cual se configurarán todas las opciones necesarias para un correcto funcionamiento.



Ilustración 3-24: Pagina inicial del Gateway Dragino.

Realizado por: Asqui J., 2023.

El siguiente paso es conectar el Gateway a la red Wifi para que este puede subir los datos a la plataforma TTN. Es necesario acceder a la sección de Wifi Access Point e ingresar a Wifi WAN Client Settings. Aquí se modifican los siguientes parámetros:

- En la opción Enable Wifi WAN Client se la habilita.
- En Host WIFI SSID se ingresa el nombre de la red Wifi a la cual se conectará el Gateway
- En Passphrase se ingresa la contraseña de la red Wifi.
- En WiFi Survey se selecciona la red a la cual se desea conectar.
- Se escoge WPA/WPA2 el cual es el método de encriptación a usar.
- Por último, se guardan los cambios realizados.

En la Ilustración 3-25 se muestra el proceso realizado para la configuración del Wifi Access Point.



Ilustración 3-25: Configuración de opciones de Wifi Access Point.

Realizado por: Asqui J., 2023.

A continuación, se ingresó a la pestaña LoRa aquí se modificaron las siguientes opciones:

- Keep alive periodic: se estableció en 15 segundos
- Frequency Plan: Se uso la banda de US915 United States 915Mhz (902-928) debido a que en los parámetros regionales de LoRaWAN dictaminan que en Ecuador se deberá usar dicha banda.
- Frequency Sub Band: 1: US915, FSB1 (902.3 – 903.7) Por último, se guardó y aplico los cambios realizados.

En la Ilustración 3-26 se pueden apreciar las opciones modificadas.

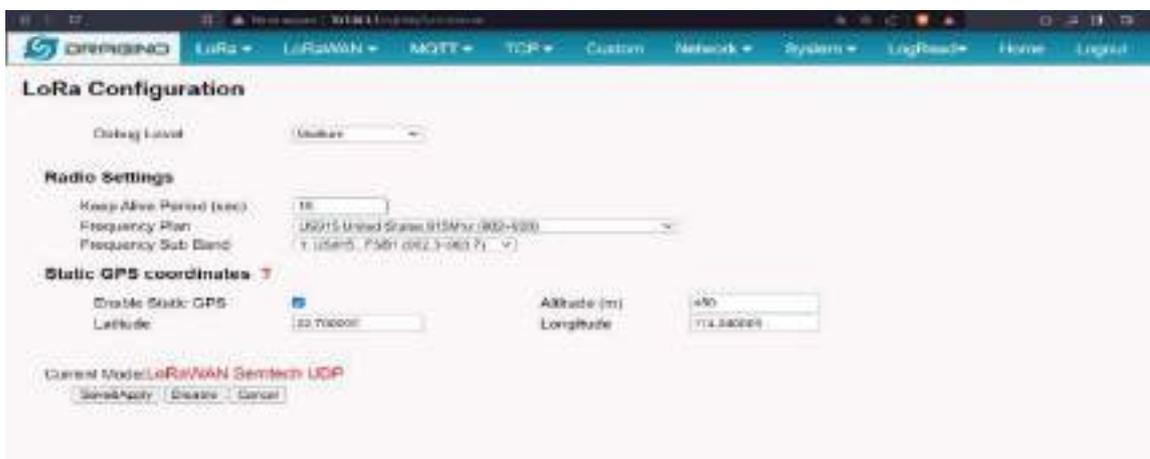


Ilustración 3-26: Configuraciones de LoRa en Gateway Dragino.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Por último, se configuraron las opciones de LoRaWAN. Se seleccionó la pestaña LoRaWAN y se modificaron los siguientes parámetros:

- Service Provider: The Things Network V3
- Server Address: nam1.cloud.thethings.network
- Uplink port: 1700
- Downlink port: 1700

La Ilustración 3-27 presenta de manera visual los parámetros modificados.



Ilustración 3-27: Configuración de LoRaWAN en Gateway Dragino.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En la Ilustración 3-28 se puede ver el Gateway LoRa implementado.



Ilustración 3-28: Gateway LoRa implementado.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.2.2 Implementación del servidor TTN

Para llevar a cabo la implementación del servidor TTN, se requirió la creación de una cuenta en la plataforma TTN. En el siguiente enlace se creó la cuenta.

<https://id.thethingsnetwork.org/oidc/interaction/UenGr46qc6m3SQPzdbfW5/register>

En la Ilustración 3-29 se muestra la página de registro del servidor TTN.

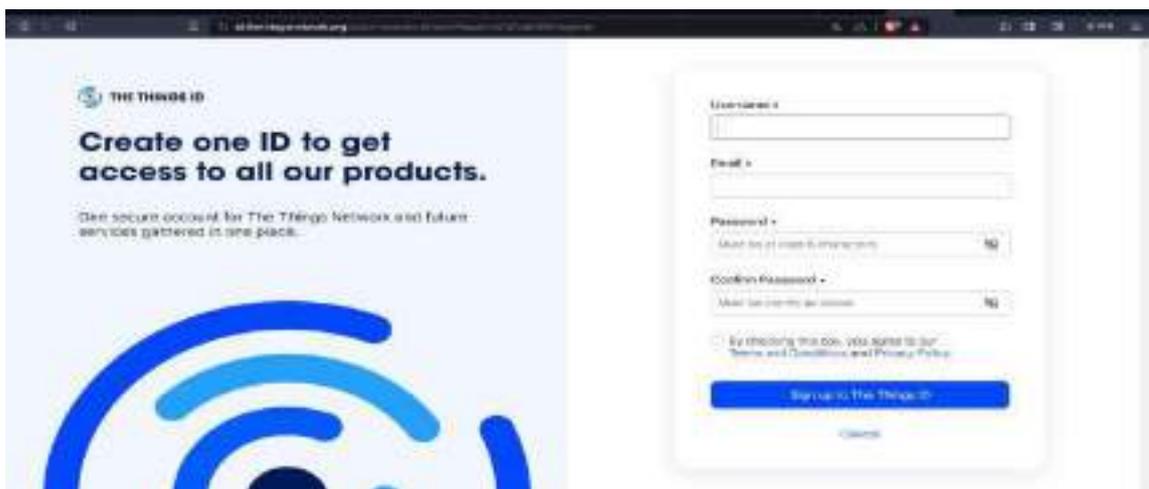


Ilustración 3-29: Página de registro de servidor TTN.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez se ha registrado se ingresó a la página inicial de TTN con las credenciales creadas anteriormente, se ingresa en la opción Go to gateways como se muestra en la Ilustración 3-30.



Ilustración 3-30: Página de inicio de TTN.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En el apartado de Gateways, se procedió a ingresar a +Register Gateway en donde es necesario ingresar el Gateway EUI el cual es único para cada dispositivo, esta información se puede encontrar en la Ilustración 3-27.

La página de registro del Gateway se visualiza en la Ilustración 3-31.



Ilustración 3-31: Página de registro de Gateway.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez ingresado el Gateway EUI, se completaron los siguientes parámetros:

- Gateway name: Este es el nombre asignado al dispositivo
- Frequency plan: Como se mencionó previamente, se seleccionó el plan de frecuencias de United States 902-928 MHz, FSB1.

Por último, se selecciona "Registrar Gateway" para guardar el registro, los pasos realizados se pueden observar en la Ilustración 3-32.



Ilustración 3-32: Configuración para registro del Gateway.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que todos los pasos se han realizado correctamente el Gateway LoRa empezara a recibir paquetes como se puede ver en la Ilustración 3-33.

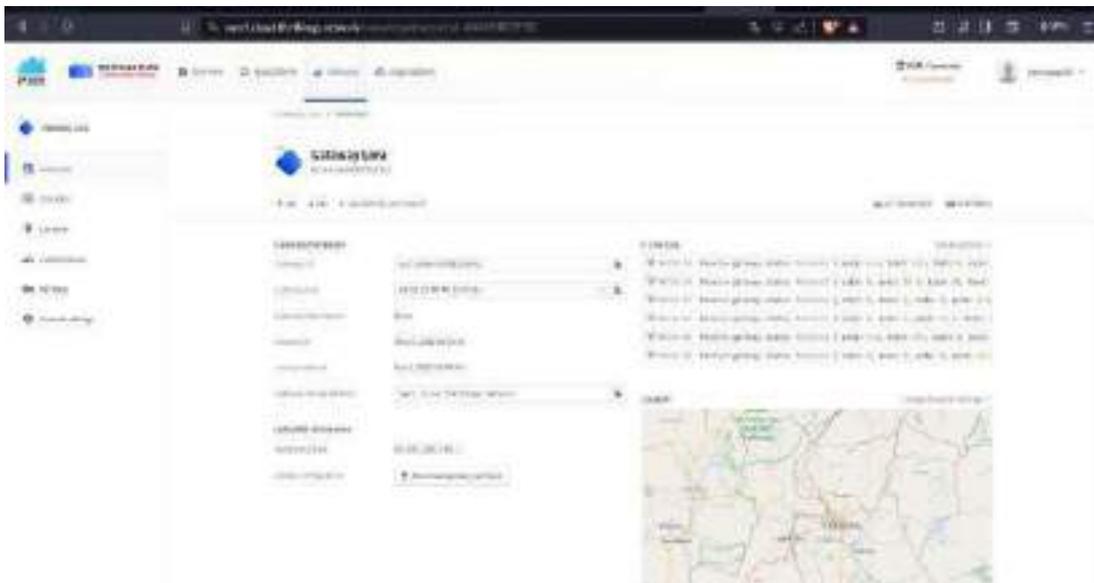


Ilustración 3-33: Gateway Lora Registrado.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para registrar las aplicaciones, se ingresó a "Go to applications" y dentro de esta sección, se seleccionó "+ Create applications", tal como se muestra en la Ilustración 3-34.



Ilustración 3-34: Página de registro de aplicaciones

Realizado por: Asqui J., 2023.

Al seleccionar "+ Create applications", se ingresaron el "Application ID" y el "Application name" como identificadores para las aplicaciones, como se muestra en la Ilustración 3-35.



Ilustración 3-35: Creación de aplicaciones.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para registrar los dispositivos finales, se accedió a la opción "+ Register end device", según se muestra en la Ilustración 3-36.

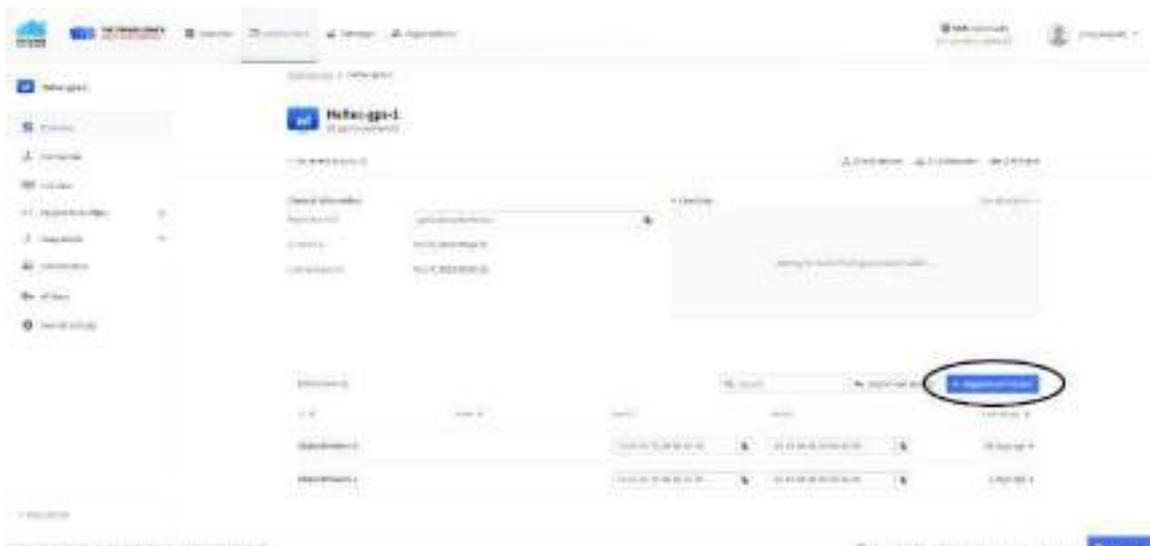


Ilustración 3-36: Página de registro de end devices.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez se ha ingresado se seleccionó el dispositivo a registrar, existen 2 métodos de ingreso:

- Seleccionar el dispositivo final del repositorio de dispositivos LoRaWAN.
- Ingresar manualmente las especificaciones del dispositivo final.

Se selecciono el primer método en el cual se ingresó los siguientes parámetros:

- Marca del dispositivo final: HelTec AutoMation.

- Modelo: Wifi LoRa 32 (V2) (Class A OTAA).
- Versión de Hardware: Desconocido.
- Versión de Firmware: 1.0.
- Perfil (Región): US_902_928.
- Plan de frecuencia: United States 902-928 MHz, FSB 1.
- JoinEUI: 0000000000000000.
- DevEUI: Para obtener el identificador único se seleccionó la opción generar para que se asigne uno automáticamente.
- AppKey: De igual forma que el DevEUI se asigna automáticamente.
- End device ID: dispositivolora-3

Cabe destacar que los parámetros JoinEUI, DevEUI y AppKey son únicos para cada nodo.

Por último, se seleccionó la opción de registrar dispositivo final, en la Ilustración 3-37 se pueden apreciar los pasos seguidos para el registro del dispositivo final.



Ilustración 3-37: Configuración de registro del módulo Heltec LoRa Esp32 v2 clase A OTAA

Realizado por: Asqui J., 2023.

El mismo proceso se ha realizado para todos los dispositivos finales a usar como se puede apreciar en la Ilustración 3-38.

Con la implementación del código de decodificación funcional, se logra la comprensión de los datos que llegan a TTN, haciendo que sean legibles para el usuario como se puede apreciar en la Ilustración 3-40.

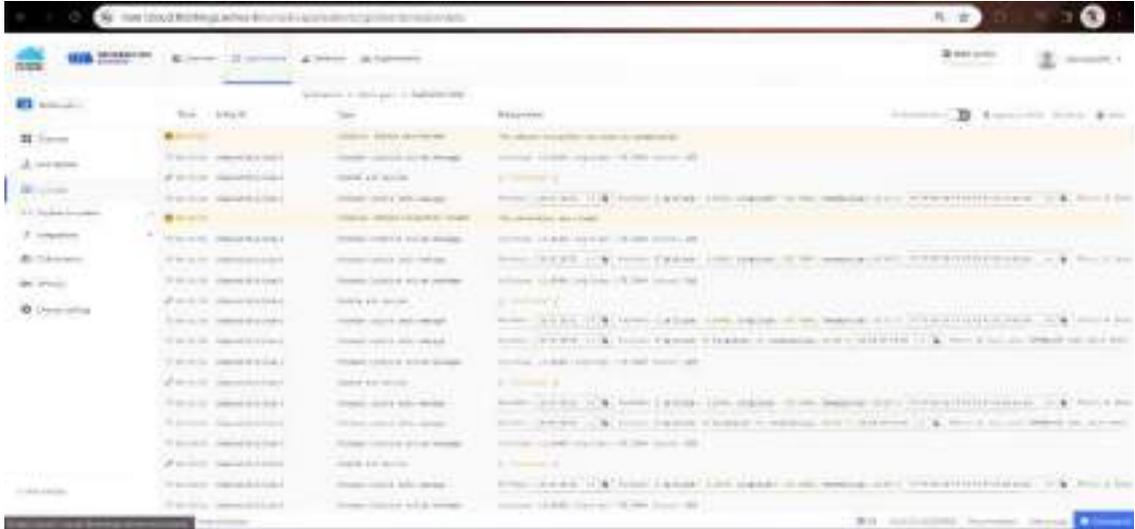


Ilustración 3-40: Datos en tiempo real decodificados.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.3 Implementación del nodo de procesamiento, almacenamiento y visualización.

Para la implementación de la presente sección se ha decidido abordarla en 3 partes para lograr un mejor entendimiento de cada parte.

3.4.3.1 Implementación del nodo de procesamiento.

El nodo de procesamiento es el encargado de realizar el procesamiento de la información captada por los sensores GPS y de temperatura, este procesamiento se realizó mediante el uso 37 del programa Node-RED debido a la facilidad que se tiene de uso de este ya que es bastante intuitivo solo es necesario conectar los nodos entre sí .

Para la implementación del nodo de procesamiento se inició con la instalación de Node-red y los nodos a usar la cual se explica en el Anexo-C.

El primer paso para la implementación del nodo de procesamiento fue necesario realizar la conexión entre la plataforma TTN y Node-RED esto se realizó mediante MQTT el cual es protocolo diseñado para Iot este funciona como mensajes de publicación/suscripción.

Se escogió MQTT debido a que TTN tiene su propio servidor de MQTT por lo cual es mucho más fácil la integración de este con Node-RED debido a que solo es necesario poseer un api key que nos proporciona el propio servidor TTN.

Para realizarlo nos dirigimos a TTN-Applications y en la parte derecha se buscó Integrations, se desplego las opciones y se selecciona MQTT.

Dentro de MQTT se ingresó la información de conexión los cuales se pueden apreciar en la Ilustración 3-41, el Username corresponde al ID de aplicación la cual se puede apreciar en la Ilustración 3-35: gpslorarastreador@ttn.



Ilustración 3-41: Información de conexión del protocolo MQTT.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Dentro de Node-RED, se ha usado el nodo MQTT In, el cual permite la conexión entre TTN y Node-RED. Al abrir el nodo se muestra la configuración del servidor MQTT In, como se observa en la Ilustración 3-42.

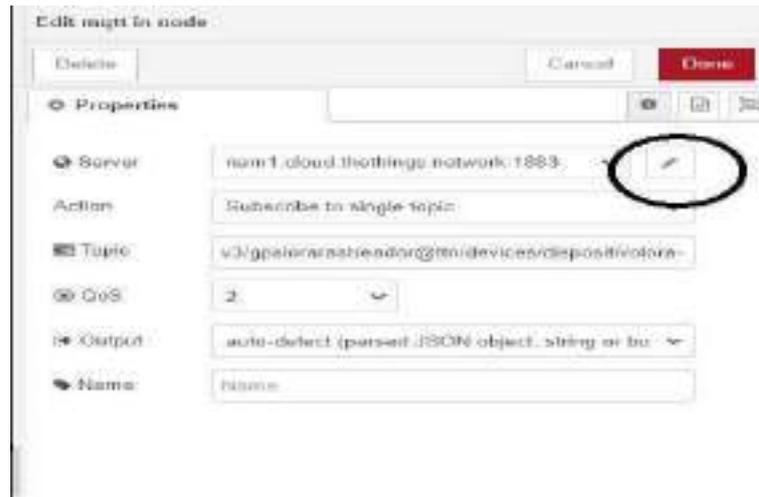


Ilustración 3-42: Configuración nodo MQTT in

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez se ha realizado el paso anterior se procedió a ingresar los parámetros de conexión:

- Server: Se ingresa la dirección publica proporcionada por TTN esta se puede apreciar en la ilustración 3-42, nam1.cloud.thethings.network.
- Port: De igual forma se ingresa el puerto proporcionado por TTN, 1883.
- Se habilita la opción de conectarse automáticamente
- Protocol: El protocolo a usar es MQTT v3.1.1.
- Keep alive: 60

La configuración de los parámetros de conexión se puede apreciar en la Ilustración 3-43.

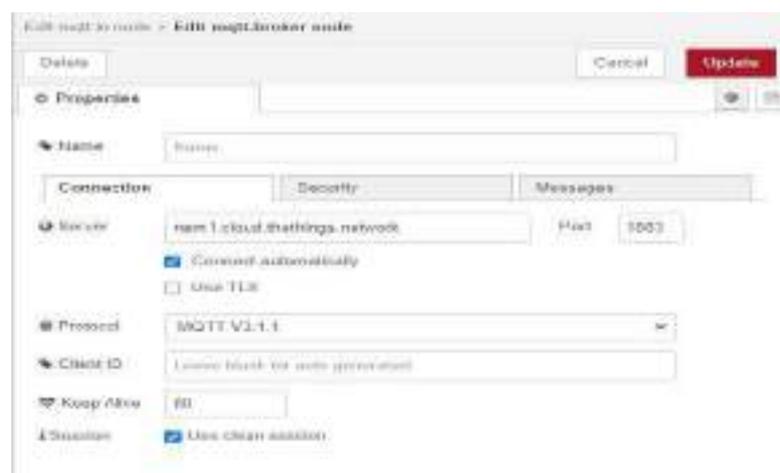


Ilustración 3-43: Parámetros de conexión de nodo MQTT

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para la configuración de los parámetros de seguridad se procedió a ingresar los siguientes datos:

- Username: gpslorarastreador@ttn
- Password: Corresponde al api key proporcionado por TTN

El procedimiento de la configuración de los parámetros de seguridad se puede apreciar en la Ilustración 3-44.



Ilustración 3-44: Parámetros de seguridad de MQTT.

Realizado por: Asqui J., 2023.

El siguiente paso fue configurar el tópico al cual se quiere suscribir este nodo en este caso se seleccionó el dispositivo lora 1 como se puede apreciar en la Ilustración 3-45.

El mismo procedimiento de suscripción se ha realizado para los demás dispositivos lora.

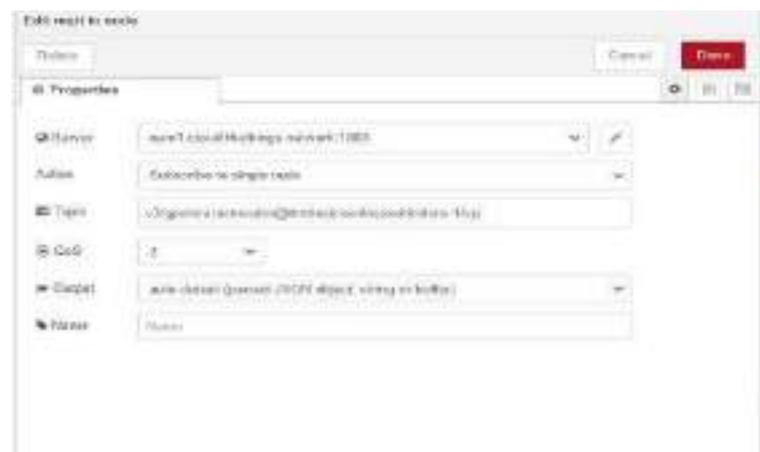


Ilustración 3-45: Suscripción a tópico dispositivo lora 1.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que los datos provenientes del servidor TTN han sido recibidos por Node-RED, se procedió a la extracción de cada uno de los datos. Para lograrlo se usó un nodo función en el que se implementó el siguiente código en Javascript, tal como se muestra en la Ilustración 3-46.



Ilustración 3-46: Código para extracción de datos de latitud y longitud enviados desde TTN.

Realizado por: Asqui J., 2023

De este modo, se logró la extracción exitosa del dato que indica la latitud y longitud en la que se encuentra el niño. Del mismo modo, se obtuvo el dato de temperatura mediante el siguiente código.

Código para extracción de temperatura:

```
msg.payload = msg.payload['uplink_message']['decoded_payload']['temperatura'];
```

Implementación de geocercas.

Después de extraer cada dato se delimito la zona en la cual el niño puede realizar sus actividades. Esto se logró mediante la implementación de una geo cerca. La finalidad de esta geo cerca es notificar en caso de que alguno de los niños abandone el área.

La geo cerca ha sido delimitada considerando la cobertura máxima en la cual el dispositivo envía datos de forma constante sin la existencia de perdida de paquetes.

Para llevar a cabo esta delimitación específica en el área del Parque Guayaquil en la ciudad de Riobamba, se empleó Google Earth Pro, una herramienta de acceso gratuito que no solo permite trazar límites mediante dibujos, sino que también facilita la medición precisa del perímetro que el Gateway puede cubrir. En la Ilustración 3-47 se puede ver la geo cerca implementada en el Parque Guayaqui. El mismo proceso se realizó para la implementación de la geo cerca en el

Mercado Víctor Proaño, en la Ilustración 3-48 se puede apreciar dicha geo cerca y en la Ilustración 3-49 se puede apreciar la implementación de la geo cerca en el campus de la ESPOCH.



Ilustración 3-47: Geo cerca del Parque Guayaquil de la ciudad de Riobamba.

Realizado por: Asqui J., 2023.



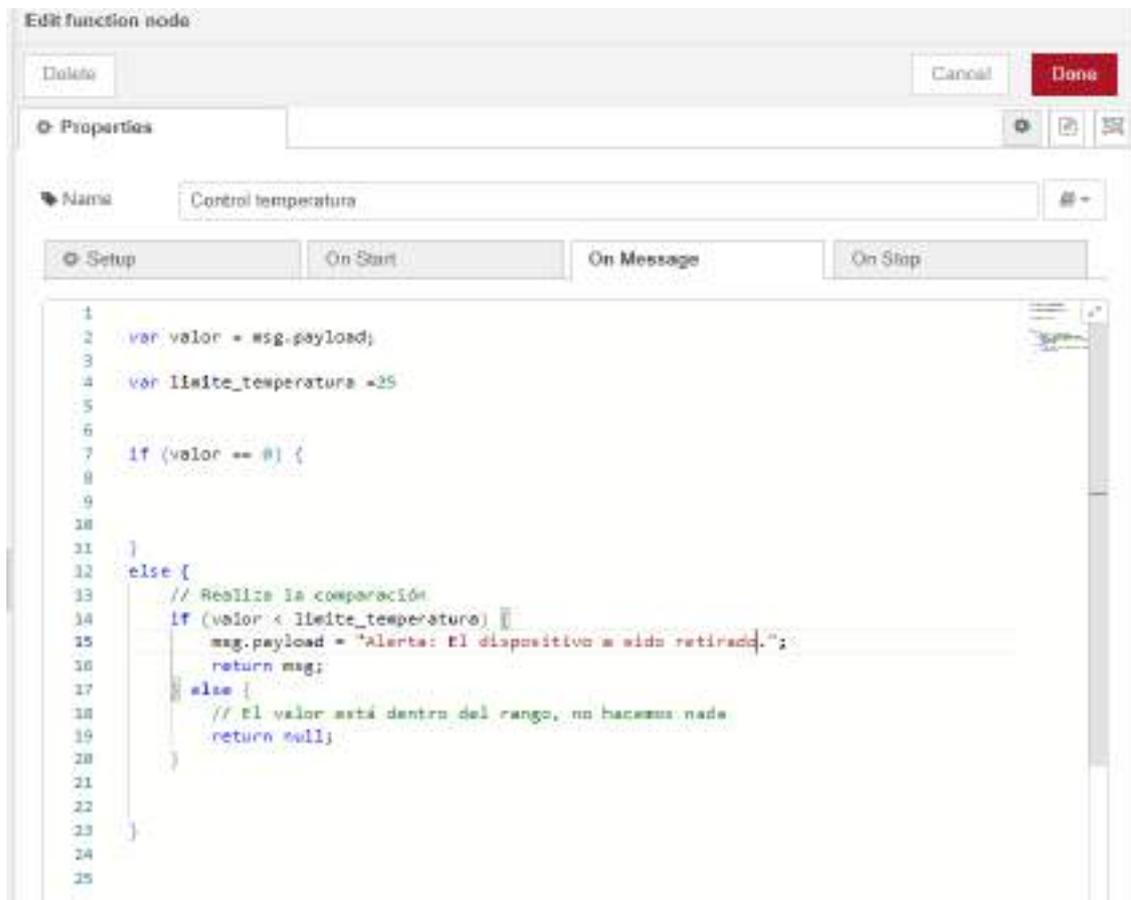
Ilustración 3-48: Geo cerca del Mercado Víctor Proaño de la ciudad de Riobamba.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Sistema de seguridad ante retiro de dispositivo.

