



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“SISTEMA DE PARADA INTELIGENTE BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT Y GEOPOSICIONAMIENTO, PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE OTAVALO.”

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO, APLICACIÓN DE SOFTWARE Y
CYBERSECURITY (SEGURIDAD CIBERNÉTICA)

AUTOR:

HENRY ORLANDO LEMA SARANSIG

DIRECTOR:

MSC. FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ

IBARRA - ECUADOR 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003497037		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Lema Saransig Henry Orlando		
DIRECCIÓN:	Otavalo, Quito y Ricaurte		
EMAIL:	holemas@utn.edu.ec henryelectronicomost@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062924666	TELÉFONO MÓVIL:	0963761330

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE PARADA INTELIGENTE BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT Y GEOPOSICIONAMIENTO, PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE OTAVALO.
AUTOR:	Lema Saransig Henry Orlando
FECHA:	25-02-2026
PROGRAMA:	☒ Pregrado ☐ Posgrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez MSc. Luis Edilberto Suárez Zambrano

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de febrero de 2026.

EL AUTOR:



Lema Saransig Henry Orlando

C.C.: 1003497037

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 25 de febrero de 2026

MAGÍSTER FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ
DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de Titulación “SISTEMA DE PARADA INTELIGENTE BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT Y GEOPOSICIONAMIENTO, PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE OTAVALO”, ha sido desarrollado por el señor Lema Saransig Henry Orlando bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



Firmado electrónicamente por:
**FABIAN GEOVANNY
CUZME RODRIGUEZ**
Validar únicamente con FIRASEC

MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

C.C.: 1311527012

DIRECTOR

DEDICATORIA

Con profundo cariño y sincera gratitud, dedico el presente trabajo a mis padres, Fernando Lema y Estela Saransig, quienes han sido mi guía permanente y mi mayor fuente de inspiración. Su amor incondicional, apoyo constante y ejemplo de perseverancia fueron el motor que me permitió superar los momentos más desafiantes de mi formación académica. Gracias a sus enseñanzas, aprendí a valorar mis raíces, principios y valores, fundamentales en mi desarrollo personal y profesional.

De manera especial, dedico este trabajo a mi hermana, Rocío Lema, por su acompañamiento, motivación y confianza constante para alcanzar mis metas.

A mis abuelos, José Lema y Rosa Córdova, expreso mi más sincero agradecimiento por su sabiduría, ejemplo y por inculcarme la importancia de luchar por mis sueños con esfuerzo y dedicación.

Asimismo, extendiendo esta dedicatoria a mis familiares y amigos, quienes me brindaron su apoyo a lo largo de este proceso académico.

A todos quienes creyeron en mí y me acompañaron durante esta etapa, dedico este trabajo con profunda gratitud.

Lema Saransig Henry Orlando

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a mis padres, quienes mediante su ejemplo me han inculcado el valor del esfuerzo, la constancia y la perseverancia. Gracias por creer en mí, motivarme a perseguir mis objetivos y enseñarme que, con dedicación y compromiso, es posible alcanzar grandes logros.

Agradezco de manera especial a mi director de tesis, Ing. Fabián Cuzme, por su orientación, apoyo y valiosos aportes académicos, no solo durante el desarrollo de este trabajo de titulación, sino a lo largo de todo mi proceso formativo. Asimismo, extiendo mi agradecimiento a mi asesor, Ing. Luis Suárez, por su colaboración y acompañamiento para la culminación de este proyecto.

Reconozco también a todos los docentes que contribuyeron a mi formación profesional, en especial al Ing. Jaime Michilena, por su guía durante la etapa inicial del proyecto.

Finalmente, agradezco a mi familia, amigos y a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de este camino académico.

Lema Saransig Henry Orlando

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT) y geoposicionamiento, orientado a mejorar el acceso a la información del transporte público urbano en la ciudad de Otavalo. El sistema propuesto permite a los usuarios conocer la ubicación de los autobuses, el recorrido realizado y el tiempo estimado de llegada a las paradas, mediante el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo casi real.

La solución desarrollada se fundamenta en una arquitectura compuesta por un nodo móvil instalado en el vehículo, un nodo fijo ubicado en las paradas y un nodo central basado en la plataforma Firebase, encargado de la recepción y almacenamiento de los datos. El nodo móvil utiliza un microcontrolador ESP32 y un módulo GPS NEO-6M para la captura de información de posicionamiento, la cual es transmitida de forma inalámbrica hacia la nube. Por su parte, el nodo fijo procesa la información recibida para calcular la distancia y el tiempo estimado de llegada del autobús, mostrando estos datos en una pantalla OLED.

La visualización de la información se realiza a través de una plataforma web y una aplicación móvil orientada a dispositivos Android, permitiendo el monitoreo del sistema desde distintos dispositivos. Para el desarrollo del proyecto se empleó el modelo en V, garantizando una adecuada relación entre las etapas de diseño, implementación y pruebas. Los resultados obtenidos durante la implementación y las pruebas de funcionamiento evidencian un desempeño estable y confiable del sistema, validando su viabilidad como una solución tecnológica para el monitoreo del transporte público urbano.

Palabras clave: Internet de las Cosas, geoposicionamiento, transporte público, paradas inteligentes, ESP32.

ABSTRACT

This degree project aims to develop an intelligent bus stop system based on an Internet of Things (IoT) architecture and geopositioning, focused on improving access to public transportation information in the city of Otavalo. The proposed system allows users to know the location of buses, the route traveled, and the estimated arrival time at bus stops through near real-time monitoring technologies.

The developed solution is based on an architecture composed of a mobile node installed inside the vehicle, a fixed node located at bus stops, and a central node based on the Firebase platform, responsible for data reception and storage. The mobile node uses an ESP32 microcontroller and a NEO-6M GPS module to capture positioning data, which is wirelessly transmitted to the cloud. Meanwhile, the fixed node processes the received data to calculate the distance and estimated arrival time of the bus, displaying this information on an OLED screen.

Data visualization is provided through a web platform and a mobile application developed for Android devices, enabling system monitoring from different devices. The project was developed following the V-model methodology, ensuring a proper relationship between design, implementation, and testing stages. The results obtained during implementation and functional testing demonstrate a stable and reliable system performance, validating its feasibility as a technological solution for urban public transportation monitoring.

Keywords: Internet of Things, geopositioning, public transportation, intelligent bus stops, ESP32.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Capítulo I: Planteamiento del Proyecto	23
1.1	Tema.....	23
1.2	Problema.....	23
1.3	Objetivos	24
1.3.1	Objetivo General	24
1.3.2	Objetivos Específicos.....	24
1.4	Alcance.....	25
1.5	Justificación.....	26
2	Capítulo II: Fundamento Teórico	28
2.1.1	Internet de las Cosas	28
2.1.2	Arquitectura IoT.....	29
2.1.3	Tecnologías Inalámbricas Utilizadas en IoT.....	32
2.1.4	IoT en el Sector del Transporte.....	34
2.2	Smart Cities	34
2.2.1	Arquitectura Smart City	37
2.2.2	Movilidad Inteligente	39
2.2.2.1	Comunicación Vehicular V2X.....	40
2.2.2.2	Comunicación Vehicular V2V.....	41
2.2.2.3	Comunicación Vehicular V2I	42
2.3	Geoposicionamiento y Sistemas de Información Geográfica (GIS)	43

2.3.1 Componentes de un Sistema GIS.....	44
2.3.2 Aplicaciones de Geoposicionamiento en el Transporte Público.....	45
2.3.3 Herramientas y Plataformas GIS Utilizadas Para el Seguimiento de Rutas de Transporte.	46
2.4 Normativa y Regulación Para las Ciudades Inteligentes	47
2.4.1 Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible	47
2.4.2 Transporte Público Inteligente en el Marco del ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles	48
3 Capítulo III: Desarrollo y Diseño del Proyecto.	50
3.1 Metodología	50
3.1.1 Fase Estudio de Requisitos	51
3.1.2 Fase Diseño del Sistema	52
3.1.3 Fase Diseño de Arquitectura.....	52
3.1.4 Fase de Diseño Modular	52
3.1.5 Fase de Programación	53
3.1.5.1 Desarrollo del Firmware Embebido.....	53
3.1.5.2 Desarrollo del Backend.....	53
3.1.5.3 Desarrollo del Frontend (Web o App Móvil)	54
3.2 Situación Actual	54
3.2.1.1 Población de Estudio.....	55
3.2.1.2 Muestreo	55

3.2.1.3	Fórmula Para el Cálculo del Tamaño de Muestra Ajustada Para Poblaciones Finitas	56
3.2.1.4	Análisis de la Encuesta	57
3.2.2	Ubicación Actual Geográfica de Estudio.....	59
3.2.3	Incidencia de las Operadoras en el Sector de Análisis	63
3.3	Análisis de Requerimientos.....	66
3.3.1	Stakeholders	67
3.3.2	Sistema.....	70
3.3.3	Software	72
3.3.4	Requerimientos de Arquitectura	74
3.4	Selección de Hardware y Software	76
3.4.1	Selección de Hardware	77
3.4.2	Selección de Software.....	81
3.5	Diseño del Sistema	84
3.5.1	Diseño de Arquitectura IoT	85
3.5.2	Diseño del Nodo Móvil.....	87
3.5.2.1	Diagrama de Flujo del Nodo Móvil	89
3.5.2.2	Diseño de Diagrama Electrónico - Nodo Móvil Autobús.....	90
3.5.2.3	Dimensiones Caja Plástica – Colocado en la Cabina del Autobús ...	92
3.5.2.4	Cálculo de Consumo Energético del Nodo Móvil	93
3.5.3	Diseño del Nodo Fijo	95
3.5.3.1	Diagrama de Flujo del Nodo Fijo	96

3.5.3.2	Diseño de Diagrama Electrónico - Nodo Fijo Paradas	97
3.5.3.3	Dimensiones Caja Plástica – Colocado en las Paradas	98
3.5.3.4	Cálculo de Consumo Energético del Nodo Fijo	98
3.5.4	Diseño del Nodo Central.....	100
3.5.4.1	Estructura de la base de datos	101
3.5.4.2	Estructura de almacenamiento de la información en Firebase.....	103
3.5.4.3	Diseño Firebase - Nodo Central.....	105
3.5.4.4	Control de Acceso y Niveles de Privilegio	105
3.5.5	Diseño Aplicación Móvil.....	106
3.5.5.1	Diseño de Maqueta de Aplicación Móvil	107
4	Capítulo IV: Implementación, Pruebas y Resultados	113
4.1	Implementación de la Solución	113
4.1.1	Implementación del Nodo Móvil	113
4.1.1.1	Hardware Utilizado	114
4.1.1.2	Ubicación del nodo móvil.....	118
4.1.1.3	Datos que captura.....	119
4.1.1.4	Frecuencia de envío	120
4.1.1.5	Filtro anti-rebotes.....	121
4.1.2	Implementación del Nodo Fijo	122
4.1.2.1	Hardware Utilizado	122
4.1.2.2	Ubicación del Nodo Fijo.....	126