Se optó por integrar un sistema de seguridad para el retiro del dispositivo. Dado que, aunque el dispositivo pueda encontrarse dentro de la geo cerca, existe la posibilidad de que sea retirado del niño. Por lo cual utilizo un sensor de temperatura que estará en contacto con el niño. De esta manera, si el dispositivo es retirado, se activará una alerta correspondiente.

En la Ilustración 3-51 se muestra el código usado para determinar si el dispositivo fue retirado del niño.



```
1
2 var valor = msg.payload;
3
4 var limite_temperatura = 25
5
6
7 if (valor == 0) {
8
9
10
11 }
12 else {
13 // Realiza la comparación
14 if (valor < limite_temperatura) {
15     msg.payload = "Alerta: El dispositivo a sido retirado.";
16     return msg;
17 } else {
18 // El valor está dentro del rango, no hacemos nada
19     return null;
20 }
21 }
22
23
24
25
```

Ilustración 3-51: Función para el control de la temperatura.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Implementación de sistema de alerta

Finalmente, se decidió incorporar un sistema de alertas a través de notificaciones en WhatsApp, aprovechando la facilidad de uso de un nodo especializado disponible en Node-RED para esta función.

Para la configuración del sistema de alerta se procedió a acceder al nodo Send Message y seleccionar la opción de configurar cuenta como se muestra en la Ilustración 3-52.

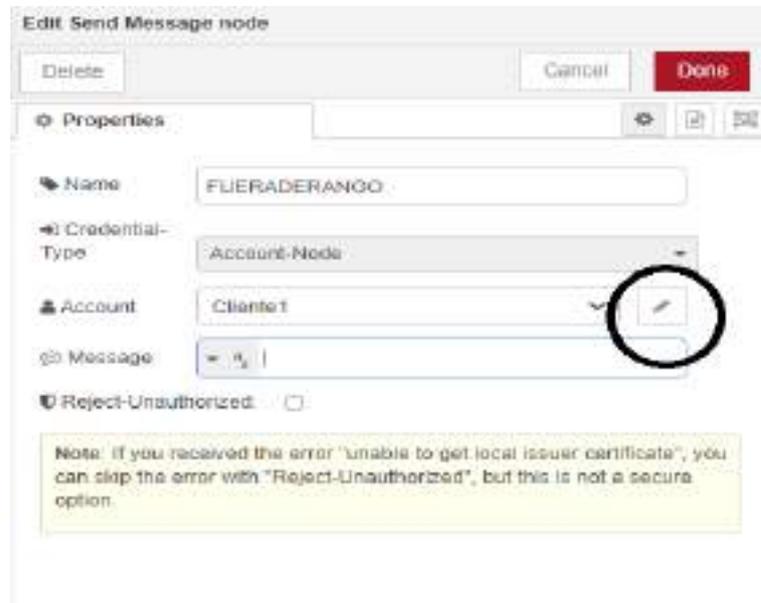


Ilustración 3-52: Configuración del nodo de envío de mensajes vía WhatsApp

Realizado por: Asqui J., 2023.

Al acceder a las configuraciones del nodo de envío de mensajes, es esencial ingresar el nombre del cliente que utilizará esta función, así como el número de teléfono y la API-KEY correspondientes, como muestra detalladamente en la Ilustración 3-53.

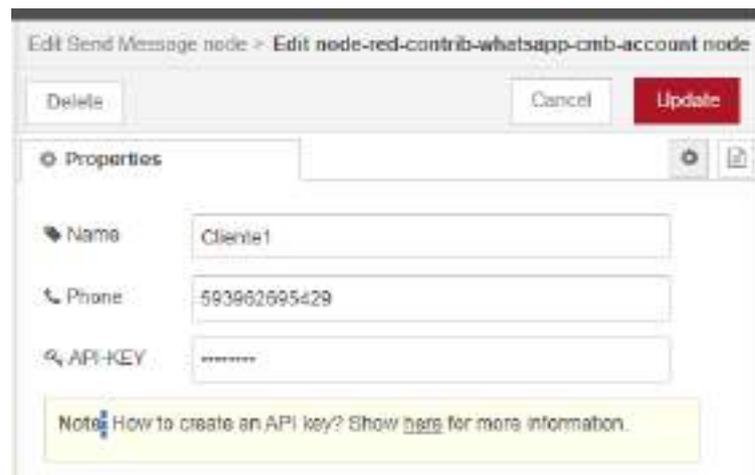


Ilustración 3-53: Configuración de propiedades para envío de notificaciones a WhatsApp

Realizado por: Asqui J., 2023.

Para obtener la API-KEY, se agregó el número de teléfono +34 644 66 32 62 a la lista de contactos y se envió el mensaje: "I allow callmebot to send me messages". Inmediatamente el bot envió la API-KEY, como se muestra en la Ilustración 3-54.

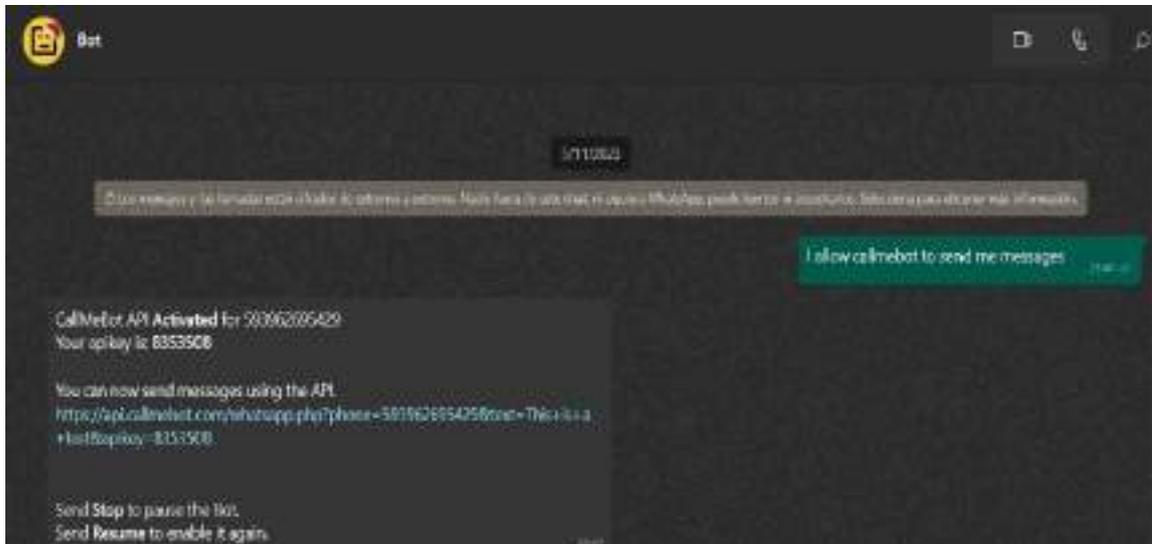


Ilustración 3-54: Obtención de API-KEY para uso de nodo WhatsApp.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Finalmente, se introdujo el mensaje que se enviará en caso de que el niño salga de la geocerca. Este mensaje específico se visualiza en la Ilustración 3-55, donde también se presentan los mensajes que se recibirán en WhatsApp como parte del proceso.

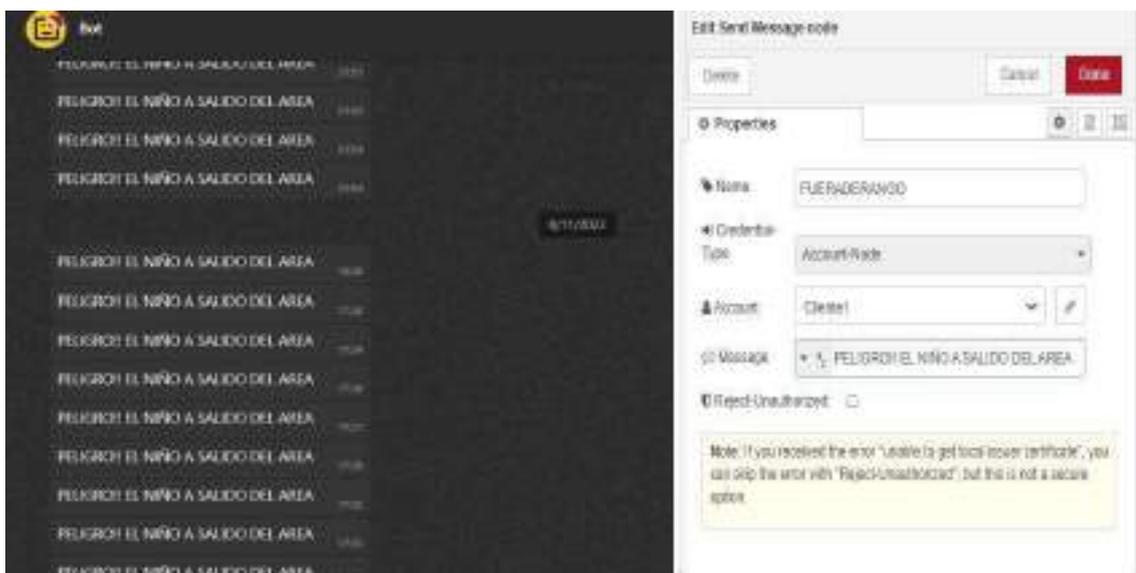


Ilustración 3-55: Implementación de mensajes de alerta.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.3.2 Implementación del nodo de almacenamiento

Es muy importante guardar los datos de las trayectorias realizadas por los niños por lo cual se optó por implementar un nodo de almacenamiento mediante el uso de una base de datos. La base de datos seleccionada fue Firebase por lo cual se procedió a la creación de una cuenta dentro de la misma.

Con la cuenta creada se ingresó a la consola dentro de la cual se seleccionó la opción de agregar un nuevo proyecto como se muestra en la Ilustración 4-56.



Ilustración 3-56: Proceso de creación de nuevo proyecto en Firebase.

Realizado por: Asqui J., 2023.

A continuación, se le da un nuevo nombre al proyecto se eligió el nombre de Rastreo como se puede ver en la Ilustración 3-57.

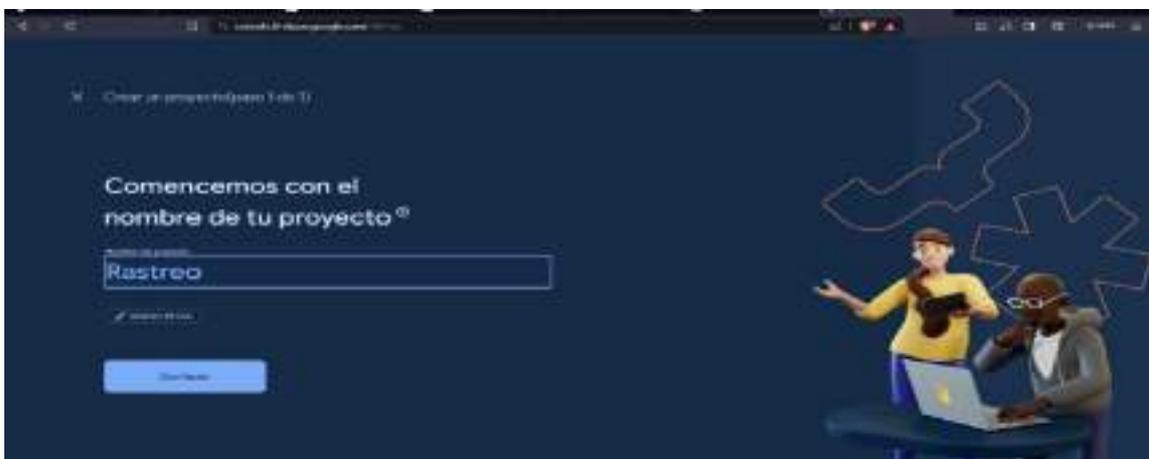


Ilustración 3-57: Asignación de nombre de la Base de datos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En el paso siguiente, Google consulta si se desea utilizar Google Analytics, dado que no es necesario para la base de datos, se procede a deshabilitar esta opción, tal como se muestra en la Ilustración 3-58.



Ilustración 3-58: Des habilitación de Google Analytics.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez creada la base de datos, es necesario dirigirse a Realtime Database para poder utilizar una base de datos en tiempo real, como se puede observar en la Ilustración 3-59.



Ilustración 3-59: Ingreso a la base de datos en tiempo real.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Después de acceder a la base de datos en tiempo real, se procedió a ingresar a Node-RED. Dentro de esta plataforma, se empleó un nodo de función para incorporar todos los datos pertinentes y almacenarlos en la base de datos. En la Ilustración 3-60 se presenta el código utilizado, el cual incluye información como el nombre, latitud, longitud, fecha y temperatura.



```
1 var latitud = msg.payload["payload_message"]["sensor_payload"]["latitude"];
2 var longitud = msg.payload["payload_message"]["sensor_payload"]["longitude"];
3
4 if (latitud == 0 && longitud == 0) {
5   // Manejar el caso donde latitud y longitud son 0
6
7   // Pueden agregar dígitos adicionales o desplazamientos de bytes aquí
8 } else {
9   // Obtener la fecha y hora actual en formato ISO8601 y en la zona horaria local
10  var currentDate = new Date();
11
12  var timestamp = currentDate.toISOString(); // Pueden personalizar este campo sus necesidades
13  var coordinates = msg.payload["payload_message"]["sensor_payload"]["temperature"];
14
15  // Crear el objeto con el formato adecuado para Firebase y la fecha
16  var coordinates = {
17    "name": "latitud",
18    "lat": latitud,
19    "lon": longitud,
20    "time": timestamp,
21    "temperature": "temperatura",
22  };
23
24  // Eliminar el mensaje de salida con el formato adecuado por Firebase
25  msg.payload = coordinates;
26
27  // Enviar el mensaje para graficar en el Step
28  return msg;
29 }
```

Ilustración 3-60: Datos que serán enviados a la base de datos de Firebase.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Posteriormente, se avanzó al siguiente paso utilizando un nodo de modificación de Firebase. En este nodo, se ajustaron las configuraciones de Firebase según aprecia en la Ilustración 3-61.

A continuación, se eligió Latitud como la ruta del Child Path, para el método se seleccionó Push, y el valor asignado fue msg.payload.



Ilustración 3-61: Proceso de configuración de nodo Firebase Modify.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Dentro de las configuraciones de Firebase, se procedió a copiar el enlace de la base de datos en tiempo real suministrado por Firebase, tal y como se evidencia en la Ilustración 3-62. Este enlace es crucial para establecer la conexión y facilitar la interacción entre las aplicaciones, permitiendo así un acceso efectivo a la base de datos en tiempo real desde la plataforma Firebase.

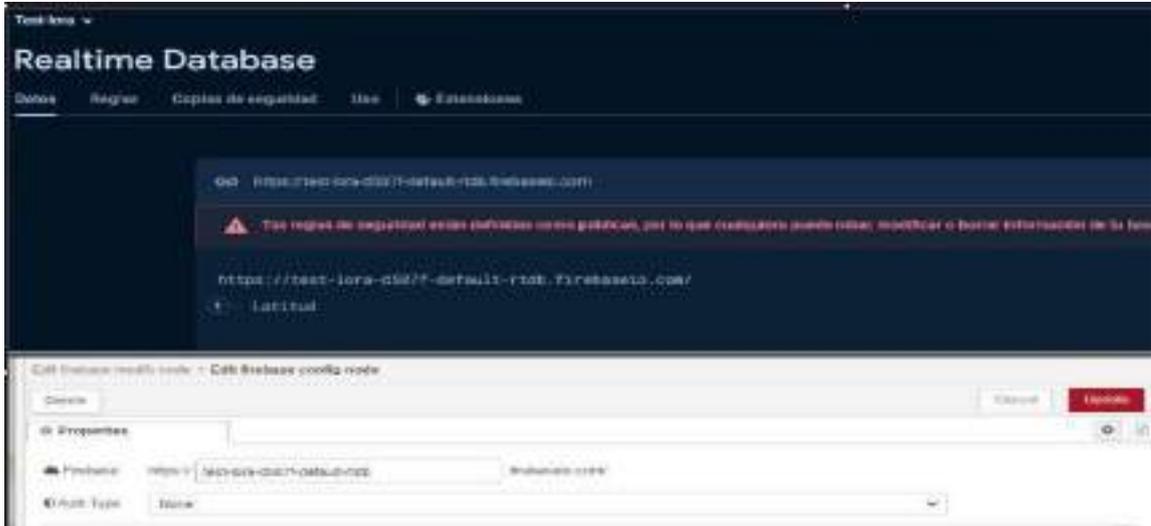


Ilustración 3-62: Modificación de enlace de base de datos Firebase.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En la Ilustración 3-63, se muestran los datos que se enviarán desde Node-RED a Firebase Realtime Database en donde se guardarán los datos de nombre, latitud, longitud, velocidad, fecha y temperatura.



Ilustración 3-63: Datos almacenados por la base de datos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Una vez que se ha completado el envío de datos a la base de datos, es importante recuperar los datos de la base de datos. Por lo cual se ha utilizado un nodo `firebase.once`. Este nodo permite la recuperación de los datos almacenados en la base de datos cada vez que se inicia un evento. En este caso el evento inicia con la selección de una fecha a través de un nodo de selección de fechas (`date picker`), de un nodo dropdown el cual permite añadir opciones para escogerse en este caso se ha optado por ingresar nombres para cada usuario, también se añadió otro nodo dropdown para seleccionar un rango de horas de recuperación de la base de datos, tal como se evidencia en la Ilustración 3-64.

El código usado para recuperar los nombres de cada usuario es el siguiente: `var usuario = msg.payload;`
`context.global.usuario = usuario;`

`return msg;`

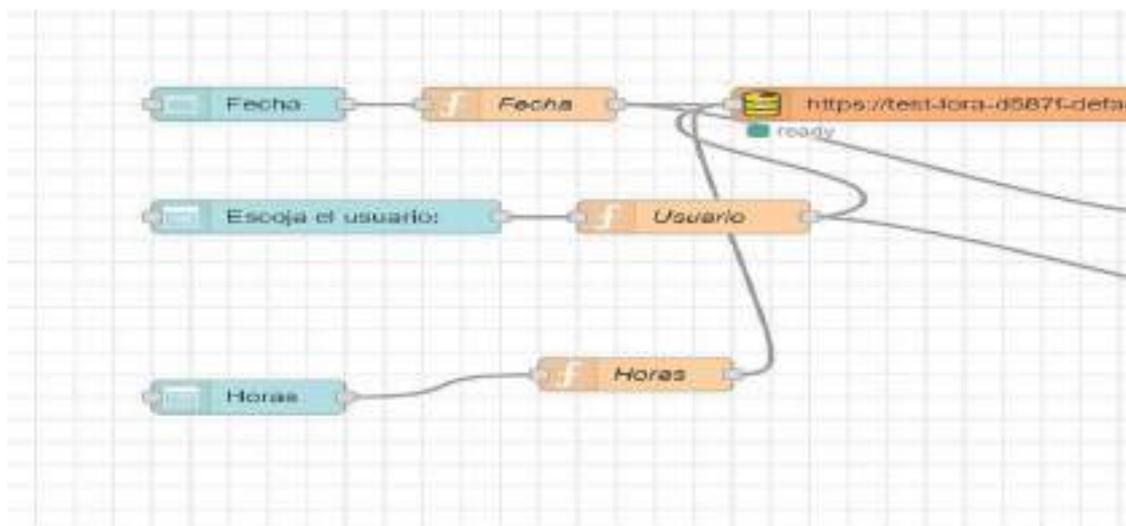


Ilustración 3-64: Conexión de nodo `date picker` y nodo dropdown con nodo función y nodo `firebase.once`.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Se ha incorporado un nodo de función entre ambos elementos, dado que el nodo de selección de fechas (`date picker`) proporciona tanto la fecha como la hora, siendo esta última innecesaria para la selección de datos en la base de datos. Con el fin de eliminar estos datos innecesarios se ha desarrollado un código en JavaScript, el cual está detallado en el Anexo D.

Cuando el nodo `firebase.once` se halla ingresado al flujo de Node-RED se configurará de manera automática tomando los datos de configuración del nodo `firebase modify` como se muestra en la Ilustración 3-65.

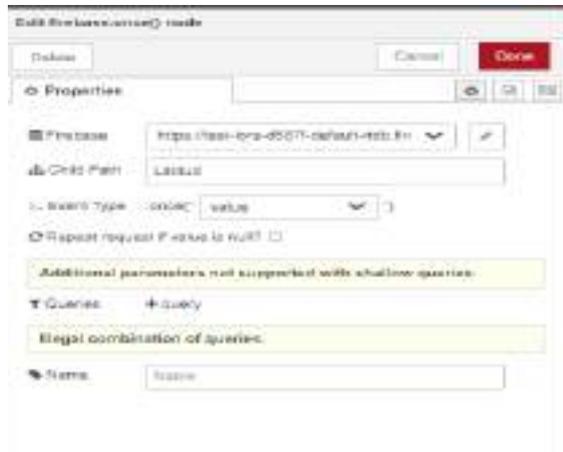


Ilustración 3-65: Configuración de nodo `firebase.once`

Realizado por: Asqui J., 2023.

Los datos obtenidos a través del nodo `firebase.once` se recopilan de manera acumulativa. Fue necesario obtener estos datos individualmente, para lograr graficar los datos en el dashboard. Para lo cual se implementó un nodo de función el cual realizara la separación de los datos. También se implementó un nodo el cual permita recuperar los datos de la fecha, niño específico y el rango de horas seleccionado por el usuario. El código usado se muestra en la Ilustración 3- 66. Al ser el código muy extenso se ha optado por añadirlo al Anexo F.

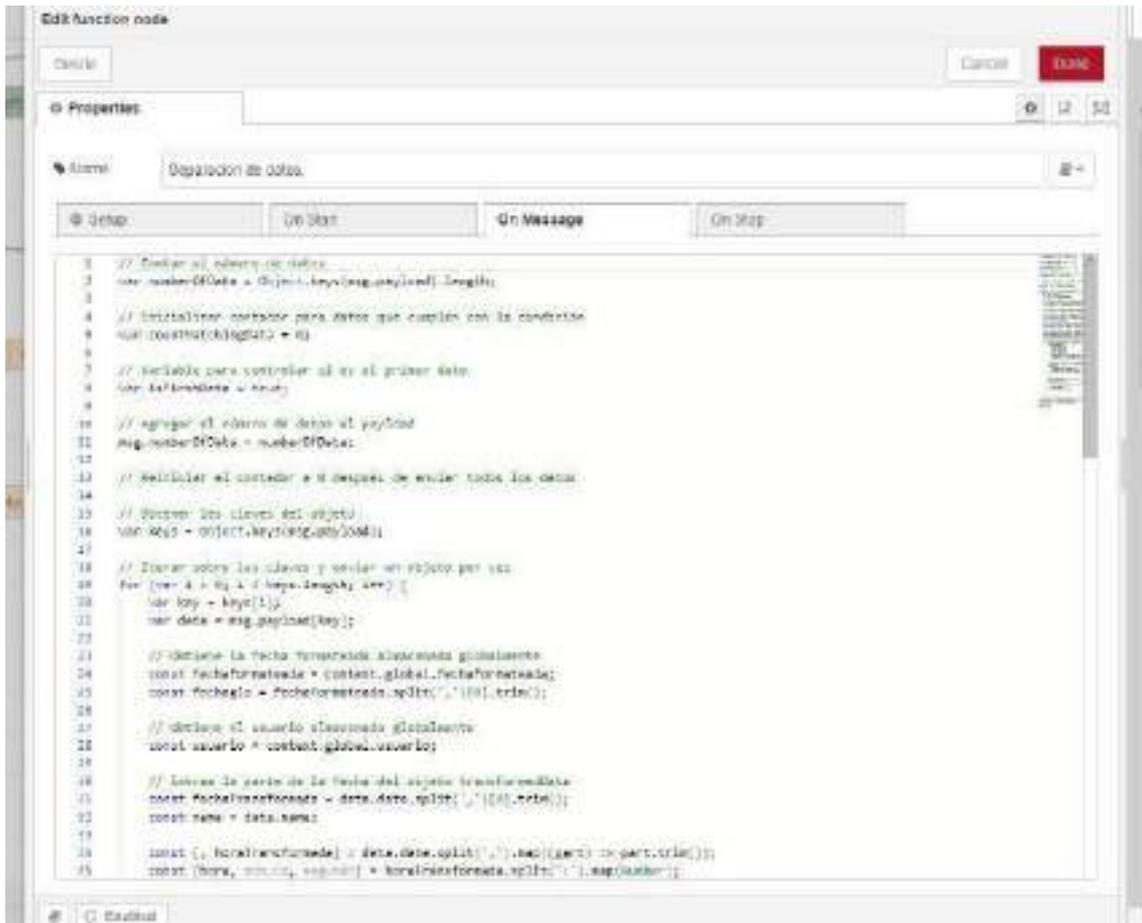


Ilustración 3-66: Proceso de comparación y separación de datos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

3.4.3.3 Implementación del nodo de visualización.

Para la implementación del nodo de visualización se ha seleccionado el dashboard de Node-Red, el cual posee nodos que puede ser utilizados para cumplir con los requisitos del dispositivo de localización de niños. Worldmap es uno de estos nodos el cual permite visualizar los datos de GPS que llegan a la plataforma TTN. También posee en nodo Gauge el cual permite visualizar la temperatura del niño, que se usara como un sistema de aleta en caso de retire del dispositivo.