4.1.2.3	Datos que Captura.....	128
4.1.2.4	Frecuencia de Envío.....	129
4.1.3	Implementación del Nodo Central	130
4.1.3.1	Plataforma utilizada	130
4.1.3.2	Conexión de las Bases de Datos	131
4.1.3.3	Recepción y almacenamiento de datos	132
4.1.3.4	Comunicación con la Plataforma Web	135
4.1.4	Programación de la Plataforma Web	137
4.1.5	Implementación de la Aplicación Móvil.....	141
4.2	Plan de Pruebas de Funcionamiento.....	146
4.2.1	Pruebas de cobertura móvil para la obtención de coordenadas geográficas	146
4.2.2	Pruebas de transmisión de datos	148
4.2.3	Pruebas de procesamiento y almacenamiento de datos	150
4.2.4	Pruebas de visualización de datos en la aplicación.....	152
4.2.5	Pruebas de funcionamiento del nodo fijo.....	154
4.3	Resultados	155
4.3.1	Resultados de la implementación del sistema.....	155
4.3.2	Resultados de las pruebas de funcionamiento	158
4.3.3	Análisis de resultados obtenidos.....	161
4.3.4	Análisis de Costos del Proyecto.....	163
4.3.5	Validación del cumplimiento de los objetivos.....	165

Conclusiones	168
Recomendaciones	170
Referencias.....	171
Anexos	174
Anexo A. Formato de encuesta revisado y aprobado, dirigida al personal administrativo y operativo.	174
Anexo B. Formato de encuesta revisado y aprobado, dirigida a los usuarios finales.	177
Anexo C. Encuesta realizada a personal operativo gerente, subgerente, presidente y conductor.....	180
Encuesta Gerente	180
Encuesta Subgerente	183
Encuesta Presidente	186
Encuesta Conductor	189
Anexo D. Encuesta realizada a los usuarios del servicio de transporte público. ...	192
Encuesta Mes de Marzo 2025	192
Encuesta Mes de Abril 2025	195
Encuesta Mes de Junio 2025.....	198
Anexo E. Análisis y Tabulación de las Encuestas	201
Personal Administrativo y Operativo.....	201
Usuarios del Servicio de Transporte Público.....	205
Anexo F: Listado y Descripción de Stakeholders.....	212

Requerimientos de Stakeholders (StRS).....	212
Requerimientos del Sistema (SyRS).....	214
Requerimientos de Software (SRS)	217
Requerimientos de Arquitectura (SyRA).....	220
Anexo G: Repositorios y Enlaces	223
Repositorio de GitHub	223
Códigos de Programación	223
Nodo Móvil.....	223
Nodo Fijo	223
Plataforma Web	223
Enlace de Cobertura de Red Móvil en Ecuador.....	223
Anexo H. Fotográfico	223

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Arquitectura IoT	29
Figura 2	Representación General de una Smart City.....	35
Figura 3	Línea de Autobuses de la EMT en Madrid.....	36
Figura 4	Arquitectura IoT de una Smart City	37
Figura 5	Comunicación vehículo a todo (V2X).....	40
Figura 6	Comunicación vehículo a vehículo (V2V).....	41
Figura 7	Comunicación vehículo a infraestructura (V2I).....	42
Figura 8	Korea Eximbank y CAF en Cuenca.	43
Figura 9	Sistema de Información Geográfica (GIS).....	44
Figura 10	Proyecto de movilidad basado en el convenio “Modelo Coreano”	48
Figura 11	Modelo de verificación o validación	51
Figura 12	Parada de Autobús dentro del Cantón Otavalo	55
Figura 13	Área de estudio ruta Otavalo - Quichinche	60
Figura 14	Paradas ubicadas del recorrido de autobús.....	60
Figura 15	Mapa de cobertura 4G CNT Móvil en Otavalo	63
Figura 16	Mapa de cobertura 4G Claro Móvil en Otavalo	64
Figura 17	Mapa de cobertura 4G Movistar Móvil en Otavalo	65
Figura 18	Arquitectura del Sistema IoT	86
Figura 19	Diseño del Nodo Móvil	88
Figura 20	Diagrama de flujo del nodo móvil.....	89
Figura 21	Representación Electrónica del Nodo Móvil.....	91
Figura 22	Caja Plástica Pequeña Para Proyectos Electrónicos.....	93
Figura 23	Diseño del Nodo Fijo	95
Figura 24	Diagrama de flujo del nodo fijo	96

Figura 25	Representación Electrónica del Nodo Fijo	97
Figura 26	Caja Plástica Grande Para Proyectos Electrónicos.....	98
Figura 27	Diseño del Nodo Central	101
Figura 28	Almacenamiento del nodo móvil	104
Figura 29	Almacenamiento del nodo fijo	104
Figura 30	Diagrama Nodo Central Firebase	105
Figura 31	Diagrama de conectividad entre la Ubicación, Internet y App Android .	106
Figura 32	Menú principal	108
Figura 33	Elección de la Cooperativa de Transportes	109
Figura 34	Opciones del Usuario	110
Figura 35	Elección de Línea de Autobús.....	111
Figura 36	Visualización del mapa desde la App.....	112
Figura 37	Conjunto de hardware del nodo móvil (ESP32, GPS y conexión USB-C).	114
Figura 38	Integración del hardware del nodo móvil (vista frontal y posterior).....	115
Figura 39	Conexión a internet del nodo móvil mediante zona de cobertura inalámbrica.....	116
Figura 40	Nodo móvil ensamblado con caja de protección y sistema de alimentación.	116
Figura 41	Sistema de alimentación del nodo móvil.....	117
Figura 42	Ubicación del nodo móvil en la cabina del conductor del vehículo.....	118
Figura 43	Datos entregados por el nodo móvil durante la operación del sistema. ..	119
Figura 44	Evidencia intervalo de envío de datos configurado en el nodo móvil.....	121
Figura 45	Comparación de la trayectoria GPS sin filtro y con filtro anti-rebotes aplicado.	122

Figura 46 Implementación del nodo fijo mediante pantalla OLED y ESP32.....	123
Figura 47 Integración de los componentes que conforman el nodo fijo.....	123
Figura 48 Conexión a internet del nodo fijo mediante zona de cobertura inalámbrica	124
Figura 49 Nodo fijo ensamblado y soldado para operación en entorno móvil	125
Figura 50 Nodo fijo ensamblado con sistema de alimentación y batería de respaldo.	125
Figura 51 Ubicación del nodo fijo en la parada del Mercado Municipal de Otavalo.	126
Figura 52 Ubicación del nodo fijo en la parada del Coliseo de Quichinche	127
Figura 53 Ubicación de los nodos fijos mencionados en el mapa	128
Figura 54 Datos capturados del nodo fijo	128
Figura 55 Datos capturados en tiempo real en la parada de Quichinche	129
Figura 56 Evidencia de la frecuencia de envío de datos del nodo fijo hacia la plataforma Firebase.....	130
Figura 57 Inicialización de la conexión a Firebase Realtime Database en los nodos móvil y fijo.....	132
Figura 58 Recepción y procesamiento de datos del Nodo Móvil desde Firebase ...	133
Figura 59 Recepción y validación de datos del Nodo Fijo desde Firebase	133
Figura 60 Procesamiento del Nodo Móvil.....	134
Figura 61 Procesamiento del Nodo Fijo	134
Figura 62 Configuraciones para establecer la comunicación con la plataforma web	135
Figura 63 Bloque exacto donde GitHub Pages “recibe” Firebase	136
Figura 64 Integración de las bases de datos con la plataforma Web GitHub Pages	136

Figura 65 Declaración de todas las paradas fijas, con su nombre y coordenadas: ..	137
Figura 66 Creación inicial del bus	138
Figura 67 Actualización / redibujado del bus (posición y estado).....	138
Figura 68 Visualización de las paradas de transporte y su distribución geográfica en la plataforma web.....	138
Figura 69 Creación de la línea verde (Polyline)	139
Figura 70 Función que filtra y suaviza el GPS	140
Figura 71 Función Anti-rebotes de posición GPS	140
Figura 72 Anti-rebotes de velocidad.....	141
Figura 73 Interfaz principal de la aplicación móvil para el sistema de paradas inteligentes	142
Figura 74 Selección de cooperativa de transporte en la aplicación móvil.....	143
Figura 75 Menú de servicios de la aplicación móvil	144
Figura 76 Selección de línea de autobús en la aplicación móvil	145
Figura 77 Visualización del seguimiento GPS del autobús en tiempo real	146
Figura 78 Conectividad del nodo móvil y nodo fijo mediante red inalámbrica	147
Figura 79 Obtención de datos de Módulos GPS.....	147
Figura 80 Datos transmitidos y almacenados en Firebase correspondientes al nodo móvil y al nodo fijo.....	149
Figura 81 Procesamiento en tiempo real del nodo fijo	151
Figura 82 Procesamiento en tiempo real del nodo móvil	151
Figura 83 Al seleccionar una línea enseguida se abre el mapa con la ruta y paradas	152
Figura 84 Recorrido de Salida	153
Figura 85 Recorrido de Retorno	154

Figura 86 Implementación y pruebas de funcionamiento del nodo fijo en la parada inteligente.....	155
Figura 87 Implementación del nodo fijo en el terminal terrestre de Otavalo - semana 1.....	156
Figura 88 Implementación del nodo fijo en el mercado 24 de mayo – semana 2 ...	157
Figura 89 Implementación del nodo fijo en el coliseo de Quichinche – semana 3 .	157
Figura 90 Usuarios revisando la llegada del bus desde el nodo fijo en la parada del Mercado Municipal.....	158
Figura 91 Usuarios de Quichinche esperando el bus hacia Otavalo mediante la aplicación Móvil	158
Figura 92 Visualización del recorrido del autobús en tiempo real mediante la plataforma web.....	159
Figura 93 Visualización del nodo móvil en funcionamiento desde la aplicación móvil Android	159
Figura 94 Estudiantes de la U. E. Otavalo observando el tiempo de llegada del bus al terminal terrestre de Otavalo.....	160
Figura 95 Habitantes de la Parroquia de Quichinche esperando la llegada del bus desde Otavalo.....	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías Inalámbricas Utilizadas en IoT.....	32
Tabla 2 Valores Reemplazados en la Ecuación 1 y 2	57
Tabla 3 Listado de paradas operativas en la ciudad de Otavalo.	61
Tabla 4 Abreviaturas de los requerimientos definidos según el estándar ISO/IEC/IEEE 29148.....	67
Tabla 5 Identificación y clasificación de stakeholders (StRS)	68
Tabla 6 Especificación de Requerimientos de las Partes Interesadas (StRS).....	69
Tabla 7 Requerimientos del Sistema (SyRS).....	71
Tabla 8 Requerimientos de Software (SRS)	73
Tabla 9 Requerimientos de Arquitectura (SyRA).....	75
Tabla 10 Selección de Microcontrolador de Nodo Móvil.....	77
Tabla 11 Selección de Microcontrolador de Nodo Fijo.....	78
Tabla 12 Selección del módulo GPS.....	80
Tabla 13 Selección de la pantalla.....	81
Tabla 14 Tabla de Requerimientos de Software Para la Programación del Sistema IoT.....	82
Tabla 15 Tabla de Requerimientos de la plataforma IoT.....	83
Tabla 16 Selección de Entornos de Desarrollo para Aplicaciones Android	84
Tabla 17 Consumo Energético Nodo Móvil	94
Tabla 18 Consumo Energético Nodo Fijo.....	99
Tabla 19 Tabla comparativa entre los dos sistemas	162
Tabla 20 Costos del proyecto.....	164

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Tamaño de muestra inicial	56
Ecuación 2	Ajuste para población finita	56

1 Capítulo I: Planteamiento del Proyecto

1.1 Tema

SISTEMA DE PARADA INTELIGENTE BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT Y GEOPOSICIONAMIENTO, PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE OTAVALO.

1.2 Problema

Las paradas de autobús tradicionales a menudo carecen de servicios digitales, lo que limita la capacidad de proporcionar información en tiempo real a los pasajeros, como horarios de llegada y actualizaciones del tráfico. “En la ciudad de Otavalo la falta de información precisa y actualizada puede resultar en retrasos y confusiones para los pasajeros, lo que puede afectar su capacidad para planificar sus viajes de manera eficiente.” Su ausencia puede contribuir a la ineficiencia en el transporte público, esto puede aumentar la posibilidad de accidentes o situaciones peligrosas, generando confusión y riesgos para los usuarios al tener que esperar o abordar el transporte en lugares inseguros.

Madrid, como parte de un plan de renovación de paradas de bus, en 2014 se establecieron unas 700 paradas con paneles de información con la hora de llegada, temperatura y pronóstico del tiempo y, además, 100 de ellas cuentan también con WiFi gratuito, integrándose así al servicio de ómnibus de la Empresa Municipal de Transporte que ya ofrecía conexión a internet sin costo adicional. Las principales capitales europeas optan por paradas de bus inteligentes gracias a las que se facilita la vida a los usuarios, sobre todo a aquellos con discapacidad visual (Zicla, 2017).

Como antecedente, en la ciudad de Ibarra en la cual durante el mes de mayo del año 2015 se inició un proceso de innovación en el transporte público mediante la implementación de 150 paradas inteligentes, mismas que daban a conocer a los usuarios el estado de las rutas y

la proximidad de los autobuses en base a tecnología GPS y enlaces satelitales para así fortalecer el desarrollo urbano organizado. Este proyecto no fue óptimo debido a los retardos en la comunicación lo que provocaba una ineficiente actualización de datos en los nodos “paradas” con mayor aglomeración de usuarios y por ello un descontento en la ciudadanía (Chandi, 2023).

Sin un sistema de paradas inteligentes, la planificación y organización puede ser menos eficientes, lo que podría llevar a horarios irregulares, el sistema de paradas inteligentes a escalada de prototipado que se está planteando, pretende mejorar la eficiencia y la experiencia con relación a los usuarios que utilizan el transporte público en la ciudad de Otavalo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estado actual de las paradas y funcionamiento de recorrido para una línea de buses del transporte público urbano de la ciudad de Otavalo.
- Establecer requerimientos de hardware y software en base a soluciones implementadas en otras ciudades que permitan una funcionalidad adecuada del sistema inteligente de paradas.
- Diseñar el sistema inteligente con los componentes de hardware y software establecidos para el funcionamiento de un prototipo de pruebas.

- Realizar pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, estableciendo pruebas específicas en un entorno controlado.

1.4 Alcance

El propósito de esta investigación es desarrollar un prototipo para implementar paradas inteligentes y rastrear rutas de autobuses urbanos en Otavalo. Para lograrlo, se establecerá una conexión entre nodos y una estación base utilizando redes inalámbricas. Además, permitirá visualizar la trayectoria de estas rutas en un mapa digital de Leaflet.

Para el desarrollo de este proyecto se hace uso de la metodología en V, que establece las siguientes etapas:

La *etapa 1* de la metodología corresponde al análisis, levantamiento de información, en esta etapa se llevará a cabo un estudio detallado del estado actual de las paradas tradicionales. Se recopilará información sobre el recorrido del autobús. Además, se analizarán proyectos similares implementados en países desarrollados que ya cuentan con servicios avanzados. Esta investigación permitirá cumplir con el objetivo 1 del proyecto, de esta manera se cumple con el objetivo 1.

La *etapa 2* de la metodología corresponde a requisitos del sistema y especificaciones. Se empleará una combinación de tecnologías, componentes de hardware y software, redes móviles que permitan la comunicación de los nodos. Podrán enviar y recibir coordenadas simultáneamente, lo que facilitará el seguimiento en tiempo real de sus ubicaciones. Se aplicará el estándar IEEE 29148, que define los elementos de información aplicables a la ingeniería de requisitos y su contenido, cumpliendo el objetivo 2 del proyecto.

La *etapa 3* de la metodología corresponde al diseño, una vez seleccionados los componentes, se procederá a definir el diseño de la solución con los módulos correspondientes que se interconectarán mediante comunicación inalámbrica. Esta estrategia permitirá la integración eficaz de los elementos del sistema, facilitando la transmisión de datos y

asegurando una operación fluida y eficiente en su conjunto. La ruta establecida se mapeará en términos de latitud y longitud, colocando marcadores en cada parada. Esto permitirá mejorar la precisión en la obtención de datos y garantizar una localización exacta de cada punto de parada en el sistema. La conexión y el envío de datos se realizan de forma inalámbrica, los datos se alojan en una plataforma web, cumpliendo con el objetivo 3.

La *etapa 4* de la metodología corresponde a las pruebas y validación del sistema, establecerá un escenario controlado para probar los módulos de comunicación, incluyendo el módulo en la parada, el nodo en el autobús y el nodo central. También se evaluará la interacción entre la aplicación móvil, que recibirá la información del usuario y la gestión centralizada en el nodo central. En este ambiente controlado se definirá una ruta específica, la cual se analizará durante un periodo de tiempo prudencial para garantizar la eficacia del sistema dando cumplimiento al objetivo 4.

1.5 Justificación

Al presentar esta nueva propuesta se espera mejorar la puntualidad y la frecuencia de los autobuses, ofrecer información útil y accesible a los usuarios, y promover la sostenibilidad. Al recopilar datos sobre el uso de los autobuses y la demanda de los usuarios, un sistema de paradas inteligente puede ayudar a las autoridades de transporte a optimizar la asignación de recursos y reducir los costos operativos. Por ejemplo, el sistema puede ajustar la frecuencia de los autobuses en función de la demanda en tiempo real, evitando que se utilicen recursos innecesarios (Demera & Ponce, 2023).

El Plan Nacional de Oportunidades Ecuador Transporte Público se está implementando en todo el país y ya ha tenido un impacto positivo en la calidad del transporte público. El plan ha ayudado a reducir los tiempos de viaje, mejorar la seguridad y aumentar la comodidad de los usuarios (Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador, 2021).

Los planes de ordenamiento local del GAD Otavalo transporte público han tenido un impacto positivo en el transporte público en el cantón. La mejora de la infraestructura de transporte público, como paradas de autobús y estaciones de tren (Alcaldía Ciudadana de Otavalo, 2023).

De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad. Planes para garantizar sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos, en términos de acceso a las instituciones basadas en colecciones (Moran, 2023).

2 Capítulo II: Fundamento Teórico

En este capítulo se revisan los conceptos teóricos clave para analizar el tema de investigación. Se destaca cómo las tecnologías de movilidad han transformado el transporte inteligente en las ciudades, mejorando la gestión de rutas y horarios. Al compararlas con los métodos tradicionales de información, se observa una mayor precisión y accesibilidad. Además, estas innovaciones contribuyen a la eficiencia y sostenibilidad del servicio de autobuses, adaptándose a las demandas actuales de movilidad urbana.

En este sentido, resulta crucial comprender este fenómeno y su impacto directo en la efectividad del sistema propuesto. De esta manera, se pone de relieve cómo el geoposicionamiento contribuye significativamente a la mejora de la productividad, al permitir un control riguroso de los tiempos durante los desplazamientos. Paralelamente, se abordan los conceptos fundamentales relacionados con el geoposicionamiento, las rutas y el uso de aplicaciones móviles, prestando particular atención a la interacción entre las redes móviles y la comunicación entre los nodos y la central.

Por otra parte, la adopción de tecnologías avanzadas en los sistemas de transporte público, particularmente en el contexto de las paradas inteligentes de autobuses, representa un avance sustancial. Esta integración de geoposicionamiento, aplicaciones móviles y redes de comunicación no solo optimiza el control, sino que también permite una mayor adaptabilidad del sistema, en beneficio tanto de los operadores como de los usuarios. Así, se logra una mejora tangible en la eficiencia y la calidad del servicio ofrecido.

2.1.1 Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere al proceso mediante el cual los objetos físicos cotidianos se conectan a Internet. Este concepto abarca una amplia gama de elementos, que van desde dispositivos domésticos comunes, como las bombillas inteligentes, hasta recursos

críticos en el ámbito de la salud, como los dispositivos médicos. Además, accesorios personales inteligentes, y se extiende hasta los sistemas integrales que sustentan el funcionamiento de las ciudades inteligentes (Redhat, 2023).

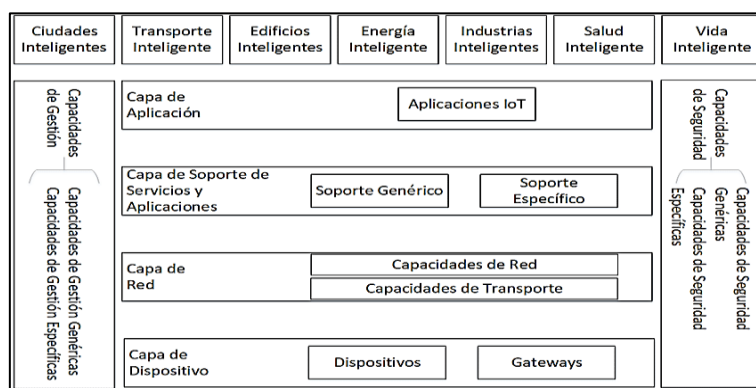
Los dispositivos se dividen comúnmente en dos categorías principales: sensores y actuadores. Los sensores son dispositivos responsables de la detección y recopilación de datos del entorno, tales como temperatura, humedad o movimiento. Estos datos son transmitidos a un sistema central o a una plataforma de análisis para su procesamiento y evaluación. Por otro lado, los actuadores son dispositivos diseñados para recibir instrucciones de un sistema y ejecutar acciones específicas, como encender una luz, ajustar una válvula o mover un objeto. Esta distinción entre sensores y actuadores subraya la dualidad funcional en los sistemas IoT, donde los sensores proporcionan la información necesaria para la toma de decisiones, y los actuadores llevan a cabo las acciones determinadas por estas decisiones (Redhat, 2023).

2.1.2 Arquitectura IoT

La arquitectura IoT es un proceso integrado fundamentalmente por cuatro fases mostradas en la **Figura 1**:

Figura 1

Arquitectura IoT



Nota. Modelo de referencia de IoT según ITU-T *Fuente:* (Escalante, 2021)

Capa de Dispositivos

Incluye sensores que recopilan datos del entorno y actuadores que ejecutan acciones basadas en las instrucciones recibidas. Los gateways en esta capa actúan como intermediarios, concentrando y procesando preliminarmente los datos antes de enviarlos a las capas superiores. Además, proporcionan conectividad a través de diversas tecnologías inalámbricas, y aplican medidas de seguridad para garantizar la integridad y confidencialidad de la información transmitida. De esta manera, los dispositivos y gateways colaboran para asegurar una recolección y transmisión de datos eficiente y segura, formando la base esencial para la operación de una red IoT (Caiza Narváez, 2021).

Capa de Red

Integra capacidades de red y de transporte esenciales para la comunicación eficiente y segura entre los dispositivos y los sistemas centrales. Las capacidades de red abarcan la asignación de direcciones IP, enrutamiento, conectividad mediante las redes móviles, y la gestión de la red para asegurar su funcionamiento óptimo. Por otro lado, las capacidades de transporte se centran en la transferencia fiable de datos, utilizando protocolos como TCP y UDP, implementando medidas de seguridad como TLS, y gestionando el tráfico para mantener la calidad del servicio. Estas capacidades combinadas garantizan la transmisión eficiente, segura y fiable de los datos generados por los dispositivos IoT (Tovar Soto, 2019).