Para acceder al nodo Worldmap es necesario tenerlo dentro del flujo de Node-red y conectarlo al nodo de función que fue implementado en la Ilustración 3-60. Sin embargo, este nodo solo permite la visualización del punto en específico en el cual se encuentra mas no del recorrido realizado por lo cual se optó por la implementación del nodo Tracks el cual permite visualizar el recorrido realizado.

El dashboard del nodo Worldmap y Tracks se muestra en la Ilustración 3-67



Ilustración 3-67: Rastreo en tiempo real mediante el uso de worldmap y tracks.

Realizado por: Asqui J., 2023.

De igual forma se usaron los nodos Worldmap y Tracks para la recuperación de datos dentro de la base de datos como muestra en la Ilustración 3-68.

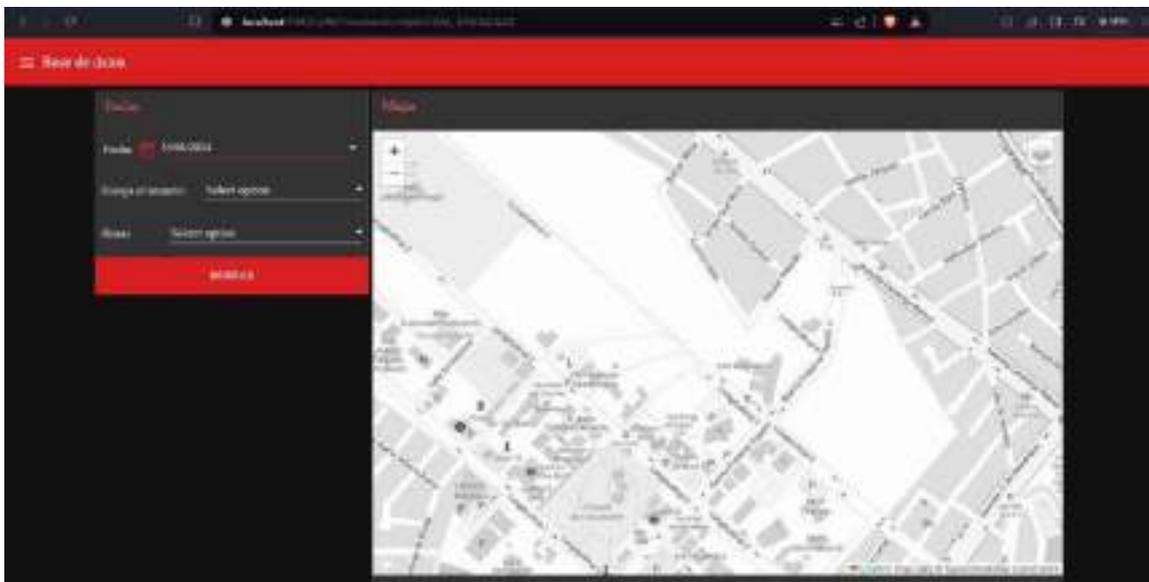


Ilustración 3-68: Recuperación de trayectoria mediante el uso de la base de datos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Por último, se optó por usar un nodo Gauge para indicar la temperatura corporal del niño como se muestra en la Ilustración 3-69. Esta temperatura permitirá saber si el niño tiene el dispositivo colocado o ha sido retirado.

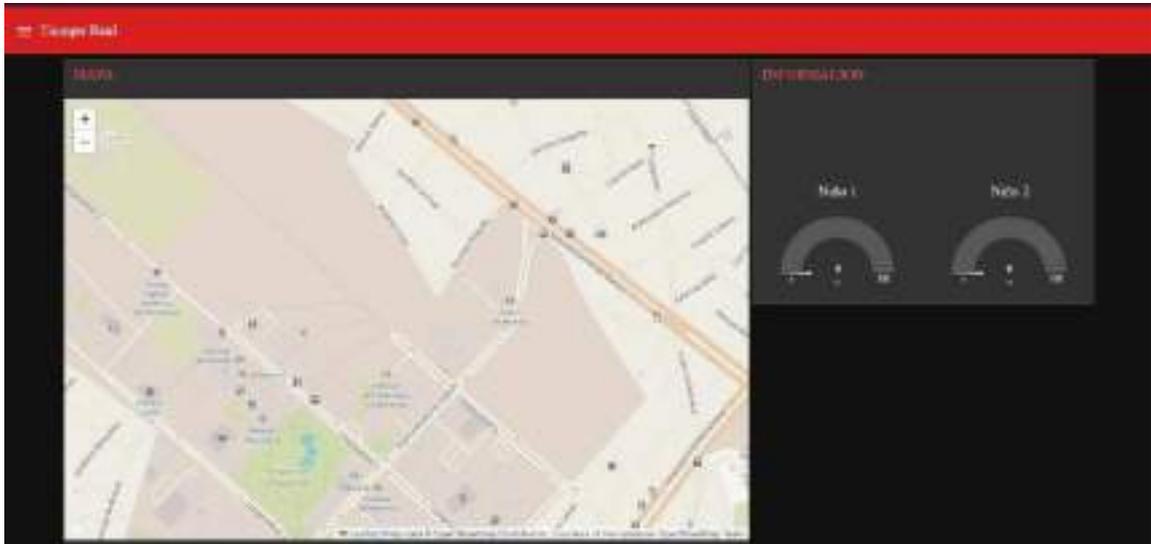


Ilustración 3-69: Dashboard en tiempo real para la localización de niños.

Realizado por: Asqui J., 2023.

En la Ilustración 3-70 se muestra la configuración de la conexión de los nodos usados para la creación del Dashboard en tiempo real y de la base de datos.

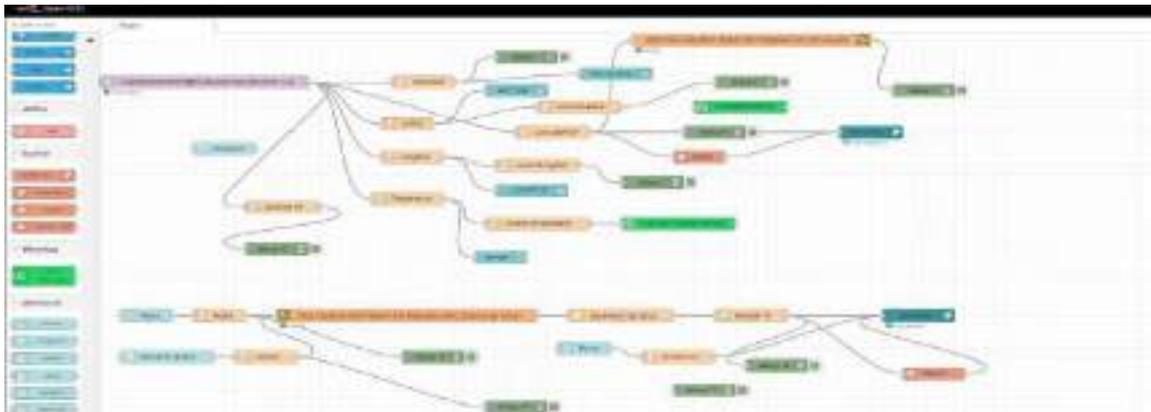


Ilustración 3-70: Conexión de nodos para el Dashboard en tiempo real y la base de datos.

Realizado por: Asqui J., 2023.

Los datos de ubicación del niño pueden ser visualizados localmente sin embargo es importante acceder a estos datos en cualquier momento por lo cual fue necesario sacar estos datos a Internet, esto se logró mediante el uso de Ngrok el cual permite crear un túnel con salida a Internet y mostrar los datos a través de un dominio.

El proceso inicial consistió en la creación de una cuenta en NGROK, accesible a través del siguiente enlace: <https://dashboard.ngrok.com/signup>. Después de haber creado la cuenta, se procedió a la sección "Setup & Installation". Dentro de esta sección, se seleccionó la opción "Download" para descargar el programa NGROK. El procedimiento detallado se encuentra en la Ilustración 3-71.

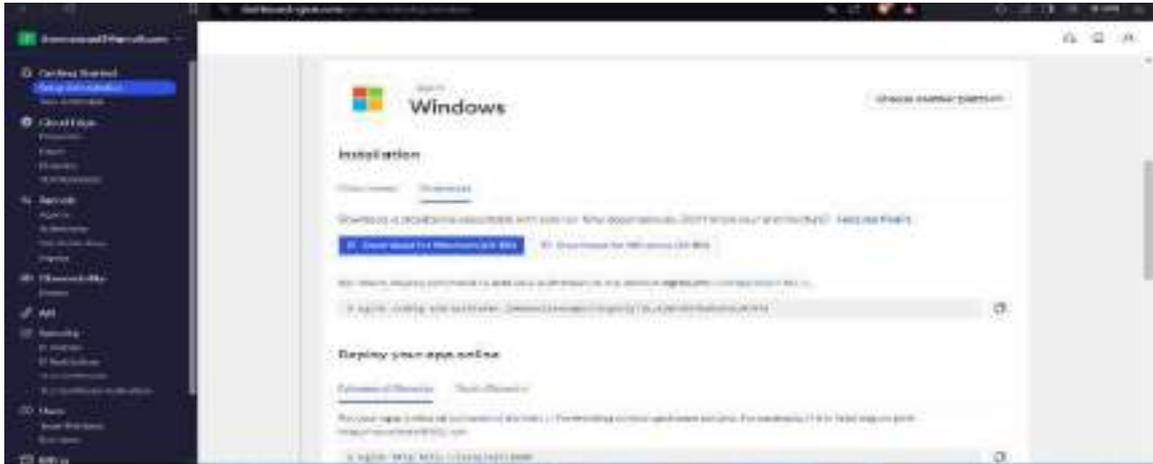


Ilustración 3-71: Descarga de programa Ngrok.

Realizado por: Asqui J., 2024.

A continuación, fue necesario obtener el token de autenticación esto se logró ingresando a la sección "Your Authtoken" y dentro de Ngrok se ingresa el siguiente comando:

```
ngrok config add-authtoken 2bHxwacIcenLWpDzCSugOnfgT1k_4jWFUEK7BaRx9fyzMJ9Td
```

El proceso realizado se muestra en la Ilustración 3-72.

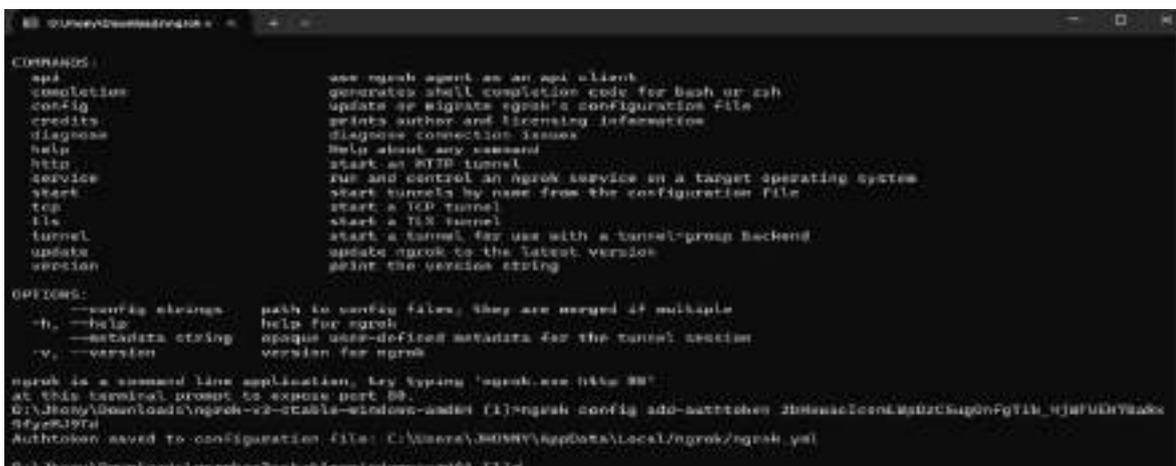


Ilustración 3-72: Proceso de adyacencia de token de autenticación.

Realizado por: Asqui J., 2024.

El siguiente paso es ingresar el comando Ngrok http 1880 cabe recalcar que el puerto 1880 es el puerto que usa node-red para la conexión por lo cual es necesario que node-red este activo en el momento de ingresar el comando. Una vez ingresado el comando se obtiene una dirección la cual se usará para ingresar al dashboard de node-red desde cualquier lugar como se muestra en la Ilustración 3-73.



```
ngrok
build better APIs with ngrok. Get your access token at ngrok.com/auth/your-token

Session Status      online
Account             jhoanynasqui13@gmail.com (Plus: Free)
Version             1.5.0
Region              South America (sa)
Latency             =
Web Interface       http://127.0.0.1:4040
Forwarding           https://78ae-179-235-1-20.ngrok-free.app -> http://localhost:1880

Connections
  ttl    opn    rt1    rt5    p50    p90
    0     0     0.00  0.00  0.00  0.00
```

Ilustración 3-73: Ingreso a puerto 1880 de node-red.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Como último paso se procedió a verificar el acceso a node-red desde un dispositivo móvil que no se encuentre en la misma red local. En la Ilustración 3-74 se muestra el dashboard del tiempo real y en la Ilustración 3-75 se puede apreciar el acceso a la base de datos.



Ilustración 3-74: Acceso a dashboard de tiempo real.

Realizado por: Asqui J., 2024.

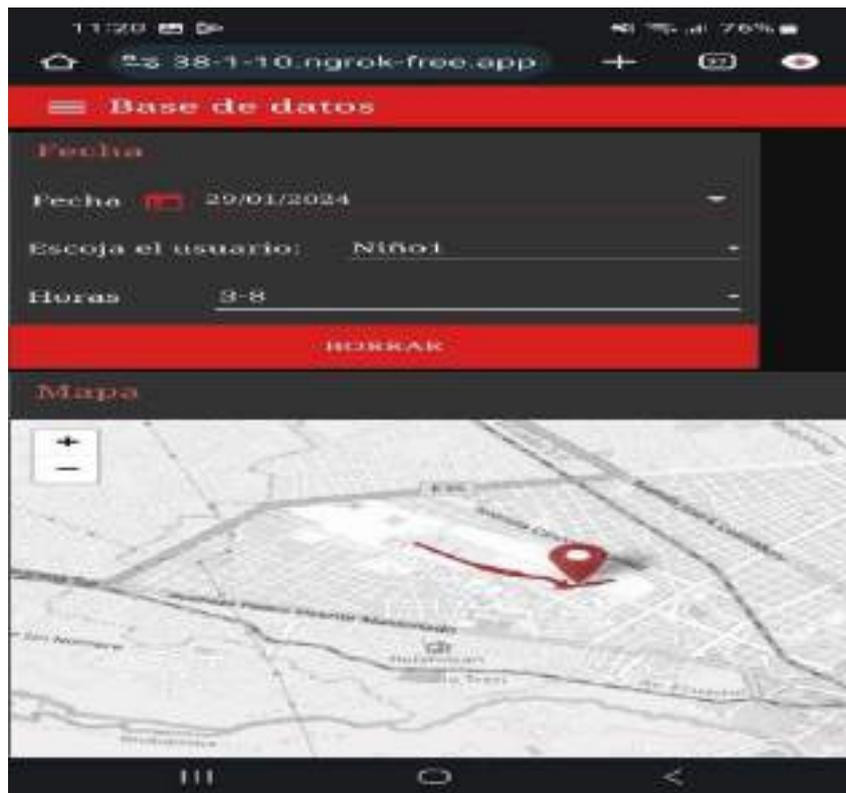


Ilustración 3-75: Acceso a dashboard de base de datos

Realizado por: Asqui J., 2024.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se dará a conocer los resultados obtenidos del sistema con tecnología LoRawan para localización de niños de entre 0 y 11 años en ambientes abiertos de alta concurrencia. La validación de los resultados se realizará por medio del análisis de parámetros técnicos tales como cobertura máxima, latencia, precisión y consumo energético del sistema en los escenarios propuestos.

4.1 Localización del Gateway en los diferentes escenarios propuestos

Para la realización de las pruebas de funcionamiento del dispositivo se han planteado 3 escenarios un parque, un mercado y el campus de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Por lo cual se optado por colocar el Gateway en un punto estratégico en cada uno de los escenarios propuestos, en la Tabla 4-1 se puede apreciar de manera fácil las ubicaciones seleccionadas.

Tabla 4-1: Localización del Gateway en los diferentes escenarios.

Parque	Mercado	ESPOCH	
Ciudad	Riobamba	Riobamba	
Sector	Parque Guayaquil	Mercado Víctor Proaño	Campus ESPOCH
Referencia	Concha Acústica	Parte Norte del Mercado	Edificio de Software
Coordenadas	-1.666255°, -78.658695°	-1.672399°, -78.654196°	-1.656043°, -78.679094°

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para una mejor apreciación de los lugares en donde fue colocado el Gateway se hizo uso de Google Earth Pro para la localización en el parque Guayaquil se puede apreciar en la Ilustración 4-1.



Ilustración 4-1: Localización del Gateway en el Parque Guayaquil.

Realizado por: Asqui J., 2024.

La ubicación del Gateway en el mercado Víctor Proaño se puede ver en Ilustración 4-2.



Ilustración 4-2: Localización del Gateway en el mercado Víctor Proaño.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Por último, la ubicación del Gateway en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se puede apreciar en la Ilustración 4-3.



Ilustración 4-3: Localización del Gateway en la ESPOCH.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2 Análisis de cobertura máxima del sistema.

Para realizar el análisis de la cobertura máxima del sistema, se consideró los distintos escenarios planteados. La información de los recorridos realizados se recuperó de la base de datos, y utilizando Google Earth Pro, se lograron determinar las siguientes distancias de cobertura.

4.2.1 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia la Facultad de Recursos Naturales.

Para realizar el análisis, se empleó la base de datos que contenía las mediciones efectuadas durante los recorridos realizados en diferentes locaciones. En este registro, se capturaron los datos de ubicación GPS desde el Gateway ubicado en el edificio de Software hasta la Facultad de Recursos Naturales, como se muestra en la Ilustración 4-4.

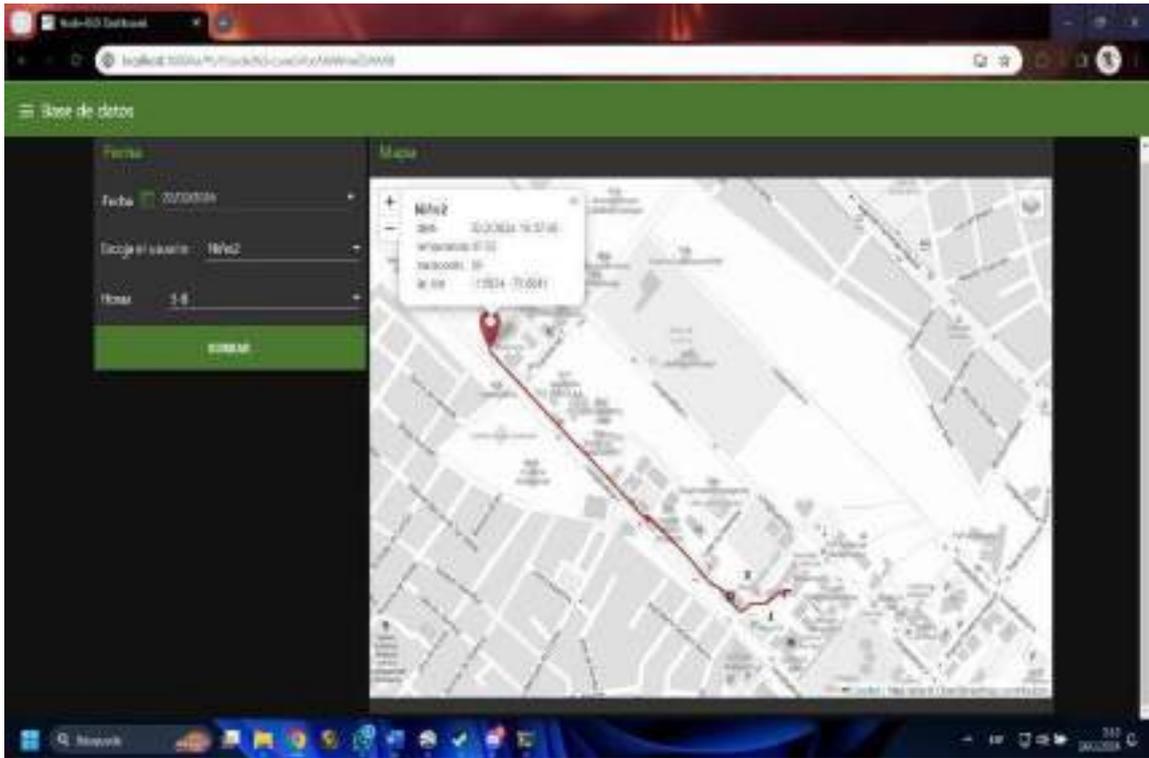


Ilustración 4-4: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 2 hacia el norte de la ciudad.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar con precisión la distancia alcanzada, se utilizó Google Earth Pro, en el cual se ingresó la última coordenada registrada (-1.6624, -78.6841) se logró obtener una distancia de 688.17 metros como se puede observar en la Ilustración 4-5.

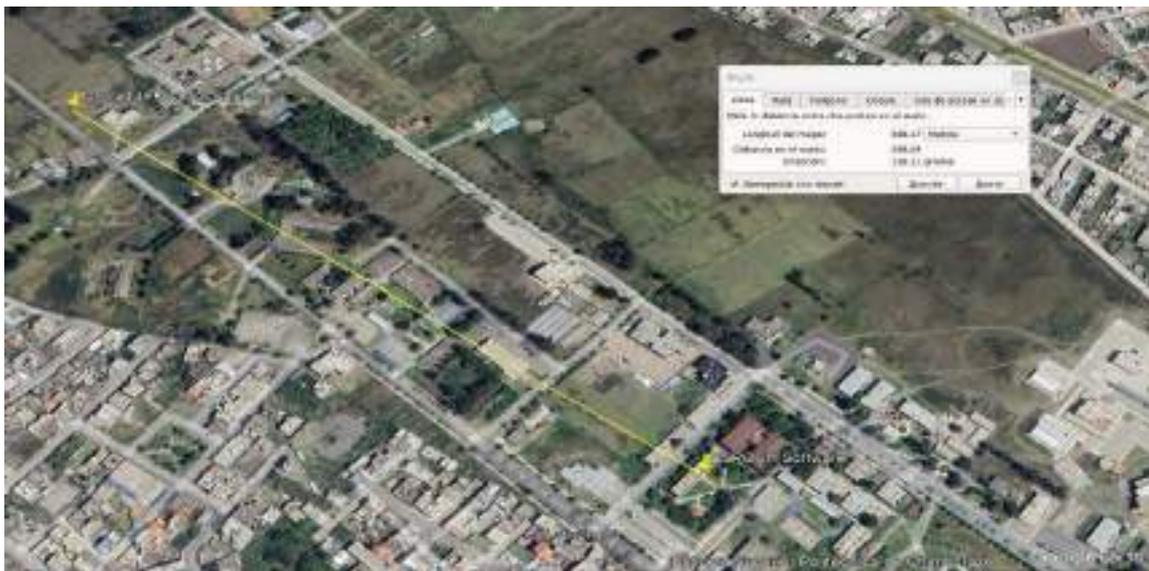


Ilustración 4-5: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.2 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia el Parque Isidro Gallegos.

De igual forma se realizó un recorrido desde el edificio de software hasta el parque Isidro Gallegos obteniendo la última coordenada registrada (-1.6627, -78.6776) la cual corresponde al Parque Isidro Gallegos como se puede ver en la Ilustración 4-6.

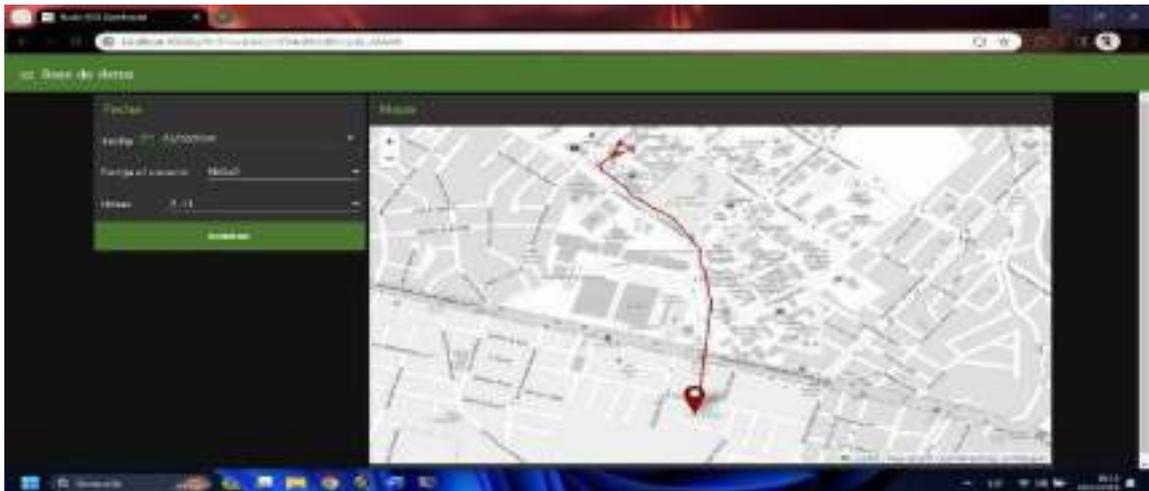


Ilustración 4-6: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2 hacia la puerta principal de la ESPOCH.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada en Google Earth Pro se evidenció que se logró obtener una distancia máxima de 754.48 m como se muestra en la Ilustración 4-7.



Ilustración 4-7: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.3 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia el Parque de los Maestros

Al realizar el tercer recorrido se logró alcanzar la coordenada (-1.6589, -78.6813) la cual corresponde al Parque de los Maestros el recorrido se evidencia en la Ilustración 4-8.