Capa de Soporte de Servicios y Aplicaciones

Proporciona tanto soporte genérico como específico. El soporte genérico abarca funciones esenciales para la operación de dispositivos IoT, incluyendo gestión de dispositivos, seguridad, almacenamiento de datos, conectividad, interoperabilidad y plataformas de desarrollo. Por otro lado, el soporte específico se adapta a las necesidades particulares de aplicaciones o dominios específicos, como procesamiento de datos del dominio, integración

con sistemas heredados, servicios personalizados, interfaces de usuario especializadas y cumplimiento normativo. Esta combinación de soporte genérico y específico permite una implementación versátil y eficiente de soluciones IoT en diversos sectores (Sierra, 2020).

Capa de Aplicación

Desempeña un papel esencial al proporcionar las interfaces y servicios que interactúan directamente con los usuarios y otros sistemas. Esta capa incluye aplicaciones específicas que permiten el monitoreo y control de dispositivos conectados, la realización de análisis de datos para generar informes y predicciones, y la visualización de información en tiempo real para facilitar la toma de decisiones. Además, abarca aplicaciones de comunicación que facilitan la interacción entre usuarios y dispositivos, así como la gestión de dispositivos para su configuración y actualización. Así, la capa de aplicación no solo maximiza el valor de los datos recopilados, sino que también asegura una experiencia de usuario integrada y eficiente en el ecosistema IoT (Sierra, 2020).

Capacidades de Gestión (Capas Transversales)

Las capacidades de gestión genéricas se refieren a funciones comunes y reutilizables que facilitan la administración general de los dispositivos y recursos IoT, como la monitorización, el control y la actualización de firmware. Por otro lado, las capacidades de gestión específicas se centran en tareas y operaciones particulares que están diseñadas para un contexto o aplicación específica, como la configuración personalizada de un dispositivo o la gestión de datos en un entorno específico, garantizando así que los requisitos particulares de la aplicación sean atendidos de manera efectiva (Delgado Agudelo, 2019).

Capacidades de Seguridad (Capas Transversales)

Las capacidades de seguridad genéricas son funciones y mecanismos básicos que protegen la infraestructura de IoT en general, como la autenticación, la encriptación, y la

gestión de identidades, aplicables a múltiples dispositivos y aplicaciones. Por otro lado, las capacidades de seguridad específicas se refieren a medidas de protección adaptadas a las particularidades de un dispositivo, aplicación o contexto específico, abordando amenazas y vulnerabilidades concretas en función del entorno o uso particular del dispositivo (Rojas, 2020).

2.1.3 Tecnologías Inalámbricas Utilizadas en IoT

Las tecnologías inalámbricas utilizadas en el Internet de las Cosas (IoT) son protocolos y estándares que permiten la comunicación entre dispositivos sin necesidad de cables físicos. Estas tecnologías son cruciales para la conectividad en aplicaciones de IoT, ya que ofrecen diferentes características como alcance, consumo de energía y velocidad de transmisión.

La **Tabla 1** presenta cada una de las tecnologías sus aplicaciones y ventajas específicas, por lo que la elección depende de los requisitos del proyecto de IoT, como el alcance necesario, el consumo de energía, la velocidad de transferencia de datos y el entorno de operación.

Tabla 1

Tecnologías Inalámbricas Utilizadas en IoT

Tecnología	Estándar	Distancias	Áreas de Aplicación
Wi-Fi	IEEE 802.11	Mín: 10 metros Máx: 150 metros	Hogares, oficinas, redes de área local, dispositivos de alta velocidad.
Bluetooth	IEEE 802.15.1 / Bluetooth 5.0	Mín: 1 metro Máx: 100 metros	Dispositivos portátiles, wearables, audio, control de corto alcance.
Bluetooth Low Energy (BLE)	IEEE 802.15.1 / Bluetooth 4.0+	Mín: 1 metro Máx: 100 metros	Sensores de bajo consumo, dispositivos de fitness, aplicaciones de salud.

Zigbee	IEEE 802.15.4	Mín: 10 metros Máx: 100 metros	Automatización del hogar, control de iluminación, sensores.
Z-Wave	Z-Wave Alliance	Mín: 10 metros U. Máx: 100 metros R.	Automatización del hogar, control de dispositivos, sistemas de seguridad.
LoRa	LoRaWAN	Mín: 1 km U. Máx: 15 km R.	Agricultura, monitoreo de ciudades inteligentes, gestión de activos.
NB-IoT	3GPP Release 13+	Mín: 1 km Máx: 10 km	Medición de agua y gas, control de edificios, monitoreo en áreas remotas.
Sigfox	Sigfox	Mín: 1 km U. Máx: 15 km R.	Monitoreo de activos, sensores ambientales, aplicaciones de bajo ancho de banda.
4G	LTE (Long Term Evolution)	Mín: 1 km Máx: 20 km	Aplicaciones móviles, dispositivos de monitoreo en tiempo real, conectividad en áreas urbanas y suburbanas.
5G	3GPP Release 15+	Mín: 1 km Máx: Variable (hasta varios km con estaciones base densas)	Aplicaciones de alta velocidad, ciudades inteligentes, vehículos autónomos.

Nota. 4G proporciona una mayor velocidad y capacidad en comparación con 3G, y sigue siendo una tecnología importante para muchas aplicaciones IoT que requieren una conexión rápida y confiable.(Babun, 2021)

2.1.4 IoT en el Sector del Transporte

El Internet de las cosas (IoT) permite recopilar datos de los vehículos a través de sensores instalados, de esta manera se proporciona información detallada sobre el rendimiento del vehículo y el comportamiento del conductor. Cuando estos datos se analizan, se pueden traducir en importantes ganancias y eficiencia para toda la flota (Santos Pásto, 2023).

Permite la interconexión de vehículos, infraestructuras y usuarios, lo que facilita la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Esta integración se traduce en la optimización de rutas, la reducción de tiempos de viaje y la mejora en la gestión del tráfico.

En el ámbito del transporte público, permite monitorear el rendimiento de los vehículos, prever fallos y realizar mantenimientos preventivos, lo que resulta en una mayor fiabilidad del servicio. Además, la conectividad entre los diferentes medios de transporte facilita la implementación de sistemas de pago integrados y la provisión de información en tiempo real a los pasajeros, mejorando su experiencia y satisfacción (Santos Pásto, 2023)

IoT contribuye a la reducción de la huella de carbono del sector del transporte. Al mejorar la eficiencia operativa, se logra una disminución en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. La gestión inteligente del tráfico respaldada por tecnologías IoT, son pasos fundamentales hacia un transporte más sostenible y ecológico (Torres Rodríguez & Patiño López, 2019).

2.2 Smart Cities

Una Ciudad Inteligente es una ciudad innovadora que utiliza Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la toma de decisiones, así como la eficiencia de las operaciones, los servicios urbanos y su competitividad, a la vez que

se garantiza la atención a las necesidades de las generaciones actuales y futuras en relación con los aspectos económicos, sociales y medioambientales". Es atractiva para los ciudadanos, empresarios y trabajadores, y genera un espacio más seguro, con mejores servicios y con un ambiente de innovación que incentiva soluciones creativas, generando empleos y reduciendo las desigualdades. De esa manera, como se muestra en la **Figura 2** promueve un ciclo virtuoso que produce no solo bienestar económico y social, sino que también garantiza el uso sostenible de sus recursos y más calidad de vida a largo plazo (Repsol, 2023).

Figura 2

Representación General de una Smart City.



Nota. Una Ciudad Inteligente permite capturar e integrar datos en tiempo real de la ciudad mediante el uso de sensores y dispositivos móviles (Tecnología IoT) *Fuente:* (Fernández, 2021)

En España, una de las ciudades europeas de referencia es Madrid, la cual se ha distinguido por implementar innovaciones que contribuyen a mejorar la calidad de vida de sus habitantes, sobresale por su avanzada gestión urbana. Entre sus logros más significativos se encuentran el Centro Integrado de Seguridad y Emergencias, que utiliza tecnologías de última generación para coordinar los servicios del SAMUR (Servicio de Asistencia Municipal de Urgencia y Rescate) y la Policía, lo que ha permitido una notable reducción en los tiempos de respuesta ante situaciones de emergencia (Castellana, 2022).

La movilidad en Madrid constituye un claro ejemplo de innovación y modernización en el ámbito del transporte urbano. En este sentido, la **Figura 3** muestra como la ciudad ha desarrollado un sistema integrado de transporte público y privado, accesible para personas con discapacidad, y soportado por aplicaciones móviles.

Figura 3

Línea de Autobuses de la EMT en Madrid



Cada parada cuenta con un mapa de referencia que indica qué líneas de autobús pasan por ese punto, el tramo de inicio y fin del recorrido, así como un código QR para descargar la aplicación móvil EMT Madrid. De esta manera, el pasajero tiene la posibilidad de visualizar el trayecto completo de su viaje y la ubicación de la parada donde deberá bajarse. Además, la aplicación permite obtener información actualizada en tiempo real sobre el estado del servicio, lo que facilita una planificación más eficiente del desplazamiento.

Estas aplicaciones permiten planificar rutas, acceder a información en tiempo real sobre paradas y líneas de buses, además efectuar pagos mediante una billetera electrónica (Castellana, 2022).

2.2.1 Arquitectura Smart City

En la **Figura 4** se muestra la arquitectura IoT de una Smart City, estructurada en varias capas interconectadas, cada una desempeñando funciones específicas para garantizar la eficiencia y efectividad del sistema urbano inteligente.

Figura 4

Arquitectura IoT de una Smart City



Nota. Una Ciudad Inteligente está caracterizada por el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Automatización y control de edificios. Planificación urbana eficiente. Movilidad urbana y transporte público sostenible. Fuente. (Lozada, 2021)

Enabling Technologies Layer.

Capa de Tecnologías Habilitadoras se refiere a las tecnologías fundamentales que permiten la implementación y operación del sistema IoT en la ciudad. Esta capa incluye infraestructuras y componentes como redes de comunicación, plataformas de computación en la nube, y sistemas de almacenamiento de datos que facilitan la conectividad, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos generados por los dispositivos IoT distribuidos en la ciudad. Estas tecnologías son esenciales para el funcionamiento y escalabilidad de las aplicaciones IoT en un entorno urbano (Delgado Agudelo, 2019).

Business Imperatives Layer.

Capa de Imperativos de Negocios describe a los objetivos estratégicos y prioridades de alto nivel que guían la implementación de soluciones tecnológicas, en este caso, para el transporte público. Esta capa se centra en alinear la tecnología IoT con las metas clave de la ciudad, como mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, aumentar la satisfacción de los usuarios, y cumplir con regulaciones y políticas urbanas. En el contexto del transporte público, esto implica utilizar datos y análisis para optimizar rutas, gestionar el tráfico, mejorar la puntualidad de los servicios, y promover la sostenibilidad, siempre en concordancia con los objetivos estratégicos de la ciudad (Rojas, 2020).

Value Generations Layer.