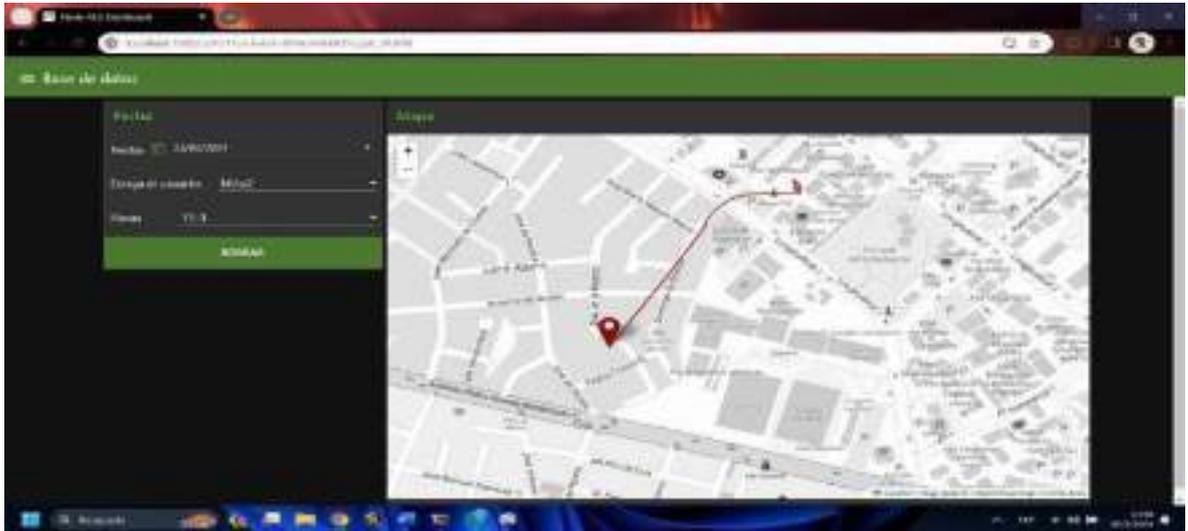


Ilustración 4-8: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2 hacia el Parque de los Maestros.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada registrada del recorrido 3 en Google Earth Pro se logró alcanzar una distancia máxima de 389.46 m como se puede ver en la Ilustración 4-9.



Ilustración 4-9: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.4 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde Gateway ubicado en la ESPOCH hacia la Av. Sergio Quirola y Camilo Egas.

Al realizar el cuarto recorrido se logró alcanzar la coordenada (-1.6519, -78.6714) la cual corresponde a los rieles del tren ubicada en las calles Av. Sergio Quirola y Camilo Egas el recorrido se evidencia en la Ilustración 4-10.

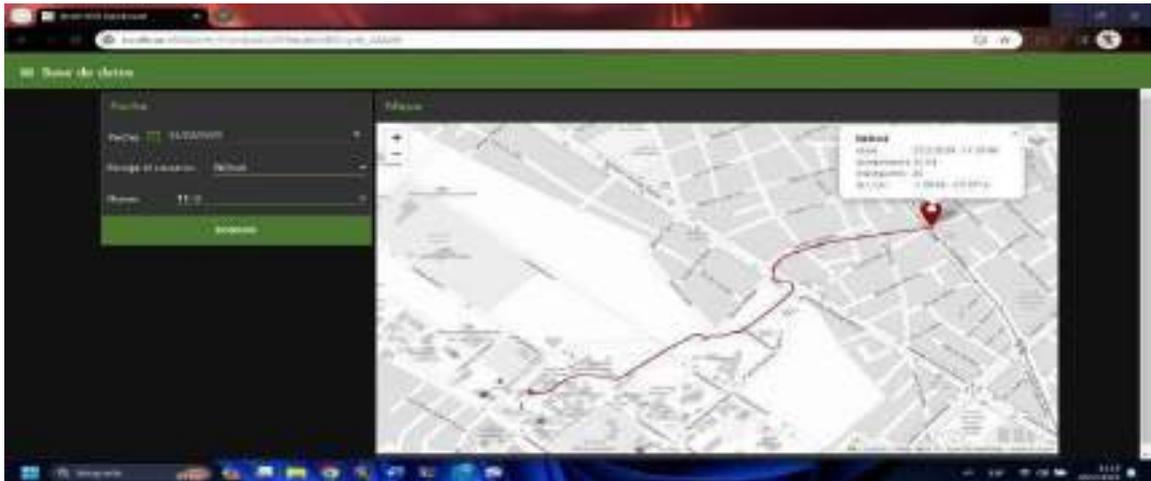


Ilustración 4-10: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 4 hacia los rieles del tren.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada registrada del recorrido 4 en Google Earth Pro se logró alcanzar una distancia máxima de 967.26 m como se puede ver en la Ilustración 4-11.



Ilustración 4-11: Cálculo de distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 4.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.5 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.

Para realizar el análisis de cobertura máxima en el mercado Víctor Proaño se ha realizado 4 recorridos, en el primer recorrido se realizó con el dispositivo 3 se logró llegar a la coordenada (-1.6683, -78.6509) correspondiente a las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos el recorrido se puede apreciar en la Ilustración 4-12.

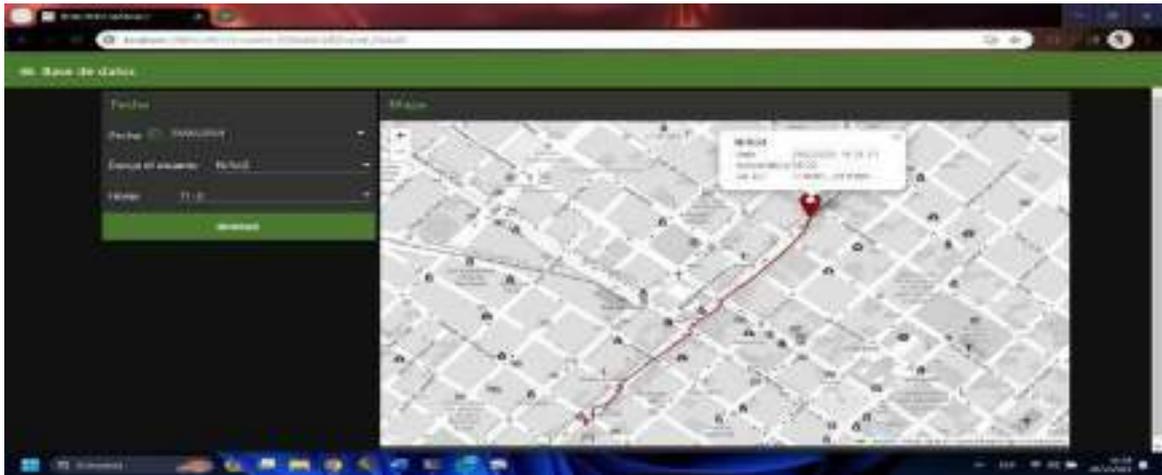


Ilustración 4-12: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3 hacia las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada registrada por el dispositivo 3 en Google Earth Pro en el recorrido 1 se logró alcanzar una distancia máxima de 578.54 m como se puede apreciar en la Ilustración 4-13.

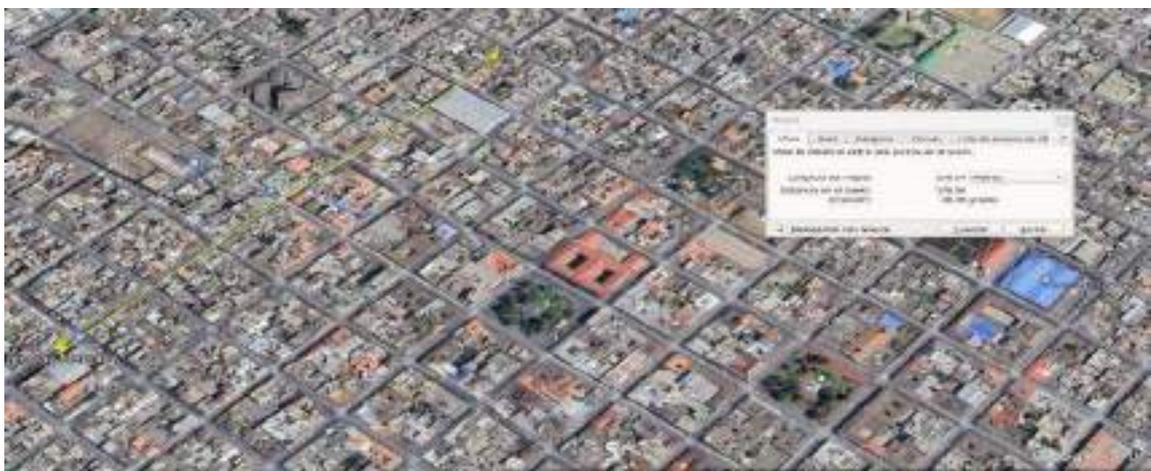


Ilustración 4-13: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.6 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.

El segundo recorrido fue realizado desde el Mercado Víctor Proaño con el dispositivo 2 obteniendo como ultima coordenada (-1.677, -78.6586) correspondiente a la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte como se puede apreciar en la Ilustración 4-14.

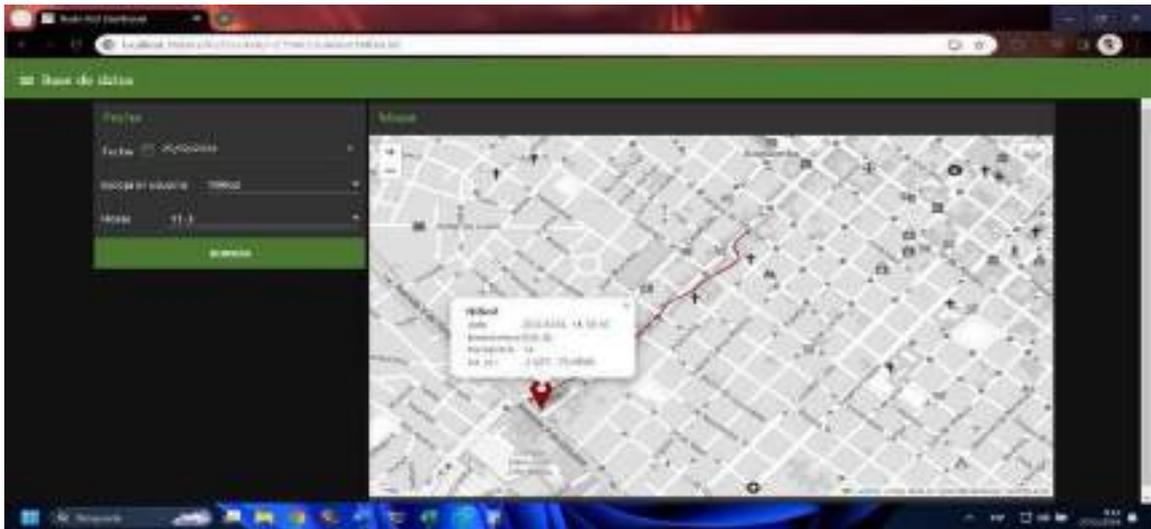


Ilustración 4-14: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2 hacia la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la distancia máxima alcanzada se realizó el mismo proceso de ingresar la última coordenada registrada en Google Earth Pro evidenciándose que la distancia máxima fue de 711.76 m como se puede apreciar en la Ilustración 4-15.

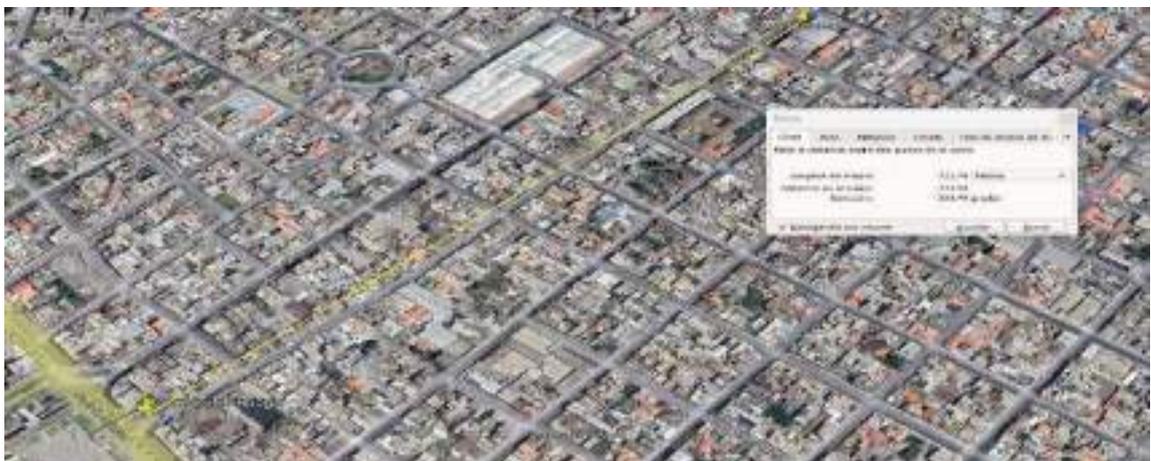


Ilustración 4-15: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.7 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.

El tercer recorrido realizado con el dispositivo 2 desde el Mercado Víctor Proaño la última coordenada registrada fue (-1.6746, -78.651) la cual corresponde a las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel como se puede ver en la Ilustración 4-16.

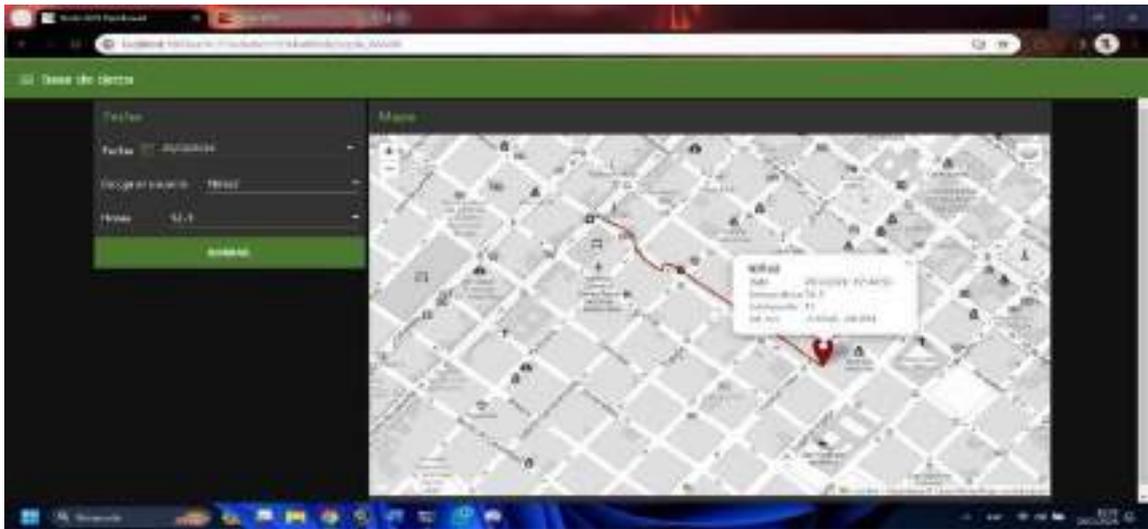


Ilustración 4-16: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2 hacia las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Mediante el uso de Google Earth Pro se ingresó la última coordenada registrada obteniéndose una distancia máxima de 424.61 m como se puede apreciar en la Ilustración 4-17.

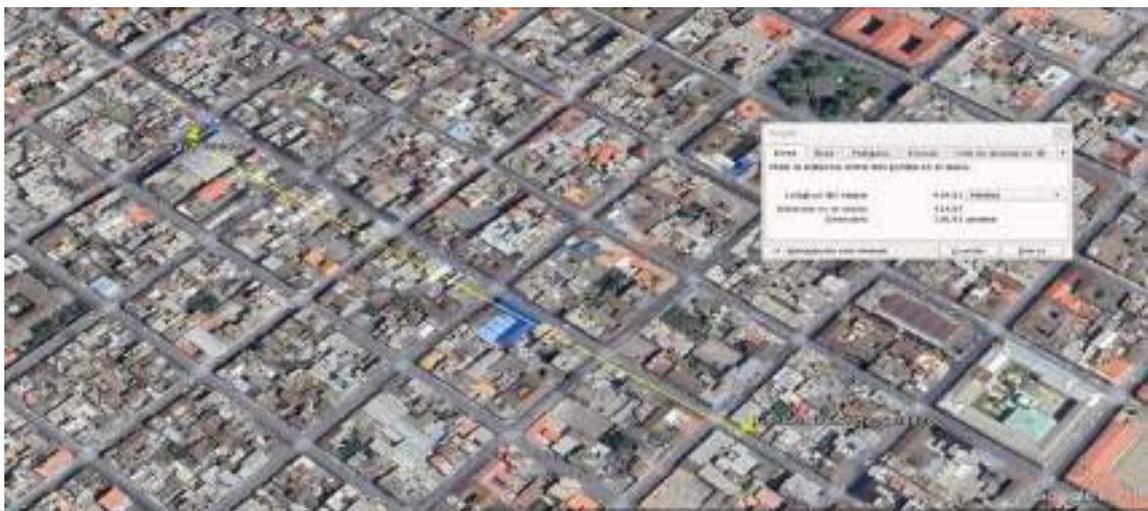


Ilustración 4-17: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.8 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde el Gateway ubicado en el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.

Por último, para el cálculo de la cuarta distancia se utilizó el dispositivo 2 desde el Mercado Víctor Proaño obteniéndose como ultima coordenada (-1.6692, -78.6572) la cual corresponde a las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia como se puede evidenciar en la Ilustración 4-18.

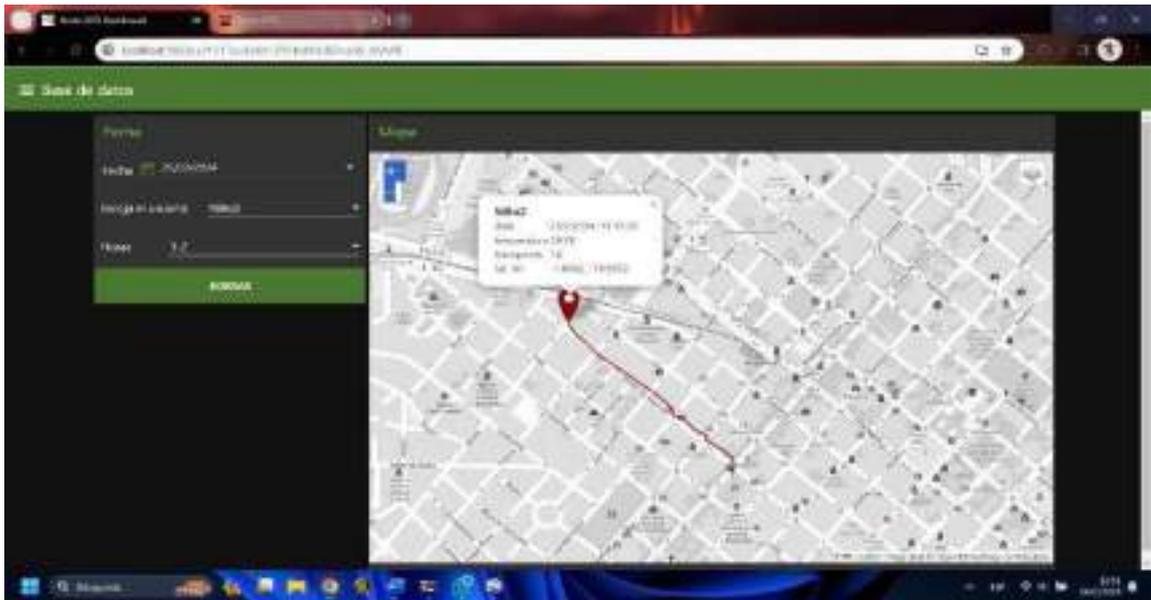


Ilustración 4-18: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 2 hacia las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Se ingreso la última coordenada en Google Earth Pro en la cual se evidencio que la distancia máxima fue de 488.14 m la cual se puede ver en la Ilustración 4-19.

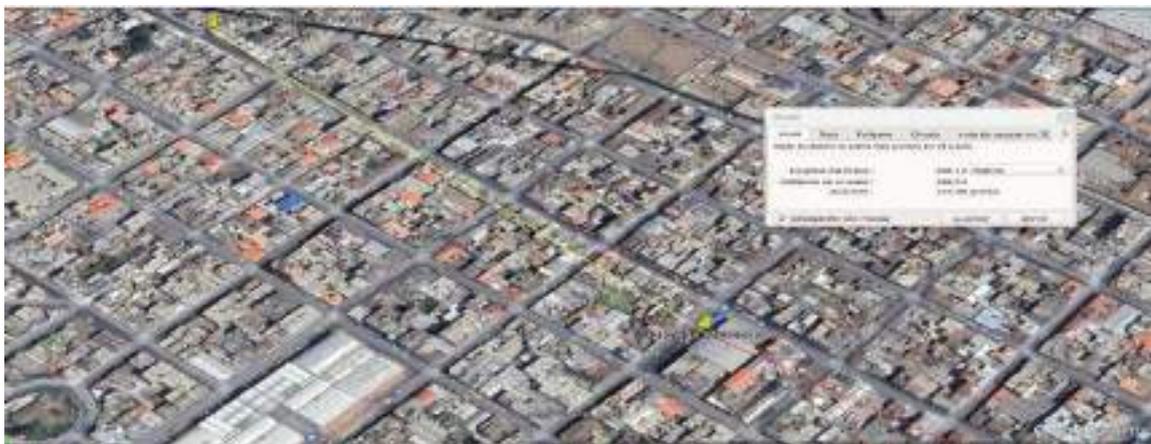


Ilustración 4-19: Cálculo de distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 2.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.9 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 1 desde el Parque Guayaquil hasta la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.

Para realizar el análisis de cobertura máxima en el Parque Guayaquil se ha realizado 4 recorridos, en el primer recorrido se realizó con el dispositivo 3 se logró llegar a la coordenada (-1.6598, -78.6655) correspondiente a la Escuela Arnaldo Merino Muñoz el recorrido se puede apreciar en la Ilustración 4-20.

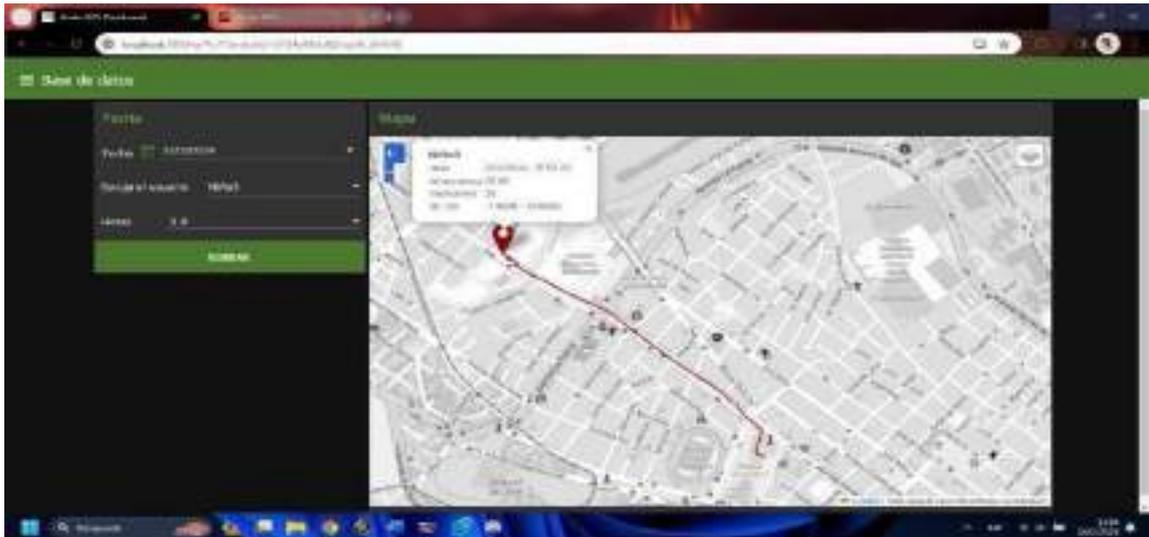


Ilustración 4-20: Distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3 hacia la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para la obtención de la distancia específica se procedió a ingresar la última coordenada en Google Earth Pro obteniéndose una distancia máxima de 1039.64 m la cual se puede apreciar en la Ilustración 4-21.

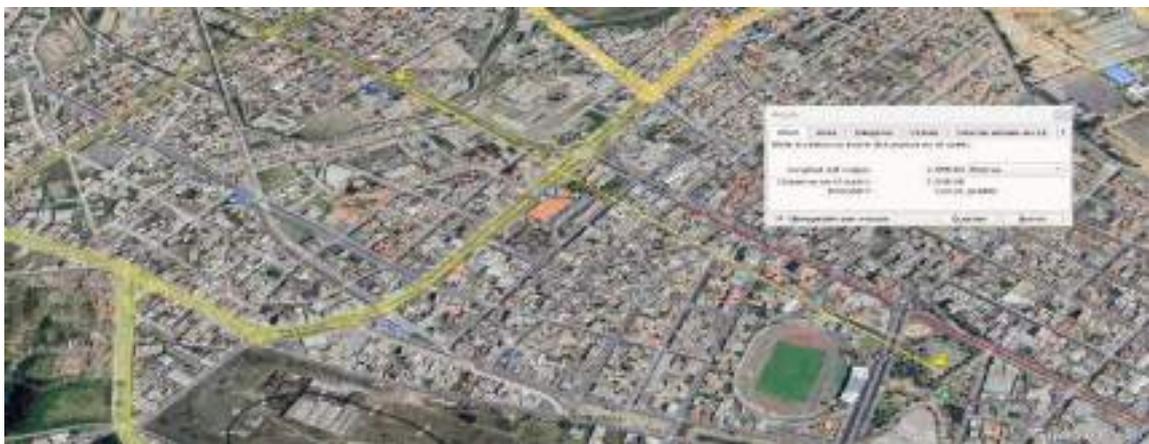


Ilustración 4-21: Cálculo de distancia máxima 1 alcanzada por el dispositivo 3.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.10 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 2 desde el Parque Guayaquil hasta el sector de La Cerámica.

El segundo recorrido se realizó con el dispositivo 3 desde la concha acústica del Parque Guayaquil logrando llegar a la coordenada (-1.6662, -78.6552) correspondiente al sector de la Cerámica el recorrido realizado se puede apreciar en la Ilustración 4-22.

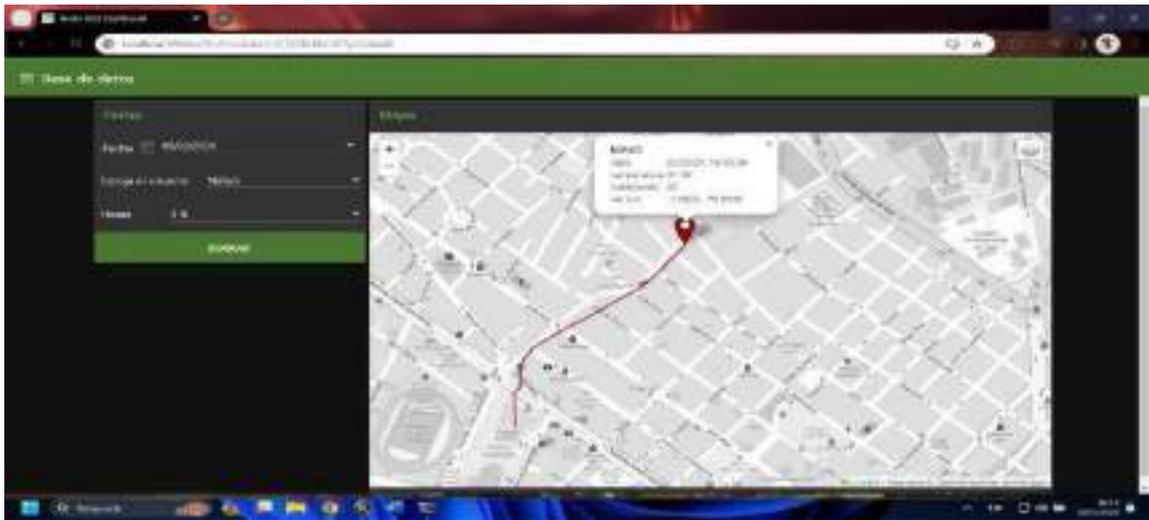


Ilustración 4-22: Distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 3 hacia La Cerámica.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada obtenida a Google Earth Pro se evidenció una distancia máxima de 554.71 m la cual se puede evidenciar en la Ilustración 4-23.

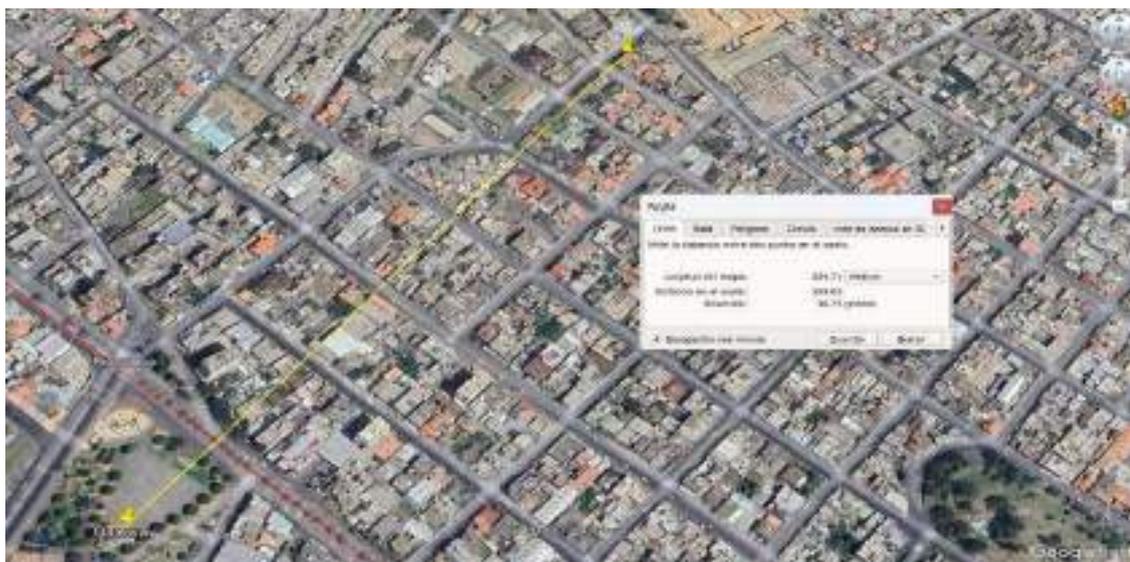


Ilustración 4-23: Cálculo de distancia máxima 2 alcanzada por el dispositivo 3.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.11 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 3 desde el Parque Guayaquil hasta el sector de La Estación.

El tercer recorrido se realizó con el dispositivo 1 desde la concha acústica de Parque Guayaquil logrando llegar a la coordenada (-1.669517, -78.653903) correspondiente al sector de la Estación el recorrido realizado se puede apreciar en la Ilustración 4-24.

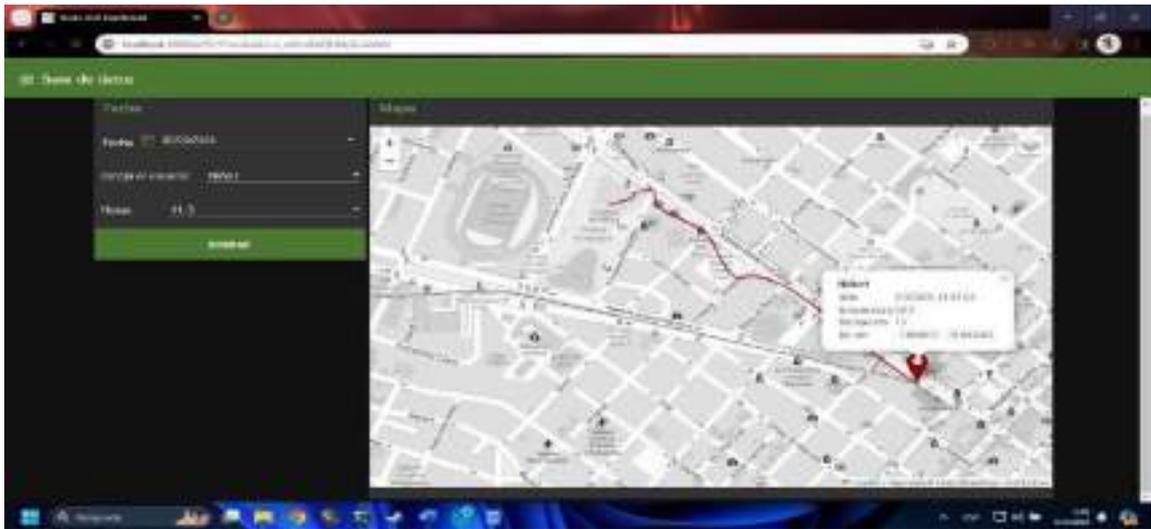


Ilustración 4-24: Distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1 hacia La Estación.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada obtenida a Google Earth Pro se evidenció una distancia máxima de 621.28 m la cual se puede evidenciar en la Ilustración 4-25.

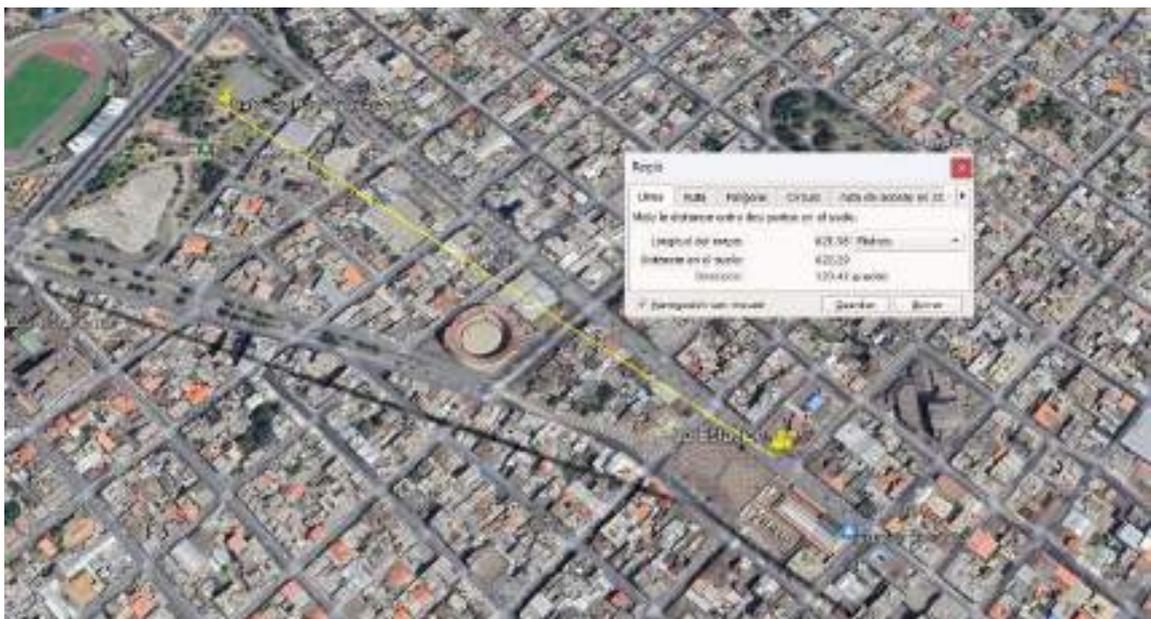


Ilustración 4-25: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.12 Cobertura máxima alcanzada en el recorrido 4 desde el Parque Guayaquil hasta las calles Boyacá y Duchicela.

El cuarto recorrido se realizó con el dispositivo 1 desde la concha acústica del Parque Guayaquil lográndose llegar a la coordenada (-1.6700, -78.65628) correspondiente las calles Boyacá y Duchicela el recorrido realizado se puede apreciar en la Ilustración 4-26.

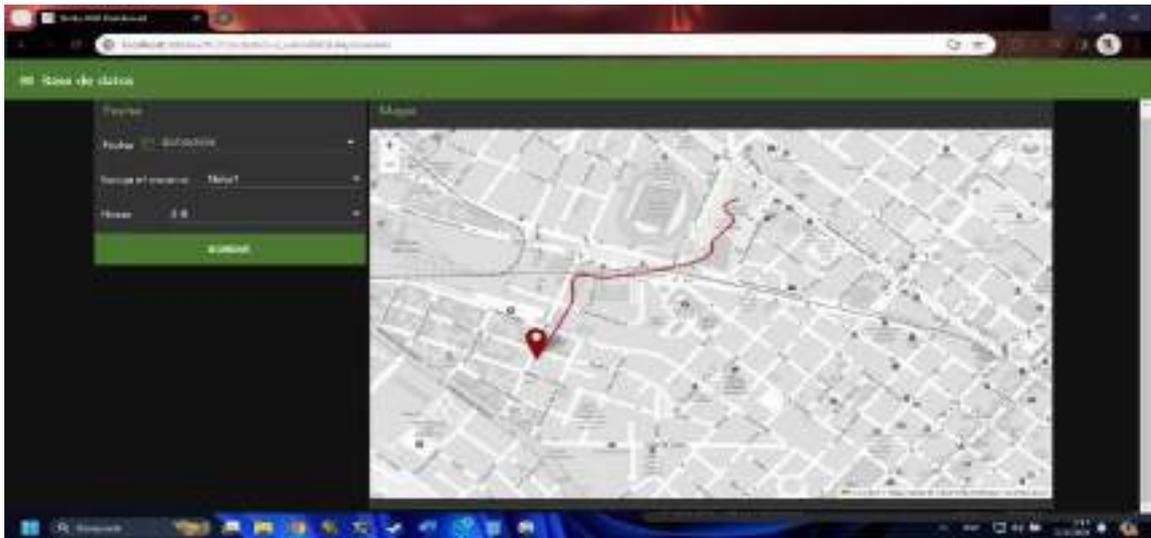


Ilustración 4-26: Distancia máxima 4 alcanzada por el dispositivo 1 hacia las calles Boyacá y Duchicela.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al ingresar la última coordenada obtenida a Google Earth Pro se evidenció una distancia máxima de 622.50 m la cual se puede evidenciar en la Ilustración 4-27.



Ilustración 4-27: Cálculo de distancia máxima 3 alcanzada por el dispositivo 1.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.2.13 *Análisis de cobertura máxima del dispositivo.*

Una vez recolectadas las distancias de los recorridos, se registraron en una tabla específica con el propósito de llevar a cabo un análisis detallado de la cobertura máxima del dispositivo. Los resultados de esta recopilación se presentan de manera organizada de mayor a menor distancia en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Análisis de cobertura máxima alcanzada por el dispositivo.

Lugar	Distancia
Escuela Arnaldo Merino Muñoz	1039.64 metros
Calles Av. Sergio Quirola y Camilo Egas	967.26 metros
Parque Isidro Gallegos	754.48 metros
Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte	711.76 metros
Facultad de Recursos Naturales	688.17 metros
Calles Boyacá y Duchicela	622.50 metros
La Estación	621.98 metros
Calles Vicente Rocafuerte y Argentinos	578.54 metros
Sector de la Cerámica	554.71 metros
Calles Gaspar de Villaroel y Bolivia	488.14 metros
Calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villaroel	424.61 metros
Parque de los Maestros	389.46 metros

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Tabla 4-2, se destaca que el dispositivo logró una cobertura máxima de 1039.64 metros. Este rendimiento se atribuye tanto a la estratégica ubicación del Gateway en la concha acústica del Parque Guayaquil como al trayecto realizado, beneficiándose especialmente por la elevada posición de la Escuela Arnaldo Merino Muñoz en comparación con los otros puntos de análisis. La ubicación elevada facilita una mayor línea de visión, lo que hace más efectivo el envío de paquetes a través del dispositivo.

En contraste, la menor cobertura se evidenció en el Parque Los Maestros con un alcance de 389.46 metros. Esta limitación en la cobertura se atribuye a la densidad de edificaciones en la ruta, ya que, al tratarse de una zona muy poblada, la transmisión de paquetes se complica debido a la falta de una línea de visión adecuada.

4.2.14 *Análisis de cobertura máxima del dispositivo vs cobertura máxima teórica.*

Se llevó a cabo una comparación entre la cobertura máxima teórica y la cobertura máxima real del dispositivo, y se confirmó que la cobertura real es inferior a la teórica. Para el módulo Heltec LoRa ESP32 V2, la cobertura teórica en espacios abiertos se estima en 2.6 km.

En la Ilustración 4-28 se puede apreciar la cobertura teórica vs cobertura máxima real del dispositivo lograda en la ESPOCH



Ilustración 4-28: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la ESPOCH.

Realizado por: Asqui J., 2024.

De igual forma se puede apreciar en la Ilustración 4-29 que la cobertura real del dispositivo resulta ser menor que la cobertura teórica en las mediciones tomadas en el Mercado Víctor Proaño.



Ilustración 4-29: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la Mercado Víctor Proaño.

Realizado por: Asqui J., 2024.

También se evidencio que la cobertura real del dispositivo resulta ser menor que la cobertura teórica en las mediciones tomadas en el Parque Guayaquil como se puede apreciar en la Ilustración 4-30.

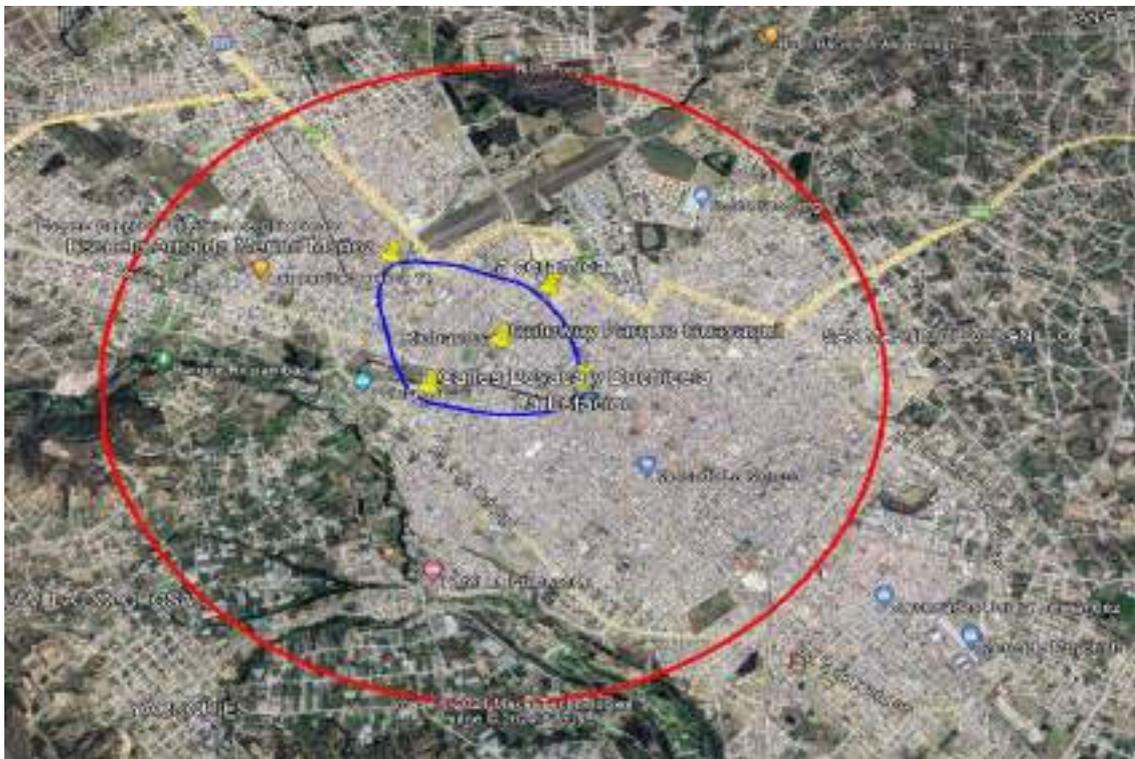


Ilustración 4-30: Cobertura máxima real vs cobertura teórica en la Parque Guayaquil.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Después de realizar el análisis de cobertura real del dispositivo se determinó que está sujeta a diversas variables, como la presencia de edificaciones que obstruyan la línea de visión, objetos metálicos que generen interferencias, y la presencia de vegetación, como árboles.

Cabe recalcar que la cobertura de modulo Heltec LoRa ESP 32 v2 es de 2.6 km para un entorno abierto al trabajar en un entorno lleno de obstáculos como lo es en la ciudad de Riobamba esta cobertura llega a disminuir de manera considerable.

4.3 Análisis de latencia del sistema

Se ha llevado a cabo el análisis de la latencia del sistema, teniendo en cuenta el Tiempo en el Aire (TOA), que corresponde al tiempo que demora la carga útil en viajar desde el nodo sensor hasta la plataforma TTN (The Things Network), y la latencia obtenida a través de Ngrok.

En el análisis del TOA, se ha decidido calcular el promedio de los tiempos de recorrido realizados para evaluar la cobertura del sistema, estos datos se han guardado previamente en la base de datos de Firebase como se puede apreciar en la Ilustración 4-31.

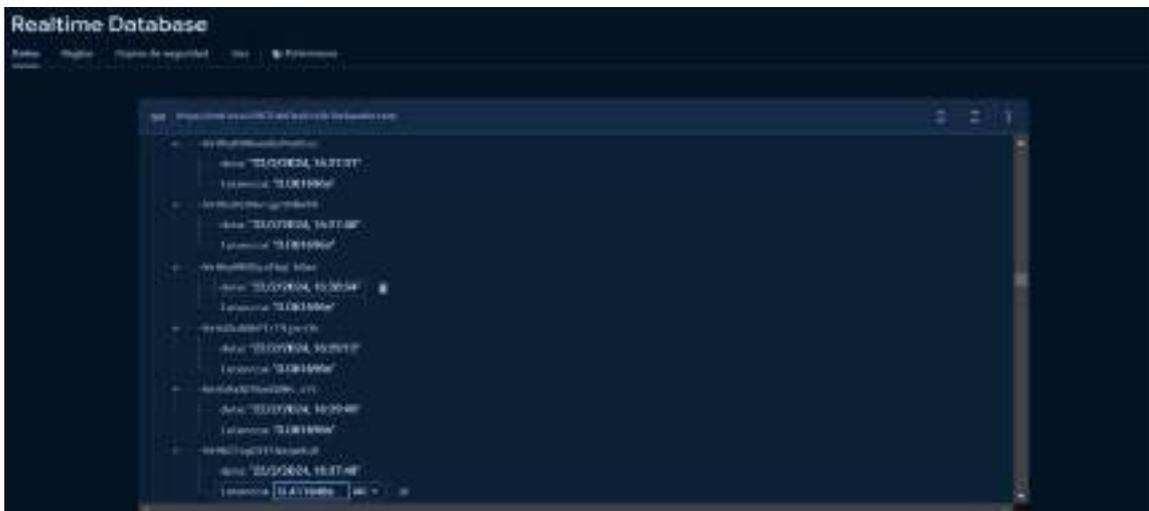


Ilustración 4-31: Datos de tiempo en el aire guardados en la base de datos de firebase.

Realizado por: Asqui J., 2024.

4.3.1 Latencia obtenida en el recorrido 1 de la ESPOCH hasta la Facultad de Recursos Naturales

En este recorrido los datos del TOA han sido idénticos teniéndose 27 datos de 0.061696 segundos, sin embargo, en el dato 28 se observó que el valor fue de 0.411648 segundos.

Al realizar el cálculo del promedio, se determinó que el Tiempo en el Aire (TOA) tiene un valor promedio de 0.0741943 segundos. Además, se registró una latencia obtenida a través de Ngrok de 130 milisegundos, tal como se muestra en la Ilustración 4-32.

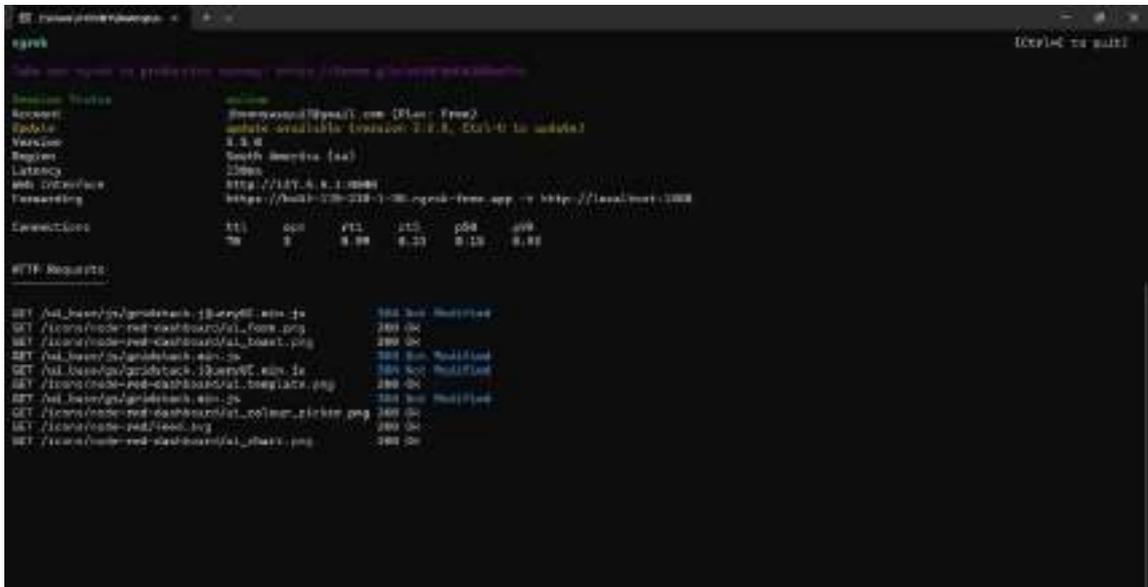


Ilustración 4-32: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 1 en la ESPOCH.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al sumar el Tiempo en el Aire (TOA) y la latencia de Ngrok y duplicarla, se obtiene la latencia total del sistema, la cual es de 408.3886 ms. El valor de la latencia obtenida es bajo por lo cual se puede decir que el sistema es ideal para un dispositivo de rastreo de niños.

4.3.2 Latencia obtenida en el recorrido 2 de la ESPOCH hasta el Parque Isidro Gallegos.

Los datos de TOA en este recorrido han sido más variantes esto se debe a que en este caso se han registrado un total de 90 datos, los tiempos son representados en la Tabla 4-3 junto con el TOA promedio calculado.

Tabla 4-3: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 2 de la ESPOCH

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
48	7	0,066816s
29	7	0.061696s
2	8	0,113152s
8	9	0,205824s

1	8	0.113152s
1	10	0.411648s
10		0.1043968s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 10 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose valor de 0.1043968s a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 252ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-34.

```

ngrok
-----
Session Status
Account      jhonyasmi5@gmail.com (Plan: Free)
Update      update available (version 3.8.0, Ctrl-C to update)
Version      3.8.0
Region      South America (sa)
Latency      252ms
Web Interface http://127.0.0.1:4040
Forwarding   https://79ab-170-230-1-10.ngrok-free.app -> http://localhost:1800

Connections
-----
ttl      opn      stl      rts      p50      p90
246      2        2.22     0.73     0.32     0.40

HTTP Requests
-----
GET /worldapi/images/world-286-flat.jpg      200 OK Not Modified
GET /worldapi/leaflet/images/layers-2x.png  200 OK
GET /worldapi/socket/57b/5bc2u434/websocket 201 Switching Protocols
GET /worldapi/images/world-886-flat.jpg     200 OK
GET /worldapi/leaflet/mvg.js               200 OK
GET /worldapi/leaflet/font-awesoms/fonts/fontawesome-webfont.woff2 200 OK
GET /worldapi/socket/info                  200 OK
GET /worldapi/leaflet/leaflet.js           200 OK
GET /worldapi/leaflet/dialog-polyfill.css  200 OK
GET /worldapi/leaflet/k.terminator.js      200 OK

```

Ilustración 4-34: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 3 en la ESPOCH.

Realizado por: Asqui J., 2024

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok y duplicarla se obtuvo una latencia total del sistema de 712.7936 ms la cual a diferencia de las latencias anteriormente obtenidas es más alta sin embargo sigue siendo una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.3.4 Latencia obtenida en el recorrido 4 de la ESPOCH hasta la Av. Sergio Quirola y Camilo Egas.