Capa de Generación de Valor muestra donde se generan y aplican datos e información para mejorar los servicios de transporte. Esta capa transforma los datos recopilados por los sensores y dispositivos conectados (como autobuses, trenes, semáforos, etc.) en valor tangible, como la optimización de rutas, la reducción de tiempos de espera, la mejora de la experiencia del usuario y la eficiencia operativa. Es la capa donde los datos se convierten en decisiones y acciones que aportan beneficios concretos al sistema de transporte público (Omar Otoniel, 2023).

City Services Layer.

Servicios de la Ciudad representa el conjunto de servicios públicos que una ciudad ofrece a sus ciudadanos y empresas, pero optimizados y mejorados a través de la tecnología. Estos servicios abarcan una amplia gama de áreas, desde la gestión del transporte y la energía hasta la prestación de servicios sanitarios y educativos (Binda, 2023).

Smart City Goals Layer.

Capa de Objetivos de la Ciudad Inteligente define los objetivos estratégicos y las metas a largo plazo que se buscan alcanzar a través de la implementación de soluciones tecnológicas, como el transporte inteligente público. En este contexto, esta capa orienta el diseño y la implementación de sistemas de transporte inteligente, asegurando que estos contribuyan a mejorar la movilidad urbana, reducir la congestión, minimizar el impacto ambiental y aumentar la eficiencia y accesibilidad del transporte público, alineándose con la visión global de la ciudad inteligente (Omar Otoniel, 2023).

2.2.2 Movilidad Inteligente

La movilidad es uno de los aspectos más destacados en el despliegue de las redes vehiculares. En este sentido, la creación de un plan de movilidad inteligente basado en lógica difusa y en comunicaciones vehiculares que es capaz de determinar cuándo se produce un atasco en ciudad para que los vehículos tomen rutas alternativas. Los resultados de esta propuesta consiguieron alcanzar unas reducciones de emisiones contaminantes de hasta un 12,27%, obteniendo una mejora de la sostenibilidad ambiental en ciudad mediante la toma de rutas alternativas por parte de los vehículos para alcanzar su destino (Omar Otoniel, 2023).

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), han supuesto un relevante auge en el desarrollo de nuevas propuestas tecnológicas aplicadas al mundo del transporte. Dentro de los ITS, surgió el concepto de redes vehiculares (Vehicular Ad-hoc NETworks - VANET). Este tipo de red inalámbrica es capaz de comunicar vehículos e infraestructura para proveer determinados servicios. Actualmente, dichas redes están en el punto de mira del desarrollo tecnológico debido al previsible número de aplicaciones y servicios que pueden aportar al mundo de la conducción y a la sociedad en general (Torres Rodríguez & Patiño López, 2019).

2.2.2.1 Comunicación Vehicular V2X

La integración de Servicios Basados en la Localización en un sistema de paradas inteligentes de autobuses puede transformar significativamente la experiencia de los usuarios y la eficiencia del sistema de transporte público, proporcionando beneficios tangibles tanto para los pasajeros como para los operadores.

La comunicación V2X mostrada por la **Figura 5** identifica primordialmente objetos en la vía, mediante una cámara frontal e inicia el proceso de frenado autónomo. Al mismo tiempo, informa sobre la posición y el tipo de obstáculo a un servidor en la nube, utilizando la red móvil. Esta comunicación se divide en varias subcategorías, cada una con un propósito específico para mejorar la seguridad, eficiencia y experiencia del transporte (Torres Rodríguez & Patiño López, 2019).

Figura 5

Comunicación vehículo a todo (V2X)



Nota. Los vehículos se comunicarán entre sí y con su entorno gracias al sistema V2X, que previene accidentes, evita atascos, y promueve la conducción autónoma. *Fuente:* (Torres Rodríguez & Patiño López, 2019)

2.2.2.2 Comunicación Vehicular V2V

La comunicación V2V habilita que los diversos vehículos se envíen mensajes a través de una transmisión inalámbrica, al utilizar una parte dedicada del “espectro electromagnético”, así como un nuevo estándar inalámbrico, 802.11p. Ofreciendo de tal manera, un punto de acceso WiFi en el coche y alrededor de este (López, 2021).

Permite que los vehículos puedan transmitir y recibir mensajes multidireccionales (hasta 10 veces por segundo), creando una “conciencia” de 360 grados de los otros vehículos en las proximidades como muestra la Figura 6. En sí, los vehículos equipados con el software apropiado pueden emplear los mensajes de los vehículos circundantes para determinar amenazas de choque, luego la tecnología puede emplear alertas visuales, táctiles y audibles o una combinación de las mismas para advertir a los conductores (López, 2021).

Figura 6

Comunicación vehículo a vehículo (V2V)



Nota. Los vehículos se comunicarán entre sí y con su entorno gracias al sistema V2X, que previene accidentes, evita atascos, y promueve la conducción autónoma. Fuente.(Omar Otoniel, 2023)

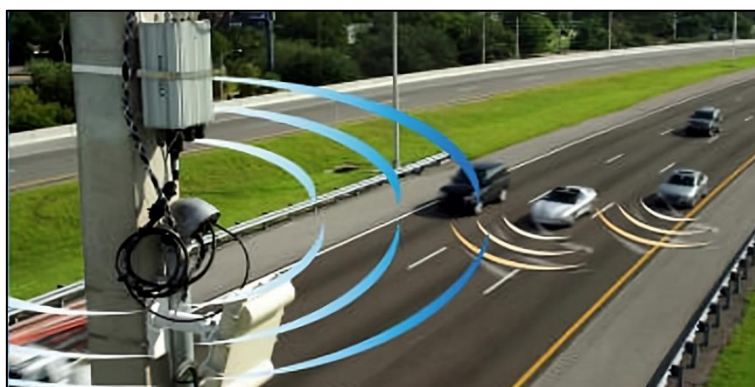
2.2.2.3 Comunicación Vehicular V2I

La comunicación entre vehículo e infraestructura (V2I) es el intercambio bidireccional de información entre coches, camiones y autobuses y las señales de tráfico, las señalizaciones de los carriles y otras infraestructuras viales inteligentes a través de una conexión inalámbrica. Los objetivos generales de la tecnología entre vehículos e infraestructuras son mejorar la seguridad vial, reducir las colisiones y apoyar la gestión de las zonas de trabajo y del tráfico (GeoTab, 2019).

Esta tecnología mostrada en la **Figura 7** mejora la seguridad vial al proporcionar alertas tempranas sobre peligros potenciales, optimiza la gestión del tráfico mediante la sincronización de semáforos y señales inteligentes, y reduce el consumo de combustible y las emisiones contaminantes gracias a la conducción más eficiente. Además, facilita el mantenimiento y la gestión de la infraestructura vial mediante la recopilación de datos en tiempo real, y es esencial para el desarrollo y despliegue de vehículos autónomos, proporcionando información crítica sobre el entorno vial. Beneficios de la Comunicación V2I (Fernández, 2021).

Figura 7

Comunicación vehículo a infraestructura (V2I)



Nota. El vehículo en su trayecto normal va recopilando toda la información que obtiene de su entorno relativa al estado de la carretera y la circulación, y cuando pasa por una estación remota de la DGT transmite automáticamente esta información obtenida. Fuente. (Pisano, 2018)

El proyecto “Fortalecimiento de la Gestión y Monitoreo de la Movilidad Urbana a través de un Observatorio de Datos en Cuenca, Ecuador” mostrado en la **Figura 8**, es el nuevo proyecto seleccionado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MoEF) de Corea, en el marco del Programa de Intercambio de Conocimientos (KSP por sus siglas en inglés), que busca aprovechar las experiencias exitosas de desarrollo de Corea, conocidas como el "Modelo Coreano", para apoyar a otros países en sus esfuerzos de desarrollo (CAF, 2024).

Figura 8

Korea Eximbank y CAF en Cuenca.



Nota. El proyecto busca aprovechar las experiencias exitosas de desarrollo de Corea, conocidas como el «Modelo Coreano», para apoyar a otros países en sus esfuerzos de desarrollo. Fuente.(Cueva, 2015)

2.3 Geoposicionamiento y Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Son sistemas diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar, gestionar y presentar datos espaciales o geográficos. Los GIS combinan la cartografía, el análisis espacial y la tecnología de bases de datos para mejorar la toma de decisiones y resolver problemas relacionados con la geografía (Zhao, 2022).

Los sistemas de información geográfica mostrados en la **Figura 9** integran y analizan datos espaciales, proporcionando una plataforma robusta para planificar y gestionar infraestructuras de transporte de manera más eficiente. Los GIS permiten modelar y simular

flujos de tráfico, identificar puntos críticos y áreas de congestión, y evaluar el impacto de posibles modificaciones en la red de transporte. Además, facilitan la planificación de nuevas rutas y estaciones, asegurando una cobertura y accesibilidad óptima del transporte público para los usuarios (Alrwais, 2024).

Figura 9

Sistema de Información Geográfica (GIS)



Nota. GIS combina hardware, software y datos geográficos y los muestra en una representación gráfica. Fuente. (Zhao, 2022).

El geoposicionamiento permite la determinación precisa de la ubicación de vehículos y paradas en tiempo real, facilitando la gestión y el seguimiento de flotas de transporte. Esta capacidad no solo mejora la puntualidad y la regularidad de los servicios, sino que también permite una respuesta rápida ante incidencias, la reducción de tiempos de viaje y el consumo de combustible (Alrwais, 2024).

2.3.1 Componentes de un Sistema GIS

Un sistema de información geográfica (GIS) se compone de varios componentes clave que trabajan en conjunto para capturar, almacenar, analizar y visualizar datos geográficos. Estos componentes son (Traccar, 2019):

Hardware: Incluye los dispositivos físicos necesarios para operar el GIS, como servidores, computadoras, dispositivos de almacenamiento y periféricos de entrada/salida. También pueden incluirse dispositivos de captura de datos, como GPS y escáneres.

Software: Comprende las aplicaciones y herramientas necesarias para procesar y analizar los datos geográficos. Los componentes del software pueden incluir sistemas de gestión de bases de datos (DBMS), herramientas de análisis espacial, interfaces de usuario para la visualización de datos y herramientas de desarrollo para personalizar aplicaciones GIS.

Datos: Son la base del GIS e incluyen información geoespacial y atributos relacionados. Estos datos pueden ser vectoriales (puntos, líneas y polígonos) o raster (imágenes satelitales, fotografías aéreas). Además, los datos pueden provenir de diversas fuentes, como censos, encuestas, sensores remotos y GPS.

Metadatos: Proveen información sobre los datos geográficos, como su origen, formato, calidad y características. Los metadatos ayudan a los usuarios a entender y evaluar la utilidad de los datos para aplicaciones específicas.

Métodos: Se refiere a las técnicas y procedimientos empleados para la recolección, procesamiento, análisis y presentación de datos geográficos. Esto incluye metodologías de análisis espacial, modelos de predicción y simulación, y estándares para la interoperabilidad de datos.

Personal: Son los profesionales y técnicos capacitados que operan y mantienen el sistema GIS. Incluyen analistas de GIS, desarrolladores de software, cartógrafos, especialistas en datos y administradores de sistemas. El personal es responsable de la implementación, gestión y utilización efectiva del GIS para resolver problemas y tomar decisiones informadas.

2.3.2 Aplicaciones de Geoposicionamiento en el Transporte Público.

Una de las aplicaciones más importantes del geoposicionamiento es el seguimiento en tiempo real de vehículos. Mediante el uso de GPS, los operadores de transporte pueden

monitorear la ubicación exacta de cada unidad de su flota, permitiendo una mejor coordinación y respuesta ante eventualidades. Esta capacidad de seguimiento en tiempo real es crucial para la implementación de sistemas de gestión de flotas, que optimizan la asignación de vehículos, reducen tiempos de espera y mejoran la puntualidad del servicio (Traccar,2019).

El geoposicionamiento facilita la planificación y optimización de rutas. A través de la recopilación y análisis de datos geoespaciales, se pueden diseñar rutas que maximicen la eficiencia y cobertura del servicio. Los sistemas GIS permiten la visualización de patrones de tráfico y la identificación de áreas de alta demanda, lo que contribuye a la creación de rutas que evitan congestiones y garantizan un servicio más rápido y confiable. Esta planificación basada en datos también permite ajustar las frecuencias de servicio en función de la demanda real, optimizando el uso de recursos y mejorando la experiencia del usuario (Traccar,2019).

2.3.3 Herramientas y Plataformas GIS Utilizadas Para el Seguimiento de Rutas de Transporte.

Las herramientas y plataformas de Sistemas de Información Geográfica (GIS) desempeñan un papel crucial en el seguimiento y gestión de rutas de transporte, proporcionando una infraestructura tecnológica avanzada para la recopilación, análisis y visualización de datos geoespaciales. Estas plataformas permiten a los operadores de transporte optimizar sus servicios, mejorar la eficiencia operativa y ofrecer una mejor experiencia a los usuarios.

Entre las herramientas y plataformas GIS más destacadas se encuentran (Berendsen et al., 2023):

ArcGIS: Desarrollada por Esri, ArcGIS es una de las plataformas GIS más utilizadas a nivel mundial. Proporciona una amplia gama de herramientas para el mapeo y análisis espacial, permitiendo a los operadores de transporte diseñar, monitorear y optimizar rutas de manera efectiva. ArcGIS permite la integración de datos de GPS en tiempo real, lo que facilita el seguimiento de la flota y la gestión dinámica de rutas.

QGIS: es una plataforma GIS de código abierto que ofrece potentes capacidades de mapeo y análisis geoespacial. Su flexibilidad y extensibilidad, a través de plugins, la hacen ideal para operadores de transporte que buscan una solución personalizable. QGIS permite la integración de datos en tiempo real y la creación de mapas interactivos, lo que facilita la visualización y gestión de rutas de transporte.

Leaflet: Leaflet es una biblioteca JavaScript de código abierto ampliamente utilizada para la visualización de mapas interactivos en aplicaciones web. Esta herramienta se caracteriza por su ligereza, alto rendimiento y facilidad de integración con diferentes fuentes de datos geoespaciales, lo que la convierte en una solución adecuada para sistemas de seguimiento en tiempo real basados en tecnologías GIS.

2.4 Normativa y Regulación Para las Ciudades Inteligentes

Describe las leyes, políticas y directrices que gobiernan el desarrollo, implementación y operación de tecnologías y servicios en entornos urbanos. Estas normativas aseguran que las soluciones tecnológicas cumplan con estándares de seguridad, privacidad, accesibilidad, sostenibilidad, y equidad, garantizando que el transporte público inteligente opere de manera eficiente, segura y en beneficio de todos los ciudadanos.

2.4.1 Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas en coordinación con la Agencia Francesa de Desarrollo, la Unión Europea y el Euroclima , presentan la Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible, **Figura 10** muestra el transporte urbano en la ciudad de Cuenca que se encuentra conectado a un sistema de monitoreo de rutas (PNMUS, 2023).

Figura 10

Proyecto de movilidad basado en el convenio “Modelo Coreano”



Nota. La imagen muestra el proyecto de movilidad basado en el convenio “Modelo Coreano” para el transporte urbano que se encuentra conectado a un sistema de monitoreo de rutas, plan de movilidad urbana Cuenca – Ecuador. Fuente.(Santos Pásto, 2023)

La Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible (PNMUS) del Ecuador constituye el marco legal para que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) mejoren las condiciones de movilidad en sus territorios para que los viajes, tanto de personas como de mercancías, generen menor impacto ambiental y contribuyan a la disminución de gases de efecto invernadero (PNMUS, 2023).

El documento presenta una síntesis de las estrategias y acciones para impulsar una movilidad urbana sostenible en diferentes áreas urbanas del país con miras hacia 2030; la misma incluye una visión estratégica a largo y mediano plazo, siete ejes de acción con sus respectivos objetivos, estrategias, así como las metas e indicadores de los ejes priorizados (Muñoz, 2023).

2.4.2 Transporte Público Inteligente en el Marco del ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

Este objetivo se centra en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Entre sus metas específicas, se promueve la

mejora de la infraestructura urbana y la planificación de las ciudades, lo que implica la adopción de tecnologías inteligentes que optimicen el uso de los recursos, fomenten la sostenibilidad y mejoren la calidad de vida de los ciudadanos. La implementación de sistemas de transporte público eficientes e innovadores es fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la movilidad y minimizar la congestión urbana (ONU, 2015).

3 Capítulo III: Desarrollo y Diseño del Proyecto.

En el presente capítulo se expone el proceso de desarrollo y diseño del sistema IoT, abordando el análisis de los recursos esenciales para la implementación del sistema de comunicación propuesto. Para ello, se adopta el Modelo en V como metodología de desarrollo, dado que permite estructurar y secuenciar de manera lógica las distintas fases del proyecto.

Siguiendo esta metodología, el proceso inicia con un análisis de los requerimientos del sistema, fundamentado en una revisión de la situación actual del área de estudio. El Modelo en V garantiza que cada fase del desarrollo sirva como base y validación de la siguiente, lo que permite una progresión ordenada y coherente en la construcción del dispositivo, además de facilitar la detección y corrección de posibles inconsistencias en cada etapa del proyecto.

Posteriormente, se presenta la selección de los recursos de hardware y software necesarios para la implementación del sistema. Además, se desarrolla el diseño general del sistema, detallando sus componentes y procesos clave. Finalmente, este capítulo concluye con la construcción del hardware y software, consolidando la implementación del sistema propuesto.

3.1 Metodología

El desarrollo del presente trabajo de titulación se estructuró siguiendo las fases establecidas por el Modelo en V como metodología principal, debido a su capacidad para estructurar y secuenciar de forma lógica las distintas fases de diseño e implementación del sistema. Esta metodología permite una revisión continua de los requisitos y del contexto actual, asegurando que cada etapa del desarrollo tenga una base sólida para validar la siguiente. El enfoque del Modelo en V garantiza una evolución ordenada y coherente del sistema, facilitando la detección de errores y la mejora progresiva del diseño, lo cual resulta esencial en proyectos tecnológicos como el propuesto sistema IoT.

El Modelo en V mostrado en la **Figura 11**, se utiliza para estructurar el desarrollo de sistemas complejos como un sistema de paradas inteligentes basado en IoT. Su enfoque se centra en una relación directa entre las fases de diseño y sus correspondientes actividades de verificación y validación, asegurando un desarrollo sistemático. A continuación, se explica cómo podría aplicarse:

Figura 11

Modelo de verificación o validación



Fuente: (Carmona, 2021)

3.1.1 Fase Estudio de Requisitos

Se realiza un análisis detallado de la situación actual del sistema de transporte público en la ciudad de Otavalo, apoyado en entrevistas y encuestas dirigidas tanto a usuarios como al personal administrativo y operativo. Esta etapa permitió identificar necesidades específicas, tales como la falta de información en tiempo real sobre la ubicación de los autobuses, los tiempos de espera en las paradas y la ausencia de herramientas tecnológicas que mejoren la experiencia del usuario.

3.1.2 Fase Diseño del Sistema

Se define la arquitectura general de la solución propuesta. En esta etapa se establecieron los componentes principales del sistema, incluyendo el nodo móvil instalado en el autobús, los nodos fijos ubicados en paradas estratégicas y el nodo central encargado de la gestión y visualización de la información. Asimismo, se especificaron los recursos de hardware y software necesarios para garantizar la correcta adquisición, transmisión y almacenamiento de los datos.

3.1.3 Fase Diseño de Arquitectura

Detalla la interacción entre los distintos módulos del sistema, considerando los flujos de información desde el dispositivo GPS hasta la plataforma en la nube. Esta fase permitió definir los protocolos de comunicación, la estructura de la base de datos en Firebase y los mecanismos de sincronización temporal mediante NTP, asegurando la integridad y consistencia de los datos transmitidos.

-Desarrollar el software que permita la comunicación entre dispositivos IoT y servidor, siguiendo los diseños previos.

-Configurar los dispositivos IoT, como los módulos GPS para interactuar con la red y plataformas IoT.

3.1.4 Fase de Diseño Modular

Cada subsistema será analizado y probado de forma independiente. Se verifica el correcto funcionamiento del módulo GPS, la conectividad WiFi del ESP32, la transmisión de datos hacia la base de datos en tiempo real y la correcta visualización de la información en la plataforma web. Esta etapa resultó clave para detectar y corregir errores antes de la integración total del sistema.

-Verificar el funcionamiento independiente de cada componente:

¿Detectan los sensores GPS correctamente?

¿Funciona la pantalla como se espera?

¿Transfiere datos correctamente la comunicación IoT?

-Pruebas de integración

¿Los datos captados por los módulos se visualizan correctamente en la pantalla informativa?

¿El sistema envía información precisa a la aplicación móvil?

3.1.5 Fase de Programación

Se desarrolló el firmware del nodo móvil y de los nodos fijos, así como la programación de la plataforma web y la aplicación móvil. En esta etapa se incorporaron técnicas de filtrado y suavizado de datos GPS, con el objetivo de reducir los efectos de rebotes y lecturas erráticas, mejorando la precisión de la visualización de rutas y tiempos estimados de llegada. La culminación de esta fase permitió contar con un sistema funcional, validado mediante pruebas de funcionamiento y listo para su evaluación en un entorno real. Se detallan los siguientes puntos a tratar de esta fase a continuación.

3.1.5.1 Desarrollo del Firmware Embebido

Programación de los microcontroladores (ESP32) para:

- Capturar datos desde módulos (GPS).
- Controlar actuadores (Pantalla OLED).
- Gestionar la conexión IoT (4G /WiFi).

3.1.5.2 Desarrollo del Backend

Implementación del servidor o nube que permita:

- Recibir los datos desde los dispositivos IoT.
- Almacenar y gestiona los datos (Uso de Firebase).
- Proveer servicios web para la aplicación móvil y monitoreo.

3.1.5.3 Desarrollo del Frontend (Web o App Móvil)

- Desarrollo de la interfaz de usuario (UI) para pasajeros.
- Visualización de paradas y rutas en tiempo real.
- Consulta de horarios y costos.

3.2 Situación Actual

La infraestructura de las paradas de autobuses en la ciudad de Otavalo, hasta la fecha, se encuentra bajo la administración pública de la Cooperativa 8 de Septiembre, liderada por su respectivo presidente. Particularmente, la ruta Otavalo-Quichinche que es la que se analiza, y es parte de este proyecto, tiene sus respectivas paradas en función de la ubicación, demanda de los ciudadanos y sobre todo el cumplimiento de lineamientos de las autoridades que rigen el transporte en la ciudad.

Las paradas fueron estratégicamente ubicadas **Figura 12**, estableciendo un intervalo de aproximadamente una cada dos cuadras, con el objetivo de optimizar la accesibilidad y maximizar los beneficios para la comunidad. Sin embargo, actualmente, la infraestructura en las paradas mantiene un diseño tradicional y presentan un deterioro significativo en sus materiales de construcción. Además, muchas de ellas muestran daños visibles, como grafitis y estructuras desoldadas, a consecuencia de actos vandálicos.