En el cuarto recorrido se han obtenido un total de 28 datos obteniéndose un total de 6 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-5.

4.3.6 Latencia obtenida en el recorrido 2 desde el Mercado Víctor Proaño hasta la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.

En el segundo recorrido se han obtenido un total de 19 datos obteniéndose un total de 6 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 2 del mercado Víctor Proaño.

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
13	7	0.061696s
1	7	0.066816s
1	8	0.113152s
2	9	0.205824s
1	9	0.226304s
1	10	0.411648s
19		0.106927s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 19 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose el valor de 0.106927s a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 131ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-37.

```

ngrok
-----
Webserver Status
-----
URL: https://75a6-176-238-1-38.ngrok-free.app
Version: 2.37.0
Region: South America (us)
Latency: 131ms
Web Interface: http://127.0.0.1:4040
Forwarding: https://75a6-176-238-1-38.ngrok-free.app -> http://localhost:3000

Connections
-----
tcp      app      ttl      rtt      p50      p99
348      0        0.00     0.00     0.22     0.49

HTTP Requests
-----
GET /worldmap/images/world-30e-flat.json 200 OK [cached]
GET /worldmap/leaflet/images/Layers-2x.png 200 OK
GET /worldmap/socket/598/5620030/websocket 201 Switching Protocols
GET /worldmap/images/world-30e-flat.json 200 OK
GET /worldmap/leaflet/req.js 200 OK
GET /worldmap/leaflet/font-awesome/font-awesome-webfont.woff2 200 OK
GET /worldmap/socket/info 200 OK
GET /worldmap/leaflet/leaflet.js 200 OK
GET /worldmap/leaflet/dialog-golyfill.css 200 OK
GET /worldmap/leaflet/l.Terminator.js 200 OK
  
```

Ilustración 4-37: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 2 en el mercado Víctor Proaño.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok y duplicarla se obtuvo una latencia total del sistema de 475.854 ms la cual es una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.3.7 Latencia obtenida en el recorrido 3 desde el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villarroel.

En el tercer recorrido se han obtenido un total de 11 datos obteniéndose un total de 4 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 3 del mercado Víctor Proaño

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
8	7	0.061696s
1	8	0.113152s
1	9	0.205824s
1	10	0.411648s
11		0.1112901s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 11 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose el valor de 0.1112901 a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 131ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-38.

```

ngrok
-----
Take me to: https://ngrok.com | Support: https://t.me/ngrok | Feedback: https://t.me/ngrok

Session Status
Account: jhenryasqui33@gmail.com (Plan: Free)
Status: online (expires: available) (version: 3.0.0, Ctrl-C to update)
Version: 3.0.0
Region: South America (sa)
Latency: 139ms
Web Interface: http://127.0.0.1:4040
Forwarding: https://75ab-196-228-3-18.ngrok-free.app -> http://localhost:1808

Connections
-----
url      api      rfi      rfs      p50      p99
-----
248      0        0.00     0.00     0.27     0.51

HTTP Requests
-----
GET /worldmap/leaflet/images/world-50m-flat.jpg 200 OK Not Modified
GET /worldmap/leaflet/images/layer-2e.png 200 OK
GET /worldmap/leaflet/070/5ba2a014/welcomet 200 OK
GET /worldmap/leaflet/world-50m-flat.jpg 200 OK
GET /worldmap/leaflet/leg.js 200 OK
GET /worldmap/leaflet/foot-unesco-fonts/foot-unesco-ambfont.woff2 200 OK
GET /worldmap/leaflet/info 200 OK
GET /worldmap/leaflet/leaflet.js 200 OK
GET /worldmap/leaflet/ol3-ol3-polyfill.css 200 OK
GET /worldmap/leaflet/L.Icon.Default.js 200 OK
  
```

Ilustración 4-38: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 3 en el mercado Víctor Proaño.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok y duplicarla se obtuvo una latencia total del sistema de 500.058802 ms la cual es una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.3.8 Latencia obtenida en el recorrido 4 desde el Mercado Víctor Proaño hasta las calles Gaspar de Villarroel y Bolivia.

En el cuarto recorrido se han obtenido un total de 14 datos obteniéndose un total de 4 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 4 del mercado Víctor Proaño.

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
3	7	0.061696s
4	8	0.113152s
5	9	0.205824s
2	10	0.411648s
14		0.177865s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 14 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose el valor de 0.177865s a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 140ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-39.

```

ngrok
-----
View any ngrok in production session! https://www.ngrok.com/faq#sessions

Session Status
Account: jborjasqui2@gmail.com (Plan: Free)
Update: update available (version 3.0.0, Ctrl-U to update)
Version: 3.5.4
Region: South America (sa)
Latency: 140ms
Web Interface: http://127.0.0.1:4040
Forwarding: https://78a6-178-238-1-18.ngrok-free.app -> http://localhost:1888

Connections
-----
tTL  ops  rT1  rT5  p50  p99
373  2    1.37  0.38  4.22  4.38

HTTP Requests
-----
GET /worldmap1/leaflet/images/layers-1x.png 304 Not Modified
GET /worldmap1/images/world-50m-flat.json 304 Not Modified
GET /worldmap1/leaflet/mvg.js 304 Not Modified
GET /worldmap1/socket/289/uvqrng8/websocket 101 Switching Protocols
GET /worldmap1/leaflet/font-awesome/fonts/fontawesome-webfont.woff2 304 Not Modified
GET /worldmap1/images/world-50m-flat.json 304 Not Modified
GET /worldmap1/socket/info 200 OK
GET /worldmap1/leaflet/leaflet.fullscreen.css 304 Not Modified
GET /worldmap1/leaflet/leaflet.rotatedMarker.js 304 Not Modified
GET /worldmap1/leaflet/leaflet-gesture-handling.js 304 Not Modified
  
```

Ilustración 4-39: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 4 en el mercado Víctor Proaño.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok y duplicarla se obtuvo una latencia total del sistema de 635.73 ms la cual es una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.3.9 Latencia obtenida en el recorrido 1 desde el Parque Guayaquil hasta la Escuela Arnaldo Merino Muñoz

En el primer recorrido se han obtenido un total de 29 datos obteniéndose un total de 5 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-10.

Tabla 4-10: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 1 del Parque Guayaquil.

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
13	7	0.061696s
6	7	0.066816s
1	8	0.113152s
3	9	0.226304s
6	10	0.411648s
29		0.1539619s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 29 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose el valor de 0.1539619s a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 138ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-40.

```

ngrok
Try the new Python3 Eventlet web server: https://ngrok.com/docs

Region: Status      public
Account: 3herygaquil@ngrok.com (Plan: Free)
Update: update available (Current: 3.0.0, Next: 3.0.1)
Version: 3.0.0
Region: South America (eu)
Latency: 138ms
Web Interface: https://127.0.0.1:4040
Forwarding: https://3338-05-188-200-18.ngrok-free.app -> https://localhost:1888

Connections:  tll  apr  rll  rls  p80  p99
              0   0   0.00  0.00  0.70  1.12

HTTP Requests
-----
GET /vendor/assets/dist/edlibae.js 200 OK
GET /res/style.min.css 200 OK
GET /res/res.min.js 200 OK
GET /vendor/assets/javascripts.js 200 OK
GET /vendor/vendor.js 200 OK
GET /vendor/assets/style.css 200 OK
GET /res/min.js 200 OK
GET /vendor/jquery/css/base/jquery-ui.min.css 200 OK
GET /vendor/font-awesome/css/font-awesome.min.css 200 OK
GET / 200 OK
  
```

Ilustración 4-40: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 1 en el Parque Guayaquil.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok se obtuvo una latencia total del sistema de 583.9238 ms la cual es una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.3.12 Latencia obtenida en el recorrido 4 desde el Parque Guayaquil hasta las calles Boyacá y Duchicela.

En el cuarto recorrido se han obtenido un total de 10 datos obteniéndose un total de 5 datos diferentes, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Tiempos de aire obtenidos en el recorrido 4 del Parque Guayaquil.

Numero de datos obtenidos	Spreading Factor	TOA
3	7	0.061696s
4	7	0.066816s
1	8	0.113152s
1	8	0.123392s
1	10	0.411648s
10		0.1100544s

Realizado por: Asqui J., 2024.

Con un total de 10 datos obtenidos se ha realizado el promedio del TOA obteniéndose el valor de 0.1100544s a este valor se le ha sumado la latencia obtenida por Ngrok la cual es de 141ms este dato se puede apreciar en la Ilustración 4-43.

```

ngrok
by the way, you're inspecting the network, https://ngrok.com/faq

System Status
Account: jhenryasqui@gmail.com (Plan: Free)
Updates: updates available (version 3.0.0, Ctrl-U to update)
Version: 3.0.0
Region: South America (sa)
Latency: 141ms
Web Interface: http://127.0.0.1:4040
Forwarding: https://3bab-204-107-208-0.ngrok-free.app -> http://localhost:1800

Connections
ttl    spo    rtt    rth    p50    p99
128    1     1.81   0.35   0.17   0.56

HTTP Requests
GET /ul_base/js/gridstack.jQueryUI.min.js 200 Not Modified
GET /ul_base/js/lodash.min.js             200 Not Modified
GET /ul_base/js/kinveycolor.min.js       200 Not Modified
GET /ul_base/js/gridstack.jQueryUI.min.js 200 OK
GET /res/toars/walcome.js                 200 OK
GET /ul_base/js/gridstack.min.js         200 Not Modified
GET /res/images/subline_tab.svg           200 OK
GET /ul_base/js/gridstack.min.js         200 Not Modified
GET /ul_base/js/gridstack.jQueryUI.min.js 200 OK
GET /ul_base/js/gridstack.min.js         200 OK
  
```

Ilustración 4-43: Latencia obtenida de Ngrok para el recorrido 4 en el Parque Guayaquil.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Al realizarse la suma del TOA promedio junto con la latencia obtenida en Ngrok se obtuvo una latencia total del sistema de 502.1088 ms la cual es una latencia aceptable para el sistema de rastreo de niños.

4.4 Análisis de consumo energético

El análisis de consumo energético del sistema se ha realizado partiendo del consumo energético de cada elemento que compone el sistema de rastreo de niños los cuales se pueden apreciar en la Tabla 4-14.

Tabla 4-14: Consumo energético de elementos que componen el sistema.

Elemento		Suministro de corriente	
Sensor de temperatura Mlx 90614		2 mA	
Modulo GPS Neo 6-M	Consumo en búsqueda	67mA	
	Consumo en tracking	11mA	
Modulo Heltec Lora Esp 32 v2	Consumo en transmisión	10 dB Output	50mA
		20 dB output	130mA
	Consumo en modo sueño profundo.	800µA	

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-46 se observa la hora de conexión del dispositivo 4 a TTN y en la Ilustración 4-47 se observa el último dato enviado por el dispositivo 4, ambas para una distancia corta con un spreading factor de 7.

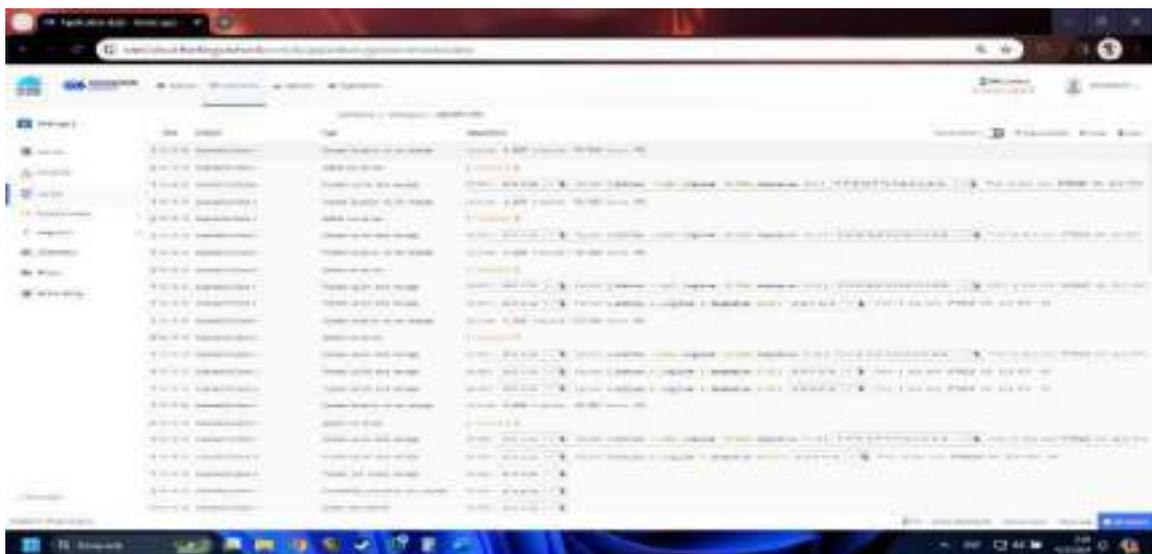


Ilustración 4-44: Hora de inicio de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia corta.

Realizado por: Asqui J., 2024.

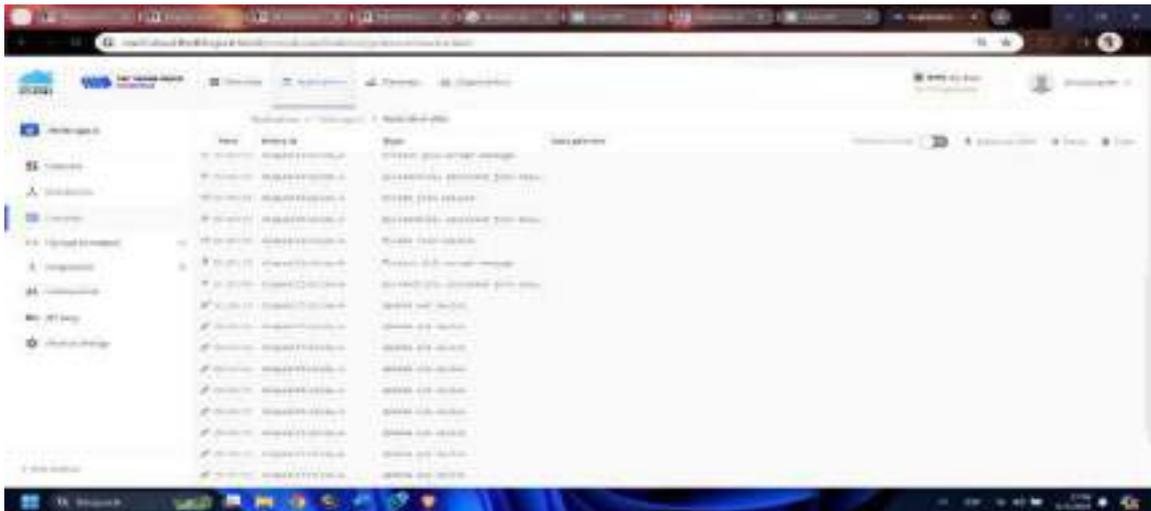


Ilustración 4-45: Hora de finalización de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia corta.
Realizado por: Asqui J., 2024.

Con las pruebas realizadas se llegó a la conclusión que las baterías de litio de 2400mAh es de aproximadamente 8 horas y 22 min en uso continuo para una distancia corta con un spreading factor de 7. Esto quiere decir que se tiene un consumo energético de 286.84mA por cada hora de operación

En la Ilustración 4-46 se observa la hora de conexión del dispositivo 4 a TTN y en la Ilustración 4-47 se observa el último dato enviado por el dispositivo 4, ambas para un spreading factor de 10.

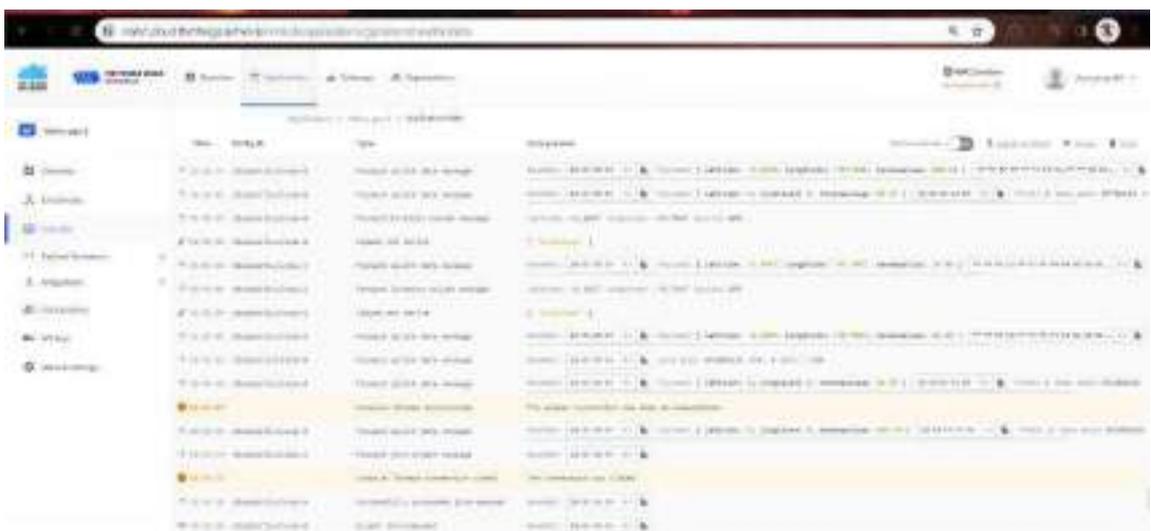


Ilustración 4-46: Hora de inicio de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia larga.
Realizado por: Asqui J., 2024.

Time	Device ID	Type	Status
2024-07-26 10:00:00	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:01	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:02	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:03	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:04	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:05	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:06	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:07	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:08	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:09	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:10	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:11	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:12	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:13	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:14	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:15	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:16	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:17	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:18	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:19	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:20	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:21	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:22	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:23	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:24	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:25	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:26	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:27	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:28	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:29	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:30	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:31	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:32	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:33	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:34	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:35	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:36	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:37	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:38	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:39	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:40	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:41	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:42	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:43	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:44	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:45	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:46	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:47	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:48	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:49	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:50	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:51	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:52	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:53	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:54	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:55	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:56	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:57	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:58	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:00:59	10000000000000000000	Request connection data message	Success
2024-07-26 10:01:00	10000000000000000000	Request connection data message	Success

Ilustración 4-47: Hora de finalización de conexión a TTN del dispositivo 4 para distancia larga.
Realizado por: Asqui J., 2024.

Para una distancia larga con un Spreading Factor de 10 la autonomía de la batería es de 7 horas y 52 minutos, esto implica un consumo energético de 305.07 mA por cada hora de operación.

Con una autonomía de aproximadamente 8 horas con 22 min para distancias cortas y 7 horas con 52 min para distancias largas, es suficiente para llevar a cabo la localización en tiempo real de un niño. Esto se debe a que el niño no estará constantemente en el parque, mercado o campus de la Epoch, sino que tendrá períodos cortos de visita para realizar sus actividades.

4.5 Análisis de precisión del sistema

El análisis de precisión del sistema se ha llevado a cabo comparando los datos obtenidos del sistema de localización de niños en el cual se usa el GPS Neo 6M el cual tiene un margen de error en cuanto a su precisión de 2.5 a 15m con los datos del GPS de un teléfono celular Galaxy A51 el cual tiene un margen de error en cuanto a la precisión del GPS de 5 a 20 metros.

Para registrar con precisión los datos de GPS a través del celular, se ha optado por emplear la aplicación móvil Network Cell Info Lite. Esta aplicación no solo facilita la captura de hasta 200 datos de GPS, sino que también brinda la ventaja de almacenarlos de manera organizada en formato CSV, la interfaz gráfica de la aplicación móvil se muestra en la Ilustración 4-48.



Ilustración 4-48: Interfaz gráfica de Network Cell Info Lite

Realizado por: Asqui J., 2024.

Los datos guardados en Firebase han sido recuperados mediante el uso del nodo `node-red-contrib-excel` el cual permite descargar los datos que se encuentran alojados en la base de datos en formato Excel, una vez descargado el siguiente proceso fue transformarlo en formato CVS.

Para la visualización de los datos guardados de Network Cell Info Lite y de la base de datos se ha utilizado Google Earth Pro el cual permite cargar archivo CVS de forma sencilla y visualizarlos en forma de puntos.

4.5.1 Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde la ESPOCH hacia la Facultad de Recursos Naturales

Para el análisis del primer recorrido realizado desde el edificio de Software hacia la Facultad de Recursos Naturales se ingresaron los datos de GPS captados por el teléfono celular (Rojo) y los datos de GPS captados por el sistema de localización de niños (Azul) como se puede ver en la Ilustración 4-49.



Ilustración 4-50: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 1 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-16 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio el cual fue de 8.465 m.

Tabla 4-15: Promedio total de precisión del recorrido 1 en la ESPOCH.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	14.11 m
2	7.63 m
3	10.30 m
4	2.13 m
5	11.81 m
6	6.72 m
7	4.29 m
8	9.24 m
9	9.84 m
10	11.09 m
11	7.56 m
12	6.86 m

Promedio	8.465 m
----------	---------

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.2 Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde la ESPOCH hacia el Parque Isidro Gallegos.

Para el análisis del segundo recorrido realizado desde el edificio de Software hacia el Parque Isidro Gallegos el proceso de visualización de datos se realizó de la misma forma que el primer recorrido, en la Ilustración 4-51 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-51: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-51 se observa una precisión similar entre el teléfono celular y el dispositivo de rastreo de niños teniéndose una mayor precisión que el primer recorrido. Sin embargo, cabe destacar que esta variación no resulta sumamente significativa, ya que el recorrido aún puede distinguirse de manera adecuada.

En la Ilustración 4-52, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen de error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 19 se obtuvo un margen de error de 10.39 metros.

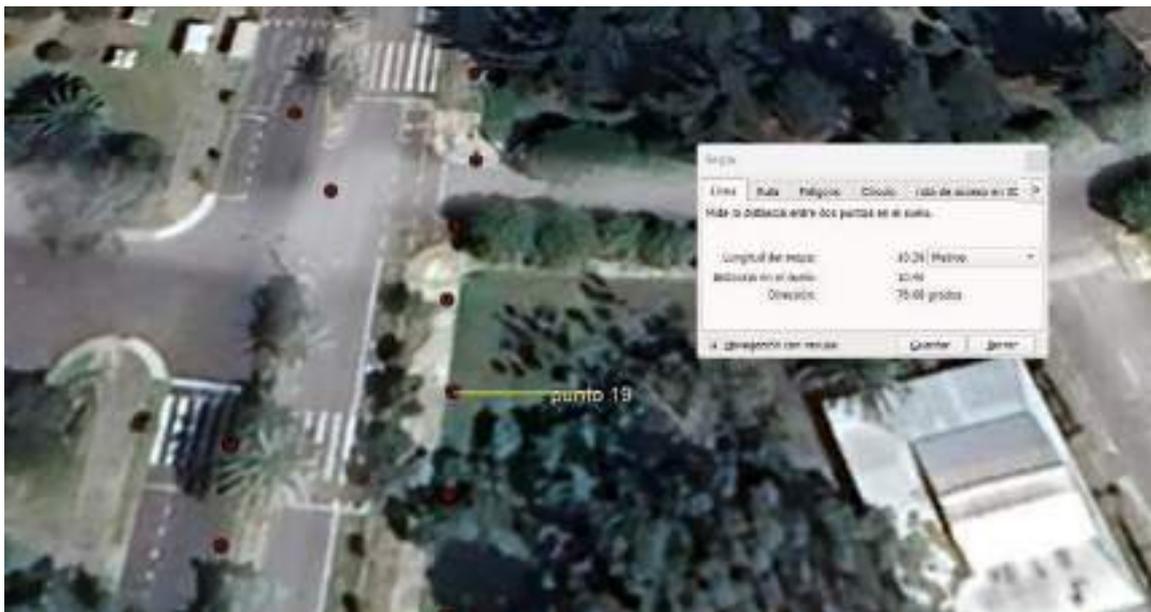


Ilustración 4-52: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 2 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-16 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 8.9031 metros.

Tabla 4-16: Promedio total de precisión del recorrido 2 en la ESPOCH.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	7.12 m
2	3.01 m
3	22.43 m
4	13.13 m
5	4.52 m
6	6.51 m
7	6.22 m
8	4.70 m
9	9.28 m
10	12.65 m
11	15.48 m

12	12.52 m
13	2.88 m
14	4.86 m
15	5.31 m
16	7.52 m
17	17.08 m
18	6.02 m
19	10.39 m
20	8.32m
21	5.95 m
22	9.99 m
Promedio	8.9031 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.3 Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde la ESPOCH hacia el Parque de los Maestros.

Para el análisis del tercer recorrido realizado desde el edificio de Software hacia el Parque de los Maestros el proceso de visualización de datos se realizó de la misma forma que el primer recorrido, en la Ilustración 4-53 se puede apreciar los resultados obtenidos.

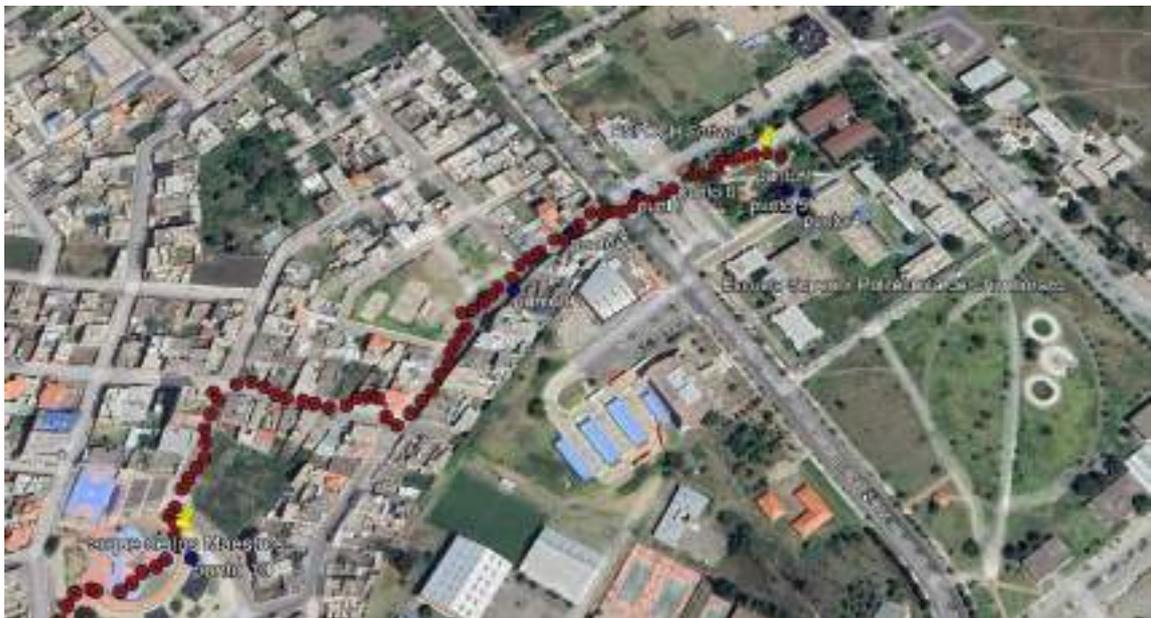


Ilustración 4-53: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-54, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen de error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 9 se obtuvo un margen de error de 9.35 metros.