Figura 12*Parada de Autobús dentro del Cantón Otavalo***3.2.1.1 Población de Estudio**

Otavalo, la segunda ciudad más poblada de la provincia de Imbabura, cuenta con 125,785 habitantes según el (Censo, 2020), lo que representa el 30.2% de la población total de la provincia. De acuerdo con los datos proporcionados por el GAD Municipal de Otavalo, el sector urbano alberga 44,536 habitantes, mientras que el sector rural registra una población de 65,925 habitantes.

La parroquia San José de Quichinche, se encuentra ubicada en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura a 2 km de Otavalo. La población de acuerdo al último censo fue de 8.458 habitantes y representa el 8,08% de la población total del cantón de Otavalo (GADMO, 2023).

3.2.1.2 Muestreo

Las muestras se utilizan para obtener información representativa de una población sin necesidad de estudiar a todos sus integrantes. Permiten realizar inferencias estadísticas, reducir

costos, ahorrar tiempo y mejorar la precisión en estudios de encuestas, investigaciones científicas y análisis de mercado.

En la fórmula del tamaño de muestra para poblaciones finitas, la muestra representa un subconjunto de la población que se estudia para hacer inferencias sobre el total. La relación con la fórmula se explica así:

- N (*Población total*) → Indica el tamaño de la población de la que se extrae la muestra.
- n (*Tamaño de la muestra*) → Es el número de individuos seleccionados para representar a la población.
- Z (*Nivel de confianza*) → Define la seguridad de que los resultados sean representativos.
- p (*Proporción esperada*) → Suposición de la variabilidad de la población.
- e (*Margen de error*) → Define cuánta precisión se busca en la estimación.

3.2.1.3 Fórmula Para el Cálculo del Tamaño de Muestra Ajustada Para Poblaciones Finitas

Ecuación 1

Tamaño de muestra inicial

$$n_0 = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2}$$

Fuente: (Triola, 2020)

Ecuación 2

Ajuste para población finita

$$n_{\text{ajustado}} = \frac{n_0 * N}{n_0 + (N - 1)}$$

Fuente: (Triola, 2020)

Según los datos de la **Tabla 2**. Para una población de 8,458 habitantes, con un nivel de confianza del 95%, un margen de error del 5% y suponiendo que la proporción estimada (p) es 0.5, El resultado final ajustado es 368 encuestas.

Tabla 2

Valores Reemplazados en la Ecuación 1 y 2

Variable	Cantidad
N	8,458
Z	1.96
e	0.05
p	0.5

Parámetros:

$N = 8,458 \rightarrow$ Población total

$Z = 1.96 \rightarrow$ Nivel de confianza del 95%

$p = 0.5 \rightarrow$ Proporción estimada

$e = 0.05 \rightarrow$ Margen de error

3.2.1.4 Análisis de la Encuesta

La encuesta realizada tiene como objetivo recopilar información sobre los pasajeros que utilizan el sistema de transporte público urbano y rural como medio de movilidad. La estructura del cuestionario está diseñada con preguntas específicas dirigidas a los beneficiarios del servicio, permitiendo obtener datos relevantes sobre su experiencia y necesidades.

El formato de la encuesta se encuentra documentado en los **Anexos A y B** Mientras que el análisis para cada una de las preguntas, realizadas al personal administrativo y operativo, así como los usuarios beneficiarios del servicio se detallan en los **Anexos C y D**.

La encuesta está conformada por un total de diez preguntas, las cuales se detallan a continuación.

- **Pregunta1 ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?**
- **Pregunta2 ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?**
- **Pregunta3 ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?**
- **Pregunta4 ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?**
- **Pregunta5 ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?**
- **Pregunta6 ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano?**
- **Pregunta7 ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?**
- **Pregunta8 ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?**
- **Pregunta9 ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?**
- **Pregunta10 ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?**

A continuación, se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos

En base a los resultados obtenidos en la encuesta sobre el servicio de transporte urbano en Otavalo, se evidencia que, si bien el 50 % de los usuarios se declara satisfecho con el servicio actual, persisten problemáticas relevantes que afectan su percepción. Entre los principales inconvenientes señalados destacan la falta de puntualidad (36.67 %) y la insuficiencia de información clara y accesible sobre horarios y rutas, situación que fue confirmada por el 63.33 % de los encuestados. La mayoría de usuarios obtiene dicha información a través de otros pasajeros, lo que refleja la ausencia de canales oficiales eficaces. Además, un 43 % indicó que suele esperar entre 10 y 15 minutos en las paradas, y más del 40 % consideró que los horarios programados no se cumplen adecuadamente. A pesar de ello, el 66.67 % reconoció que las paradas están ubicadas en lugares accesibles.

Finalmente, las sugerencias más recurrentes para mejorar el sistema incluyen mayor puntualidad, mejor atención e incremento en la frecuencia de los recorridos. Una vez finalizado el análisis de los resultados de las encuestas, se procede a la definición de los requerimientos del sistema, en cumplimiento con la metodología previamente establecida.

3.2.2 Ubicación Actual Geográfica de Estudio

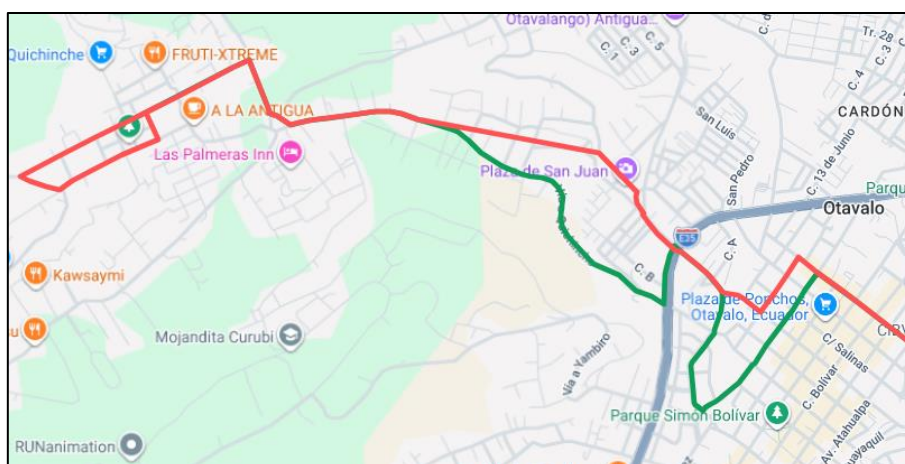
A través de la herramienta My Maps, es posible obtener estimaciones aproximadas tanto de la superficie como de la distancia total del recorrido trazado, lo cual resulta fundamental para el análisis geoespacial y la planificación del sistema propuesto. Mostrando los siguientes datos aproximados.

- Una superficie total de 35 Hectáreas.
- Una distancia total de 16.4 Kilómetros.

La **Figura 13** presenta el trazado aproximado de la ruta entre la parroquia San José de Quichinche (al oeste) y la ciudad de Otavalo (al este), delimitando un área de interés clave para el desarrollo del proyecto.

Figura 13

Área de estudio ruta Otavalo - Quichinche

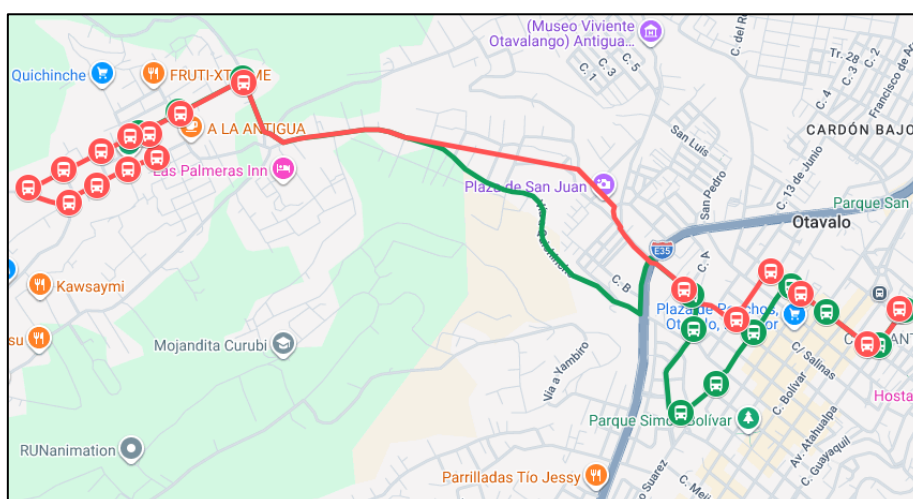


Nota. Esta visualización fue generada mediante la herramienta Google My Maps, permitiendo estimar la extensión territorial y longitud de la ruta, aspectos fundamentales para el diseño y planificación del sistema de transporte en estudio.

La **Figura 14** muestra el recorrido definido para el sistema de transporte público. Las paradas fueron georreferenciadas utilizando coordenadas de longitud y latitud, de acuerdo con el trayecto habitual del autobús y con la aprobación del gerente de la cooperativa de transporte correspondiente.

Figura 14

Paradas ubicadas del recorrido de autobús



Según los datos detallados en la **Tabla 3**, el trayecto de ida, que inicia en el terminal terrestre de Otavalo y finaliza en la parroquia San José de Quichinche, se representa en color verde; mientras que el trayecto de retorno, desde el parque central de Quichinche hacia el terminal terrestre, se indica en color rojo. Esta representación gráfica permite visualizar de forma clara las rutas operativas del sistema y la distribución de las paradas a lo largo del recorrido.

Tabla 3

Listado de paradas operativas en la ciudad de Otavalo.