Ilustración 4-54: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 3 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-17 se puede apreciar el margen de error de cada posición.

Tabla 4-17: Promedio total de precisión del recorrido 3 en la ESPOCH.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	15.14 m
2	37.72 m
3	33.04 m
4	50.56 m
5	44.45 m
6	12.73 m
7	4.35 m
8	3.04 m



Ilustración 4-56: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 4 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-18 se puede apreciar el margen de error de cada posición.

Tabla 4-18: Promedio total de precisión del recorrido 4 en la ESPOCH.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	1.91 m
2	10.10 m
3	9.23 m
4	6.59 m
5	5.09 m
6	0.84 m
7	2.40 m
8	14.29 m
9	5.04 m
10	3.41 m
11	4.41 m
12	21.10 m
13	6.07 m

14	19.23 m
15	7.98 m
16	4.02 m
17	2.43 m
18	11.88 m
19	17.89 m
20	5.36 m
21	14.10 m
22	8.28 m
Promedio	8.2559 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.5 Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos.

En el análisis del primer trayecto efectuado desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Vicente Rocafuerte y Argentinos, la visualización de datos se llevó a cabo siguiendo el mismo procedimiento empleado en el recorrido inicial realizado en la ESPOCH. En la Ilustración 4-57 se presentan los resultados obtenidos durante este proceso.

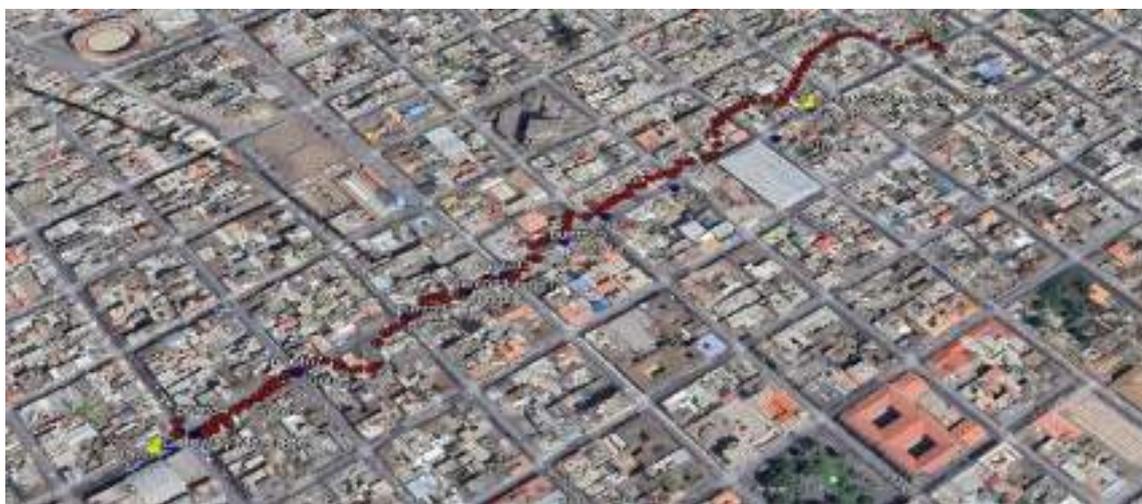


Ilustración 4-57: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el primer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-57 se observa una precisión similar entre el teléfono celular y el dispositivo de rastreo de niños. Sin embargo, cabe destacar que esta variación no resulta sumamente significativa, a una distancia corta y media ya que el recorrido aún puede distinguirse de manera adecuada.

En la Ilustración 4-56, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen de error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 14 se obtuvo un margen de error de 9.21 metros.

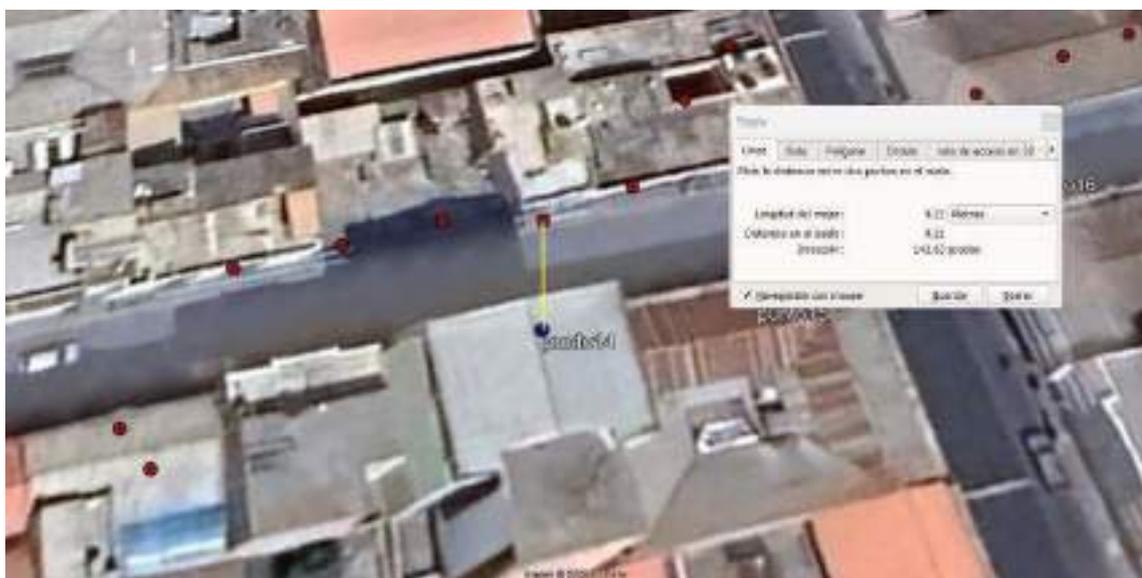


Ilustración 4-58: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 1 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-19 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio el cual fue de 11.7094 metros.

Tabla 4-19: Promedio total de precisión del recorrido 1 en el Mercado Víctor Proaño.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	9.13 m
2	10.08 m
3	6.65 m
4	11.68 m
5	0.86 m
6	1.67 m
7	5.02 m

8	4.11 m
9	9.55 m
10	2.05 m
11	5.72 m
12	7.35 m
13	11.70 m
14	9.21 m
15	13.49 m
16	9.66 m
17	22.89 m
18	51.53 m
19	30.13 m
Promedio	11.7094 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.6 Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia la Av. 9 de Octubre y Vicente Rocafuerte.

Para el análisis del segundo recorrido realizado desde el Mercado Víctor Proaño hacia las inmediaciones de la Unidad Educativa Cap. Edmundo Chiriboga el proceso de visualización de datos se realizó de la misma forma que el primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-59 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-59: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-59, se aprecia una similitud en la precisión entre el teléfono celular y el dispositivo de rastreo de niños durante el segundo recorrido. No obstante, es relevante señalar que esta variación no resulta altamente significativa a distancias cortas y medias, ya que el recorrido aún puede distinguirse de manera adecuada. Sin embargo, a distancias largas, se observa una variación considerable en la precisión de ambos sistemas.

En la Ilustración 4-60, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen de error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 14 se obtuvo un error de 62.44 metros.



Ilustración 4-60: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 2 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-20 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio el cual fue de 20.33m.

Tabla 4-20: Promedio total de precisión del recorrido 2 en el Mercado Víctor Proaño.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	22.74 m
2	14.72 m
3	17.18 m
4	14.68 m
5	12.73 m
6	2.57 m
7	17.46 m
8	12.95 m
9	15.95 m
10	15.21 m

11	7.69 m
12	10.10 m
13	39.98 m
14	62.44 m
15	31.62 m
16	27.95 m
17	19.70 m
Promedio	20.33 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.7 Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Cristóbal Colon y Gaspar de Villaruel.

Para el análisis del tercer recorrido realizado desde el Mercado Víctor Proaño hacia las inmediaciones de la Escuela Juan de Velasco el proceso de visualización de datos se realizó de la misma forma que el primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-61 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-61: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-61, se aprecia una mayor precisión por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil. No obstante, es relevante señalar

que esta variación no resulta altamente significativa, ya que el recorrido aún puede distinguirse de manera adecuada.

En la Ilustración 4-62, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 3 se obtuvo un margen de error de 32.38 metros.



Ilustración 4-62: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 3 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-21 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 16.947m.

Tabla 4-21: Promedio total de precisión del recorrido 3 en el Mercado Víctor Proaño.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	16.20 m

2	34.28 m
3	32.28 m
4	21.47 m
5	6.93 m
6	6.57 m
7	16.36 m
8	9.32 m
9	21.25 m
10	8.78 m
11	12.74 m
Promedio	16.947 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.8 Datos de GPS obtenidos en el cuarto recorrido desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Bolivia y Gaspar de Villarroel.

Para el análisis del cuarto recorrido realizado desde el Mercado Víctor Proaño hacia las calles Bolivia y Gaspar de Villarroel el proceso de visualización de datos se realizó de la misma forma que el primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-63 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-63: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el cuarto recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-63, se aprecia una mayor precisión por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil. No obstante, es relevante señalar que esta variación no resulta altamente significativa, ya que el recorrido aún puede distinguirse de manera adecuada.

En la Ilustración 4-64, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen de error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 5 se obtuvo un margen de error de 5.10 metros.



Ilustración 4-64: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 4 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-22 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 7.7553 m.

Tabla 4-22: Promedio total de precisión del recorrido 4 en el Mercado Víctor Proaño.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	23.36 m
2	11.13 m
3	6.78 m
4	8.20 m
5	5.10 m
6	2.82 m
7	11.10 m
8	11.22 m
9	4.35 m
10	6.06 m
11	10.90 m
12	6.23 m
13	3.38 m
14	2.64 m
15	3.06 m
Promedio	7.7553 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.9 Datos de GPS obtenidos en el primer recorrido desde el Parque Guayaquil hacia el sector de La Cerámica.

Para el análisis del primer recorrido realizado desde el Parque Guayaquil hacia el sector de la Cerámica se siguió el mismo proceso de visualización del primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-65 se puede apreciar los resultados obtenidos.

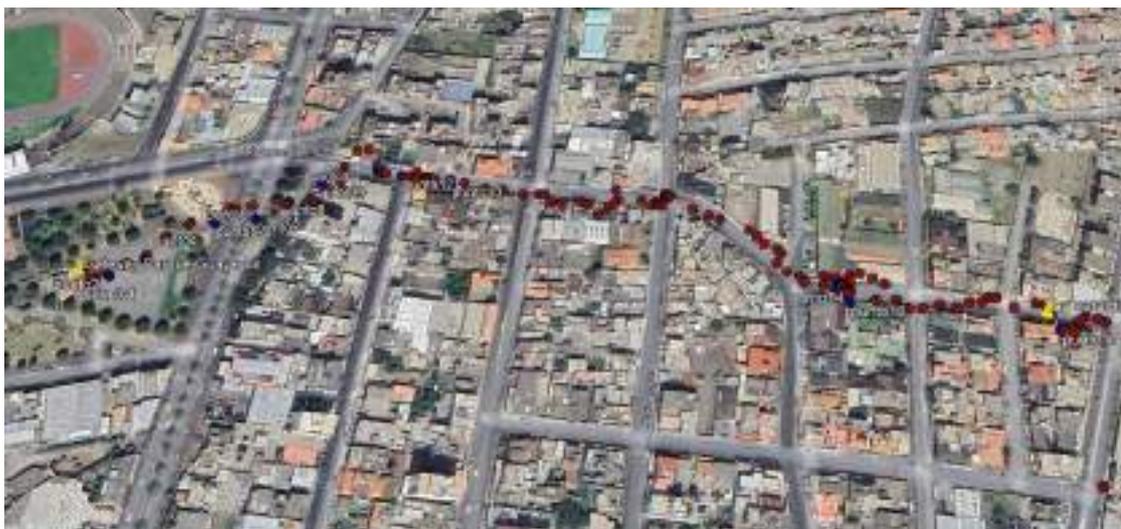


Ilustración 4-65: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el primer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-65, se aprecia una precisión similar por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil. Logrando reconocer el recorrido realizado de forma correcta.

En la Ilustración 4-66, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 4 se obtuvo un margen de error de 8.86 metros.



Ilustración 4-66: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el primer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 1 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-23 se puede apreciar el error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 5.1429 m.

Tabla 4-23: Promedio total de precisión del recorrido 1 en el Parque Guayaquil.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	4.53 m
2	4.26 m
3	2.68 m
4	8.86 m
5	3.87 m
6	4.83 m
7	9.69 m
8	2.24 m
9	5.57 m
10	7.37 m
11	3.84 m

12	2.23 m
13	3.21 m
14	8.06 m
15	1.35 m
16	4.99 m
17	9.85 m
Promedio	5.1429 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.10 Datos de GPS obtenidos en el segundo recorrido desde el Parque Guayaquil hacia la Escuela Arnaldo Merino Muñoz.

Para el análisis del segundo recorrido realizado desde el Parque Guayaquil hacia la Escuela Arnaldo Merino Muñoz se siguió el mismo proceso de visualización del primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-67 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-67: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-67, se aprecia una precisión similar por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil, sin embargo, en las calles Alfonso Villagómez y Av. Canónigo Ramos existe una variación muy considerable del GPS de teléfono móvil.

En la Ilustración 4-68, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 4 se obtuvo un margen de error de 26.44 metros.



Ilustración 4-68: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el segundo recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 2 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-24 se puede apreciar el error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 11.052 m.

Tabla 4-24: Promedio total de precisión del recorrido 2 en el Parque Guayaquil.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	8.42 m
2	24.52 m
3	9.31 m
4	16.43 m
5	26.44 m

6	3.52 m
7	5.48 m
8	8.26 m
9	6.11 m
10	7.39 m
11	12.54 m
12	19.82 m
13	6.77 m
14	23.13 m
15	6.29 m
16	5.44 m
17	3.33 m
18	21.68 m
19	5.01 m
20	5.50 m
21	6.72 m
Promedio	11.052 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.11 Datos de GPS obtenidos en el tercer recorrido desde el Parque Guayaquil hacia las calles Boyacá y Duchicela.

Para el análisis del tercer recorrido realizado desde el Parque Guayaquil hacia las calles Boyacá y Duchicela se siguió el mismo proceso de visualización del primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-69 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-69: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-69, se aprecia una precisión similar por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil. La variación existente es mínima siendo fácil reconocer el recorrido realizado.

En la Ilustración 4-70, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 6 se obtuvo un margen de error de 11.87 metros.



Ilustración 4-70: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el tercer recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 3 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-25 se puede apreciar el error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 10.548 m.

Tabla 4-25: Promedio total de precisión del recorrido 3 en el Parque Guayaquil.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	10.37 m
2	10.40 m
3	9.79 m
4	7.42 m
5	6.38 m
6	11.87 m
7	20.35 m
8	9.25 m
9	6.32 m
10	7.94 m
11	15.94 m
Promedio	10.548 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.12 Datos de GPS obtenidos en el cuarto recorrido desde el Parque Guayaquil hacia el sector de la Estación.

Para el análisis del cuarto recorrido realizado desde el Parque Guayaquil hacia el sector de La Estación se siguió el mismo proceso de visualización del primer recorrido en la ESPOCH, en la Ilustración 4-71 se puede apreciar los resultados obtenidos.



Ilustración 4-71: Visualización de datos de GPS obtenidos por el teléfono celular y el dispositivo de localización de niños en el cuarto recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

En la Ilustración 4-71, se aprecia una precisión similar por parte del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil. A pesar de que existe cierta variación en ambos sistemas aún es posible reconocer el recorrido realizado.

En la Ilustración 4-72, se puede ver el proceso de toma de mediciones de margen error en el cual se tomó la diferencia en metros del punto dado por el GPS del teléfono celular y el sistema de localización de niños en el cual se aprecia que para el punto 3 se obtuvo un margen de error de 6.09 metros.



Ilustración 4-72: Variación de GPS de celular vs GPS de localización de niños en el cuarto recorrido.

Realizado por: Asqui J., 2024.

Para determinar la precisión promedio del recorrido 4 se procedió a tomar cada uno de los puntos registrados por el GPS del dispositivo de localización de niños y compararlos con el GPS del teléfono celular. Una vez se obtuvo el margen de error existente entre cada punto se procedió a obtener el promedio total del recorrido, en la Tabla 4-26 se puede apreciar el margen de error de cada posición y el margen de error promedio obtenido el cual fue de 8.0831 m.

Tabla 4-26: Promedio total de precisión del recorrido 4 en el Parque Guayaquil.

Posición	Precisión de teléfono celular vs dispositivo.
1	3.05 m
2	8.62 m
3	6.09 m
4	0.96 m
5	5.71 m
6	5.11 m
7	15.01 m
8	5.16 m
9	10.63 m
10	4.41 m
11	8.30 m
12	26.03 m
13	7.90 m

14	4.78 m
15	4.98 m
16	12.59
Promedio	8.083 m

Realizado por: Asqui J., 2023.

4.5.13 Análisis de precisión final del dispositivo

Luego de analizar detalladamente cada trayecto realizado en los tres escenarios propuestos, se ha llegado a la conclusión de que el sistema de localización de niños demuestra tener una menor precisión que la mostrada por el teléfono celular A51 sin embargo la variación es mínima por lo cual es posible aun identificar el trayecto recorrido en cada uno de los escenarios. También se ha observado que el módulo GPS Neo-6M presenta una variabilidad mayor a la indicada por el fabricante, que establece un rango de precisión de 2.5 metros a 15 metros.

El número de satélites a los cuales el módulo GPS NEO 6-M tiene línea de vista influye en la precisión del sistema, se igual forma la cantidad de satélites conectados al módulo. También se la hora del día y las condiciones climáticas hacen que la precisión decaiga pues no siempre se va a tener el mismo número de satélites a los que el módulo pueda conectarse. En condiciones climáticas de cielo nublado el módulo GPS tarda más tiempo en conectarse y la precisión disminuye notablemente.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó que la cobertura máxima que puede alcanzar el dispositivo de localización de niños es de 1039.64 m en condiciones de terreno elevado mediante el cual se logra tener una mejor línea de vista que en los demás casos.
- La cobertura del sistema se ve afectada por la presencia de obstáculos como la línea de vista obstruida, edificaciones, objetos metálicos y vegetación, todos los cuales actúan como posibles fuentes de interferencias.
- La precisión del GPS del sistema de localización de niños en comparación al GPS del teléfono móvil logra ser similar a ciertos casos sin embargo se determinó que para distancias cortas y medias llega a ser muy preciso sin embargo a distancias largas debido a la pérdida de paquetes llega a ser menos preciso.
- Se constato que el spreading factor influye en la latencia total del sistema pues a medida que este se incrementa también se incrementa el tiempo del aire y por ende la latencia total del sistema.
- Al usar ADR se evita configurar el dispositivo manualmente para un spreading factor en específico pues este permite tener un spreading factor adaptativo de acuerdo con las condiciones de distancia en la que se encuentre, logrando que el dispositivo sea el encargado de definir cuál es el más conveniente.
- El sistema de alerta llega a ser de mucha utilidad en el caso de retiro del dispositivo lográndose actuar rápidamente debido a que el sistema envía una alerta inmediata por medio de la aplicación WhatsApp.
- Mediante la implementación de geocercas es más sencillo llevar un control del niño pues si este se encuentra dentro del área definida no se tomará ninguna acción, pero en el caso que el niño salga del área inmediatamente se enviará una alerta por medio de WhatsApp.

- Para niños de 5 a 11 años, el dispositivo se vuelve completamente portátil, integrándose sin obstáculos en sus actividades diarias. Sin embargo, para niños más pequeños, la portabilidad del dispositivo disminuye significativamente, afectando su comodidad y libertad de movimiento en las actividades cotidianas.

5.2 Recomendaciones

- Realizar una investigación previa con el fin de asegurar la existencia de compatibilidad de los elementos que componen el dispositivo y la tecnología de comunicación.
- Posicionar el Gateway en un lugar elevado permitirá tener una mejor línea de vista logrando de esta forma tener una mayor cobertura pues los obstáculos serán menos visibles.
- El nodo Gateway y el nodo de procesamiento trabajan con un suministro constante de energía por lo cual es recomendable tener una fuente alterna de energía en el caso de corte de suministro energético.
- De igual forma el nodo Gateway y el nodo de procesamiento necesitan una conexión estable a internet por lo cual es recomendable el uso de alternativas tales como datos móviles para la conexión a internet en caso de perder la conexión por wifi o ethernet.
- Para un mejor monitoreo de los signos vitales del niño es recomendable que el sensor de temperatura sea cambiado por uno de ritmo cardiaco de esta forma también se tendrá en cuenta información sobre su bienestar y salud.
- Es recomendable la implementación de elementos más pequeños para que el dispositivo final tenga un menor tamaño y sea portable para niños de todas las edades, con el tamaño actual del dispositivo es muy difícil que un niño de edades entre 0 y 4 años lo lleve sin que lo incomode

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARCHUNDIA PAPACETZI, Francisco Martín.** Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad de las Americas Puebla. Puebla-Mexico. 2003. pág. 3. [Consulta: 23 de Noviembre de 2023]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo1.pdf.
2. **ASFADEC.** *Estadísticas sobre las desapariciones en Ecuador.* [En línea]. 09 de Febrero de 2022. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://asfadec.org/estadisticas/>
3. **BETANCUR, Leonardo.** “Redes de área corporal. Una perspectiva al futuro desde la investigación”. *Sistemas y telematica* [En línea], 2011, (Colombia), vol. 9, pág. 12. [Consulta: 23 de Noviembre de 2023]. ISSN 1692-5238. Disponible en: https://webcache.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/view/1027/1052.
4. **BURBANO ORDOÑEZ, Cristian Yamith.** Implementación de una red de sensores inalámbricos lpwan mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Ingenieria Electronica. Bogota-Colombia. 2017. págs. 13-14. [Consulta: 29 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6433/BurbanoOrdo%c3%bl ezCristia nYamith2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. **CARBALLAR FALCON, José.** *Wi-Fi. Instalacion, Seguridad y Aplicaciones.* España: Rama 2007. págs. 4 - 5.
6. **CARRION CONZA, Marilin Yadira, & INTRIAGO RODRIGUEZ, Diego Fernando.** Implementación de un prototipo de red iptv (internet protocol television) de manera inalámbrica en Riobamba. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. 2016. pág. 31. [Consulta: 23 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6424/1/98T00123.pdf>

7. **D-ROBOTICS.** *Sensor de humedad y temperatura DHT 11 y DHT22.* [En línea] [Consulta: 3 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.datasheet.es/PDF/792210/DHT11-pdf.html>.
8. **DRAGINO.** *Lora shield.* [En línea] 18 de Octubre de 2020. [Consulta: 4 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora/item/102-lora-shield.html>
9. **DRAGINO.** *LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway.* [En línea] 20 de Junio de 2023. [Consulta: 4 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/200-lps8n.html>
10. **DRAGINO.** *LG308 Indoor LoRaWAN Gateway.* [En línea] 14 de Octubre de 2022. [Consulta: 4 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/140-lg308.html>
11. **EIMT.** *¿Qué es NB-IoT?.* [blog]. Cataluña: 2018. [Consulta: 28 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://blogs.uoc.edu/informatica/que-es-nb-iot/>
12. **ELECTROSTORE.** *Módulo lora ttgo t-beam 915mhz esp32 y gps y antena.* [En línea] 2019. [Consulta: 4 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/rf-radio-frecuencia/modulo-lora-ttgo-t-beam-915mhz-esp32-y-gps-y-antena/>
13. **ENGE, Per & MISRA, Pratap.** "Special Issue on Global Positioning System". *Proceedings of the IEEE* [En línea], 1999. (United State of America), vol. 87 (1), pág. 7. [Citado el: 6 de Noviembre de 2023.] ISSN 0018-9219. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/736338>
14. **FALLAS, Jorge.** *SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.* [En línea]. Costa Rica: 2002. [Consulta: 25de Octubrede 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/48356677/Sistema_De_Posicionamiento_Global?from_sitemap=true&version=2
15. **FERNANDEZ DE PIÑEDO, Ignacio.** *Construcción de una escala de actitudes tipo Likert.* [En línea] 1982. [Consulta: 7 de Noviembre de 2023.] Disponible en:

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a1>

16. **GENIALLY.** *Redes Inalámbricas.* [En línea] 20 de enero de 2023. [Consulta: 20 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://view.genial.ly/63ca8854dc99ee001328f595/presentation-redes-inalambricas>
17. **HELTEC AUTOMATION.** *WiFi LoRa 32 (V2.1) Phaseout.* [En línea]. 17 de Abril de 2018. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
18. **HELTEC AUTOMATION.** *Wifi Lora 32 (v2).* [En línea] Mayo de 2020. [Consulta: 4 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://resource.heltec.cn/download/Manual%20Old/WiFi%20Lora32Manual.pdf>
19. **HEREDIA RIVADENERIA, Adrian Emilio, & LUCERO ANDRADE, Paúl Fernando.** Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores con tecnología LoRa para monitoreo industrial orientado a OPC de arquitectura unificada. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones. Cuenca – Ecuador. 2021. págs. 21. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35875>
20. **HERNÁNDEZ CABALLERO, Silvia.** Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universitat Oberta de Catalunya. España. 2020. págs. 11- 15 [Consulta : 2023 de Octubre de 27]. Disponible en : <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>
21. **HERRING, Thomas.** " THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM ". *Scientific American* [En línea], 1996, (United States of America), págs. 32-38. [Consulta: 25 de Octubre 2023]. ISSN 0036-8733. Disponible en: <https://worldcat.org/es/title/1026520793>
22. **LODOVICO MOLINA, Ivo José Martín.** Implementacion de protocolo comunicaciones para iot. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de Cuyo.

Argentina. 2018. págs. 12-13 [Consulta: 28 de Octubre de 2023.] Disponible en: https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/746/1/Lodovico_Molina.pdf

23. **LORA ALLIANCE.** *LoRaWAN™ 1.0.3 Regional Parameters*. [En línea] 2018. [Consulta: 29 de Octubre de 2023.] Disponible en: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan_regional_parameters_v1.0.3reva_0.pdf.
24. **MACHADO GONZÁLEZ, Maria Luisa.** Estudio de NB-IoT y comparativa con otras tecnologías LPWAN [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Abierta de Cataluña, España. 2019. págs. 1-7. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/87205/6/mmachadogTFM0119memoria.pdf>
25. **MEDIUM.** *El LoRaWAN es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo, bidireccional y de transmisión de bajo volumen de datos a grandes distancias*. [En línea] 22 de Septiembre de 2023. [Consulta: 5 de Noviembre de 2023.] Disponible en: https://medium.com/@fran_83435/el-lorawan-es-una-tecnolog%C3%ADa-de-comunicaci%C3%B3n-inal%C3%A1mbrica-de-bajo-consumo-bidireccional-y-de-506fbff26751
26. **MELEXIS INSPIRED ENGINEERING.** *MLX90614 family*. [En línea] 2019. [Consulta: 3 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90614-datasheet-melexis.pdf>.
27. **MODERNELL ECHENIQUE, Pablo Daniel** Plataforma de Pruebas de Conformidad LoRaWAN. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Master). Universidad de la Republica de Uruguay. Montevideo–Uruguay. 2020. págs. 17-37. [Consulta: 30 de Octubre de 2023.] Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25761/1/Mod20.pdf>
28. **ROJAS MASABANDA, Jimmy Fabricio & DIAZ SALAZAR, Juan Francisco.** Desarrollo de un dispositivo de rastreo de personas adultas mayores en una red IoT y Cloud. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politecnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2021. Pág. 13. [Consulta: 23 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20238>.

29. **SALAZAR, Jordi.** *REDES INALÁMBRICAS*. [En línea]. European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering, 2016. [Consulta: 23 de Noviembre de 2023.] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
30. **SEMTECH.** *¿Qué es LoRaWAN®?* [En línea] 2023. [Consulta: 2019 de Octubre de 2023.] Disponible en: <https://www.semtech.com/lora/lorawan-standard>
31. **SIGFOX.** *¿Qué es Sigfox?*. [En línea] 2023. [Consulta: 28 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://sigfox.com.py/que-es-sigfox/>
32. **SORNIN, Nicolas; et al.** *LoRaWAN Specification*. [En línea] 2016. [Consulta: 29 de Octubre de 2023.] Disponible en: <https://resources.lora-alliance.org/document/lorawan-specification-v1-0-2>
33. **TEXAS INSTRUMENTS.** *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. [En línea] 2017. [Consulta: 3 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
34. **U-BLOX.** *NEO-6M u-blox 6 GPS Modules Data Sheet*. [En línea]. 20 de Diciembre de 2011. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf
35. **U-BLOX.** *Neo-7 u-blox 7 GNSS modules Datasheet*. [En línea] 11 de Noviembre de 2014. [Consulta: 2 de Noviembre de 2013]. Disponible en: https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf
36. **U-BLOX.** *NEO-M8 u-blox M8 concurrent GNSS modules Data sheet*. [En línea] 16 de Diciembre de 2022. [Consulta: 2 de Noviembre de 2023.] Disponible en: https://content.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_UBX-15031086.pdf

37. **VIÑAS BALLESTA, Juan.** Evaluación de tecnologías LPWAN para escenarios de Smart Cities. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, España. 2018. pág. 11. [Consulta: 24 de Octubre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7296/tfg-baleva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
38. **WAVIOT.** *What is LPWAN.* [En línea] 2023. [Consulta: 5 de Noviembre de 2023.] Disponible en: <https://waviot.com/technology/>

ANEXOS

ANEXO A: CODIGO OBTENCION DE CHIP ID.

```
/* The true ESP32 chip ID is essentially its MAC address.*/ uint64_t chipId = 0;
void setup() { Serial.begin(115200);
}

void loop() { chipId=ESP.getEfuseMac();
Serial.printf("ESP32 Chip model = %s Rev %d\n", ESP.getChipModel(),
ESP.getChipRevision());
Serial.printf("This chip has %d cores\n", ESP.getChipCores());
Serial.printf("ESP32ChipID=%04X",(uint16_t)(chipId>>32));//print High 2bytes
Serial.printf("%08X\r\n",(uint32_t)chipId);//print Low 4bytes.
delay(3000);
}
```

ANEXO B: CODIGO DE NODO SENSOR.

```
#include <ESP32_LoRaWAN.h>
#include "Arduino.h"
#include <TinyGPS++.h>
#include "esp32-hal-adc.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>

/*license for Heltec ESP32 LoRaWan, quarry your ChipID relevant license:
http://resource.heltec.cn/search */
uint32_t license[4] = {0x3B1D56AB,0xBEE05C9E,0xD4A081C8,0x29340455 };

/* OTAA para*/
uint8_t DevEui[] = {0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x06, 0x39, 0x60 };
uint8_t AppEui[] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
uint8_t AppKey[] = { 0xBE, 0x46, 0x41, 0xFC, 0xB5, 0xE9, 0xCD, 0xFD, 0x61, 0xC5, 0xE3,
0xE4, 0x36, 0x89, 0x1D, 0xBB };

/* ABP para*/
uint8_t NwkSKey[] = { 0x15, 0xb1, 0xd0, 0xef, 0xa4, 0x63, 0xdf, 0xbe, 0x3d, 0x11, 0x18, 0x1e,
0x1e, 0xc7, 0xda,0x85 };
uint8_t AppSKey[] = { 0xd7, 0x2c, 0x78, 0x75, 0x8c, 0xdc, 0xca, 0xbf, 0x55, 0xee, 0x4a, 0x77,
0x8d, 0x16, 0xef,0x67 };
uint32_t DevAddr = ( uint32_t )0x007e6ae1;

/*LoraWan channelsmask, default channels 0-7*/
uint16_t userChannelsMask[6]={ 0x00FF,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };

/*LoraWan Class, Class A and Class C are supported*/
DeviceClass_t loraWanClass = CLASS_A;

/*the application data tr1nsmission duty cycle. value in [ms].*/
uint32_t appTxDutyCycle = 15000;
```

```

/*OTAA or ABP*/
bool overTheAirActivation = true;

/*ADR enable*/
bool loraWanAdr = true;

/* Indicates if the node is sending confirmed or unconfirmed messages */
bool isTxConfirmed = true;

/* Application port */
uint8_t appPort = 2;

/*!
* Number of trials to transmit the frame, if the LoRaMAC layer did not
* receive an acknowledgment. The MAC performs a datarate adaptation,
* according to the LoRaWAN Specification V1.0.2, chapter 18.4, according
* to the following table:

* Transmission nb | Data Rate
* -----|-----
* 1 (first)      | DR
* 2              | DR
* 3              | max(DR-1,0)
* 4              | max(DR-1,0)
* 5              | max(DR-2,0)
* 6              | max(DR-2,0)
* 7              | max(DR-3,0)
* 8              | max(DR-3,0)
*
* Note, that if NbTrials is set to 1 or 2, the MAC will not decrease
* the datarate, in case the LoRaMAC layer did not receive an acknowledgment
*/
uint8_t confirmedNbTrials = 8;

/*LoraWan debug level, select in arduino IDE tools.

```

```

* None : print basic info.
* Freq : print Tx and Rx freq, DR info.
* Freq && DIO : print Tx and Rx freq, DR, DIO0 interrupt and DIO1 interrupt info.
* Freq && DIO && PW: print Tx and Rx freq, DR, DIO0 interrupt, DIO1 interrupt and MCU
deepsleep info.
*/

uint8_t debugLevel = LoRaWAN_DEBUG_LEVEL;

/*LoraWan region, select in arduino IDE tools*/
LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION;

TinyGPSPlus gps;
bool satelliteConnected = false; // Variable para rastrear el estado de los satélites
bool prevSatelliteConnected = false; // Variable para rastrear el estado previo de los satélites

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);
  Serial2.begin(9600,SERIAL_8N1,2,17); // Establece la velocidad de comunicación del GPS

  // Resto del código de configuración...
  SPI.begin(SCK,MISO,MOSI,SS);
  Mcu.init(SS,RST_LoRa,DIO0,DIO1,license);
  deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
}

static void prepareTxFrame(uint8_t port)
{
  while (Serial2.available())
  {
    gps.encode(Serial2.read());
  }
}

```

```

}

if (gps.location.isValid())
{
  mlx.begin(0x5A);
  appDataSize = 12;
  int32_t latitude = gps.location.lat() * 10000; // Escala la latitud a un entero
  int32_t longitude = gps.location.lng() * 10000; // Escala la longitud a un entero
  int32_t temperaturaAmbiente2 =mlx.readObjectTempC()*100;
  // Empaquetar los datos de myBPM (1 byte), latitude (4 bytes) y longitude (3 bytes) en 11
byte
  appData[0] = (uint8_t)(latitude >> 24);
  appData[1] = (uint8_t)(latitude >> 16);
  appData[2] = (uint8_t)(latitude >> 8);
  appData[3] = (uint8_t)latitude;
  appData[4] = (uint8_t)(longitude >> 24);
  appData[5] = (uint8_t)(longitude >> 16);
  appData[6] = (uint8_t)(longitude >> 8);
  appData[7] = (uint8_t)longitude;
  appData[8] = (uint8_t)(temperaturaAmbiente2 >> 8);
  appData[9] = (uint8_t)temperaturaAmbiente2;
  satelliteConnected = true;

}
else
{
  mlx.begin(0x5A);
  int32_t temperaturaAmbiente2 =mlx.readObjectTempC()*100;
  appDataSize = 5;
  appData[0] = 0;
  appData[1] = 0;
  appData[2] = (uint8_t)(temperaturaAmbiente2 >> 8);
  appData[3] = (uint8_t)temperaturaAmbiente2;

  satelliteConnected = false;
}

```

```

    }
}

// The loop function is called in an endless loop
void loop()
{

switch( deviceState )
{
case DEVICE_STATE_INIT:
{
#ifdef(LORAWAN_DEVEUI_AUTO)
    LoRaWAN.generateDeveuiByChipID();
#endif
    LoRaWAN.init(loraWanClass,loraWanRegion);
    break;
}
case DEVICE_STATE_JOIN:
{
    LoRaWAN.displayJoining();
    LoRaWAN.join();
    break;
}
case DEVICE_STATE_SEND:
{
    prepareTxFrame( appPort );
    LoRaWAN.displayMcuInit();
    LoRaWAN.displaySending();

    LoRaWAN.send(loraWanClass);
    deviceState = DEVICE_STATE_CYCLE;
    break;
}
case DEVICE_STATE_CYCLE:
{

```

```

// Schedule next packet transmission
    txDutyCycleTime = appTxDutyCycle + randr( -APP_TX_DUTYCYCLE_RND,
APP_TX_DUTYCYCLE_RND );
    LoRaWAN.cycle(txDutyCycleTime);
    deviceState = DEVICE_STATE_SLEEP;
    break;
}
case DEVICE_STATE_SLEEP:
{

    LoRaWAN.sleep(loraWanClass,debugLevel);
    break;
}
default:
{
    deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
    break;
}
}

// if (satelliteConnected) {
//   Display.drawString(0,0,"SATELITE ON");
//   Display.display();
// }
// else {
//   Display.drawString(0,0,"SATELITE OFF");
//   Display.display();
// }

}

```

ANEXO C: INSTALACIÓN DE NODE-RED Y NODOS.

Para la instalación de Node-RED fue necesario descargar el programa Node.js el cual se encuentra en el siguiente enlace: <https://nodejs.org/en>.

Se descargo la versión 20.10.0 LTS debido a que esta versión es más estable que la última versión la cual es una versión que aún está a prueba y puede contener errores.

Una vez descargado el instalador se ejecuta como administrador y se siguieron los pasos mostrados a continuación.



Se aceptan los términos de licencia.



Se selecciona la ruta en la cual se instalará el programa.



En la configuración personalizada no realizara ninguna modificación simplemente se selecciona la opción de next.



De igual forma en las herramientas para módulos nativos no se seleccionará ninguna opción simplemente se seleccionará la opción de next.



El último paso para la instalación de Node.js es selecciona la opción de instalar.



Una vez instalado el programa Node.js se procede a verificar que el programa ha sido instalado de forma correcta, para esto nos dirigimos a CMD y se escribe el siguiente comando:

```
node --version && npm --version
```

```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.22621.2061]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\NORWY>node --version && npm --version
v18.18.2
9.8.1

C:\Users\NORWY>
```

Una vez se ha verificado la instalación de Node.js y Npm se procede a la instalación de Node-RED esto se realizó ingresando a CMD el siguiente comando:

```
npm install -g --unsafe-perm node-red
```

```
apv\instal node-red
Microsoft Windows [Versión 10.0.22621.2061]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\JHONNY>node --version && npm --version
v18.18.2
9.8.1

C:\Users\JHONNY>npm install -g --unsafe-perm node-red
[Progress bar] / idealTree:node: timing idealTree:done Completed in 1916ms
```

Una vez la instalación se ha completado se iniciará el programa Node-RED mediante el uso del comando node-red ingresando a CMD.

```
node-red
Microsoft Windows [Versión 10.0.22621.2061]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\JHONNY>node-red
25 Dec 22:17:05 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
25 Dec 22:17:05 - [info] Node-RED version: v3.1.0
25 Dec 22:17:05 - [info] Node.js version: v18.18.2
25 Dec 22:17:05 - [info] Windows_NT 10.0.22621 amd64
25 Dec 22:17:07 - [info] Loading palette nodes
25 Dec 22:17:12 - [info] Worldmap version 0.3.3
25 Dec 22:17:11 - [info] Dashboard version 3.0.1 started at /ui
-----
25 Dec 22:17:12 - [warn] [node-red-node-geofence/geofence] 'geofence' already registered by module node-red-contrib-geofence
-----
25 Dec 22:17:13 - [warn]
-----
25 Dec 22:17:13 - [info] Settings file : C:\Users\JHONNY\.node-red\settings.js
25 Dec 22:17:13 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
25 Dec 22:17:13 - [info] User directory : \Users\JHONNY\.node-red
25 Dec 22:17:13 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
25 Dec 22:17:13 - [info] Flow file : \Users\JHONNY\.node-red\flows.json
25 Dec 22:17:13 - [warn]
-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
```

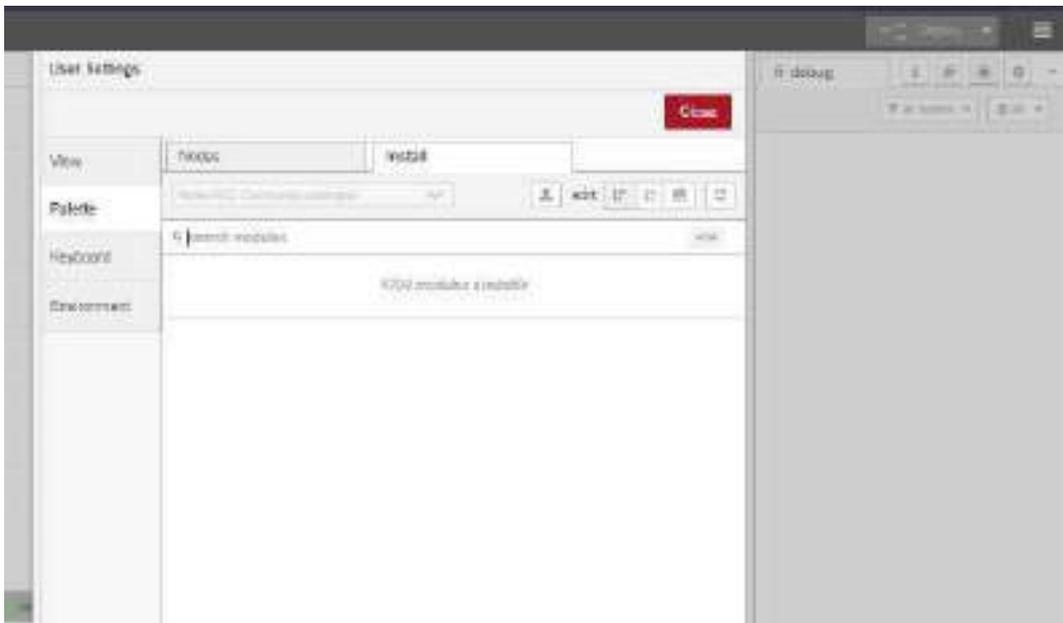
Para ingresar a la interfaz de Node-RED se abre el navegador y se ingresa el siguiente enlace:
<http://localhost:1880/>



Para la instalación de los nodos fue necesario abrir el administrador de paletas el cual se encuentra en la parte superior derecha de la interfaz de Node-red.



Una vez dentro del administrador de paletas se seleccionó install.



A continuacion se busco los diferentes nodos a usar:

node-red-contrib-firebase

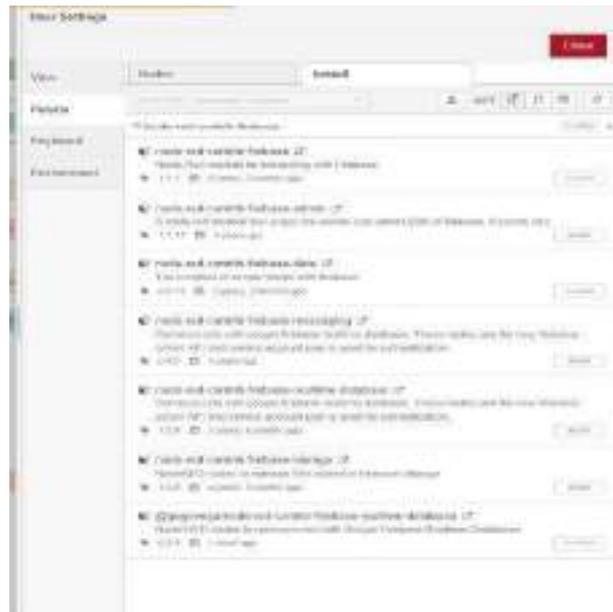
node-red-contrib-web-worldmap

node-red-contrib-moment

node-red-contrib-ui-map

node-red-dashboard

node-red-contrib-whatsapp-cmb



ANEXO D: ELIMINACIÓN DE HORAS, MINUTOS Y SEGUNDOS EN NODO DATE PICKER.

```
// Obtiene la fecha y hora actual del mensaje var fechaActual = msg.payload;

// Formatea la fecha y hora en el formato deseado
var formattedDateTime = obtenerFechaFormateada(fechaActual);

// Almacena la fecha formateada como una variable global context.global.fechaFormateada =
formattedDateTime;

// Devuelve el resultado para que Node-RED lo procese return { payload: formattedDateTime };

// Función para obtener la fecha formateada function obtenerFechaFormateada(fecha) {
// Crea un objeto Date a partir de la cadena de fecha y hora var dateObject = new Date(fecha);

// Obtiene los componentes de fecha y hora var dia = dateObject.getDate();
var mes = dateObject.getMonth() + 1; // Suma 1 porque en JavaScript los meses van de 0 a 11
var anio = dateObject.getFullYear(); var hora = dateObject.getHours();
var minutos = dateObject.getMinutes(); var segundos = dateObject.getSeconds();

// Formatea la cadena de salida
var formattedDate = dia + '/' + mes + '/' + anio + ', ' + ('0' + hora).slice(-2) + ':' +
('0' + minutos).slice(-2) + ':' +
('0' + segundos).slice(-2);

return formattedDate;
}
```

ANEXO E: IMPLEMENTACIÓN DE GEOCERCAS.

```
var latitud = msg.payload['uplink_message']['decoded_payload']['latitude']; var longitud =
msg.payload['uplink_message']['decoded_payload']['longitude'];

var limitelat_inferiorparque = -1.663134; var limitelat_superiorparque = - 1.668944;

var limitelat_inferiorpoli = -1.650924; var limitelat_superiorpoli = -1.660439;

var limitelon_inferiorpoli = -78.683762;
var limitelon_superiorpoli = -78.674374;

var limitelat_inferiormercado = - 1.669835; var limitelat_superiormercado = -1.675345;

var limitelon_inferiorparque = - 78.662118; var limitelon_superiorparque = -78.655552 ;

var limitelon_inferiormercado = - 78.657124; var limitelon_superiormercado = -78.651194;
if (latitud == 0 && longitud == 0){
}
else {
if (((latitud < limitelat_inferiormercado && latitud > limitelat_superiormercado) && (longitud >
limitelon_inferiormercado && longitud < limitelon_superiormercado)) ||
((latitud < limitelat_inferiorparque && latitud > limitelat_superiorparque) && (longitud >
limitelon_inferiorparque && longitud < limitelon_superiorparque)) ||
((latitud < limitelat_inferiorpoli && latitud > limitelat_superiorpoli) && (longitud >
limitelon_inferiorpoli && longitud
< limitelon_superiorpoli)))
{
return null;

} else {
msg.payload = "Alerta: El valor está fuera del rango permitido."; return msg;
}
}
```

ANEXO F: SEPARACIÓN Y COMPARACIÓN DE DATOS RECOLECTADOS DE LA BASE DE DATOS.

```
// Contar el número de datos
var numberOfData = Object.keys(msg.payload).length;

// Inicializar contador para datos que cumplen con la condición var countMatchingData = 0;

// Variable para controlar si es el primer dato var isFirstData = true;

// Variable para controlar si ya se envió el delete:true para un nombre no coincidente
var deleteSent = { NIÑO1: false, NIÑO2: false, NIÑO3: false, NIÑO4: false
};

// Agregar el número de datos al payload msg.numberOfData = numberOfData;

// Reiniciar el contador a 0 después de enviar todos los datos

// Obtener las claves del objeto
var keys = Object.keys(msg.payload);

// Variable para determinar si se encontraron datos en el horario seleccionado
var horarioEncontrado = false;

// Iterar sobre las claves y enviar un objeto por vez for (var i = 0; i < keys.length; i++) {
var key = keys[i];
var data = msg.payload[key];

// Obtiene la fecha formateada almacenada globalmente const fechaFormateada =
context.global.fechaFormateada; const fechaglo = fechaFormateada.split(',')[0].trim();

// Obtiene el usuario almacenado globalmente const usuario = context.global.usuario;

// Extrae la parte de la fecha del objeto transformedData const fechaTransformada =
data.date.split(',')[0].trim(); const name = data.name;
```

```

const [, horaTransformada] = data.date.split(',').map((part) => part.trim());
const [hora, minuto, segundo] = horaTransformada.split(':').map(Number);

// Obtener las horas, minutos y segundos del dropdown
const [inicio, fin] = context.global.horas.split('-').map(hora => hora.trim());
const [horaInicio, minInicio, segInicio] = inicio.split(':').map(Number);
const [horaFin, minFin, segFin] = fin.split(':').map(Number);

// Verifica si las fechas y usuarios son iguales (solo compara la parte de la fecha)
if ((fechaTransformada === fechaglo) && (usuario === name) && (hora
>= horaInicio) && (hora <= horaFin)) { var dataToSend = {
name: data.name, lat: data.lat, lon: data.lon, date: data.date,
temperatura: data.temperatura,
trackpoints: isFirstData ? null : countMatchingData, // Establecer el valor actual del contador o
null
};

// Enviar un objeto a la siguiente función node.send({
payload: dataToSend, numberOfData: numberOfData, trackpoints: countMatchingData
});

// Incrementar el contador después de enviar el objeto countMatchingData++;

// Cambiar isFirstData a falso después de enviar el primer dato if (isFirstData) {
isFirstData = false;
}
// Indicar que se encontraron datos en el horario seleccionado horarioEncontrado = true;
} else if ((!deleteSent[name] && (usuario !== name))) {
// Verifica si ya se envió el delete:true para el nombre no coincidente
var deleteToSend = { name: name, deleted: true
};

// Enviar un objeto delete:true a la siguiente función node.send({
payload: deleteToSend
});

```

```
// Marcar que ya se envió el delete:true para este nombre deleteSent[name] = true;
}
}
const usuario = context.global.usuario;

// Enviar un objeto delete:true si no se encontraron datos en el horario seleccionado
if(!horarioEncontrado) { var deleteToSend = {
name: usuario, deleted: true
};

// Enviar un objeto delete:true a la siguiente función node.send({
payload: deleteToSend
});
}

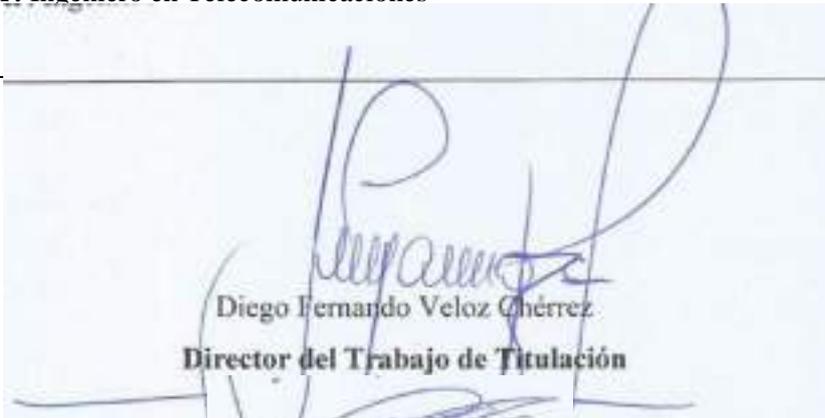
// Agregar la propiedad trackpoints al payload final msg.trackpoints = horarioEncontrado ?
countMatchingData : null;

return null;
```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 10/ 5 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Silvio Jhony Asqui Llangari
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Facultad de Informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniero en Telecomunicaciones
 Diego Fernando Veloz Chérrez Director del Trabajo de Titulación
 Mario Alejandro Paguay Alvarado Asesor del Trabajo de Titulación