Nro.		Coordenadas Geográficas	
Parada	Ubicación	Latitud	Longitud
1	Terminal Terrestre Otavalo	0.23081921936949	-78.2579557970166
2	Av. Atahualpa y Neptalí Ordoñez	0.230844700148328	-78.2578032463789
3	Av. Atahualpa y Av. Quito	0.22942649357198	-78.2588328793645
4	Av. Quito y C. Sucre	0.230750488321043	-78.2608472183347
5	Av. Quito y Av. 31 de Octubre	0.23180458787619	-78.2622456550598
6	Av. 31 de Octubre y C. Juan de Dios Morales	0.229944826299207	-78.2638271525502
7	Av. 31 de Octubre y Av. Luis F. Cisneros	0.2267412883484	-78.2667219266295
8	Av. Luis F. Cisneros y Segundo J. Castro	0.230017580632638	-78.2661683857441
9	C. Juan de Dios Morales y Mercado 24 de Mayo	0.231445845351893	-78.2662347704172
10	Pedro Pérez Pareja y Panamericana	0.233013248370041	-78.2679822295904
11	Pedro Pérez Pareja y Caminos de Herradura	0.233983194150469	-78.2689062505961

12	Av. Quito y Hacienda Pastavi	0.240078126701633	-78.2842850312591
13	Av. Quito y Prados de Pastavi	0.238738710267752	-78.2868512347341
14	Av. Quito y Miguel Egas	0.238280727046624	-78.2876974716783
15	Av. Quito y GAD Parroquial Quichinche	0.23774563096518	-78.2887874543667
16	Av. Quito y Julio Andrade	0.237162926060921	-78.2899314165115
17	Av. Quito y Ulpiano Navarro	0.236435718352547	-78.2914294302464
18	Av. Quito y Amelia	0.235681018196329	-78.2928479835391
19	Calle Quichinche Esquina	0.235104348124892	-78.2912410050631
20	Julio Andrade, Quichinche	0.235786294009115	-78.2901396229863
21	Parque de Quichinche	0.236423648514745	-78.2888759672642
22	Calle Quichinche y Miguel Egas	0.236882637617219	-78.2877185940743
23	Miguel Egas y Avenida Quito	0.237852247855235	-78.2880367711186
24	Avenida Quito y Vía Antigua	0.238659585788468	-78.2867513224483
25	Avenida Quito y Hacienda Pastavi	0.239912166474767	-78.2842458039522
26	Pedro Pérez Pareja y Gustavo Moreno Loza	0.233919492217412	-78.2690571248531
27	C. Juan de Dios Morales, Mercado 24 de Mayo	0.231621193334541	-78.266598880291
28	C. Juan de Dios Morales y Ricaurte	0.230428290572459	-78.2644893229008
29	Avenida Quito y Ricaurte	0.232345048559178	-78.2631445303559
30	Avenida Quito y C. Modesto Jaramillo	0.231458585740772	-78.2619304955006
31	Av. Quito y Av. Atahualpa	0.229405036071866	-78.2592566683888
32	Terminal Terrestre de Otavalo	0.230842688507897	-78.2579853013158

Nota. Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) correspondientes a cada parada fueron obtenidas mediante el uso de un dispositivo móvil con capacidad de geolocalización. Para cada

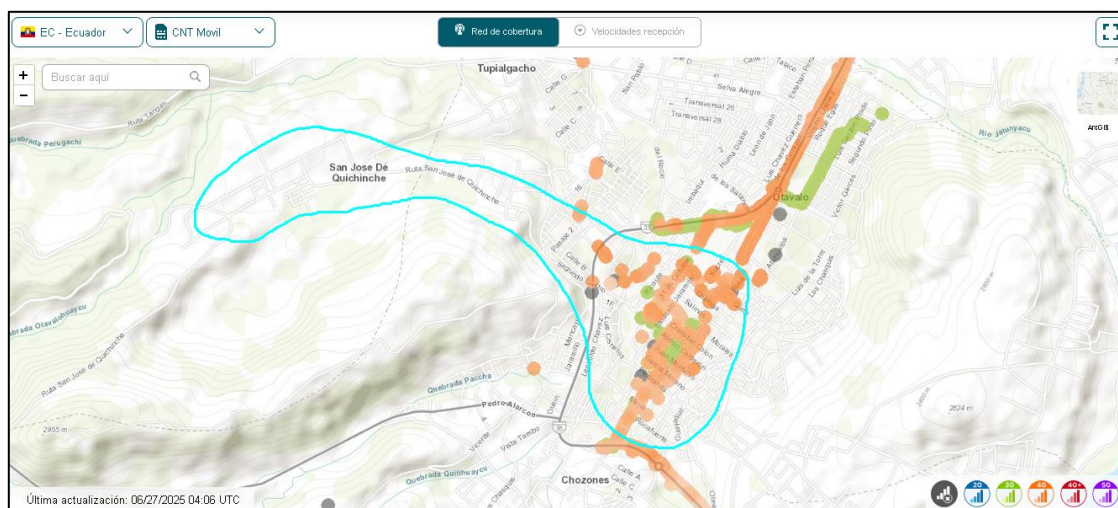
punto de parada se registró su nombre, la intersección principal de referencia y las respectivas coordenadas geográficas, con el fin de garantizar una identificación precisa dentro del sistema propuesto.

3.2.3 Incidencia de las Operadoras en el Sector de Análisis

Con el objetivo de seleccionar la operadora más adecuada para el desarrollo del sistema, se realizó un análisis comparativo de la cobertura móvil 4G en la zona de estudio, utilizando datos proporcionados por las plataformas oficiales de cobertura de las operadoras CNT y Claro. Esta evaluación permite identificar el nivel de conectividad disponible en los puntos estratégicos definidos, considerando que una red 4G confiable es fundamental para garantizar la transmisión efectiva de datos. A continuación, se presentan las imágenes correspondientes a cada operadora, detallando la distribución y alcance de sus respectivas coberturas dentro del área delimitada. Véase las figuras **Figura 15**, **Figura 16** y **Figura 17**.

Figura 15

Mapa de cobertura 4G CNT Móvil en Otavalo



Fuente: (nperf.com)

La imagen corresponde al análisis de cobertura móvil de la operadora “CNT” en el área de estudio delimitada con una línea azul. En ella se representan los niveles de conectividad

presentes en función de la ubicación de las paradas seleccionadas. Los indicadores de cobertura se detallan de la siguiente manera:

Línea azul: Delimitación geográfica del área de estudio.

Puntos naranjas: Señal de red móvil con tecnología 4G.

Puntos rojos: Señal de red móvil con tecnología 4G+.

Puntos verdes: Señal de red móvil con tecnología 3G.

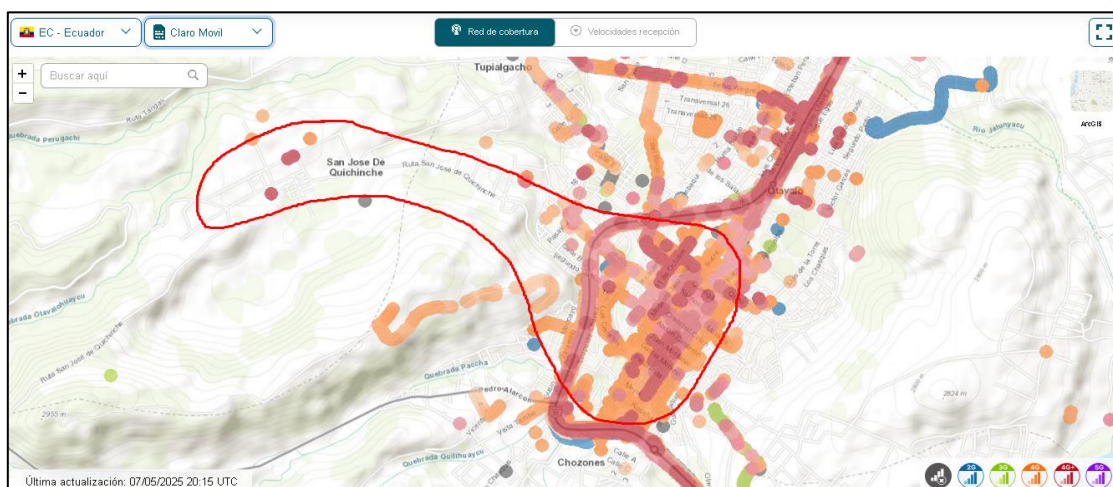
Puntos azules: Señal de red móvil con tecnología 2G.

La cobertura ofrecida por CNT Móvil dentro del área delimitada presenta una distribución heterogénea, con una presencia predominante de tecnologías 4G y 4G+ únicamente en sectores específicos del centro urbano. En el resto del perímetro marcado, la conectividad disminuye significativamente, observándose zonas con cobertura 3G, 2G e incluso áreas sin registro de señal.

Esta visualización permite identificar la disponibilidad y distribución de las distintas tecnologías móviles dentro del área seleccionada, lo cual es fundamental para el análisis de conectividad y calidad del servicio en la zona.

Figura 16

Mapa de cobertura 4G Claro Móvil en Otavalo



Fuente: (nperf.com)

La imagen presentada corresponde al análisis de cobertura móvil proporcionada por la operadora Claro en función de la ubicación geográfica de las paradas dentro del área de estudio, la cual se encuentra delimitada mediante una línea roja. En el mapa se visualizan los niveles de cobertura móvil según la tecnología disponible, representados por los siguientes indicadores:

Línea roja: Delimitación del área de estudio.

Puntos naranjas: Cobertura de red móvil 4G.

Puntos rojos: Cobertura de red móvil 4G+.

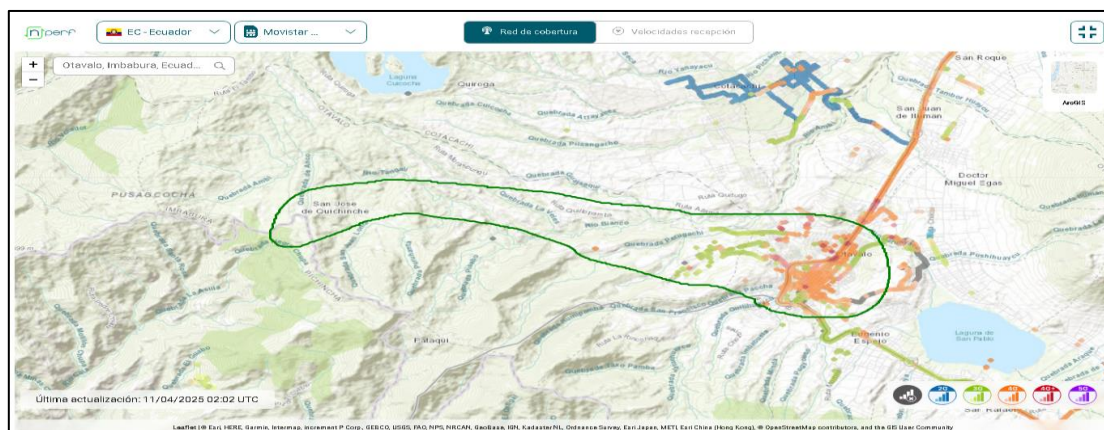
Puntos verdes: Cobertura de red móvil 3G.

Puntos azules: Cobertura de red móvil 2G.

Este análisis evidencia que la mayor parte del área delimitada cuenta con cobertura móvil de tecnologías 4G y 4G+, lo cual resulta favorable para la implementación del sistema propuesto. En zonas urbanas, la cobertura de una antena 4G puede alcanzar distancias de entre 1 y 2 kilómetros, mientras que en entornos rurales o con menor densidad de obstáculos físicos, dicho alcance puede extenderse hasta los 10 kilómetros o más. Por tanto, Claro se posiciona como la opción más adecuada para continuar con el desarrollo del sistema, debido a la solidez y amplitud de su red dentro del área evaluada.

Figura 17

Mapa de cobertura 4G Movistar Móvil en Otavalo



Fuente: (nperf.com)

La imagen muestra el análisis de cobertura móvil correspondiente a la operadora Movistar, dentro del área de estudio delimitada mediante una línea verde. En el mapa se representan los niveles de conectividad disponibles según la tecnología de red identificada en los puntos estratégicos seleccionados. Los indicadores de cobertura se interpretan de la siguiente manera:

Línea verde: Delimitación geográfica del área de estudio.

Puntos naranjas: Cobertura de red móvil con tecnología 4G.

Puntos rojos: Cobertura de red móvil con tecnología 4G+.

Puntos verdes: Cobertura de red móvil con tecnología 3G.

Puntos azules: Cobertura de red móvil con tecnología 2G.

La visualización evidencia que la red de Movistar presenta una cobertura intermedia dentro del área de estudio. Se observa que las zonas urbanas y semiurbanas cuentan con disponibilidad de señal 4G y 4G+, mientras que en sectores periféricos o rurales la conectividad disminuye, predominando tecnologías 3G o incluso 2G en áreas más alejadas.

3.3 Análisis de Requerimientos

El análisis de requerimientos constituye una etapa fundamental dentro del proceso de desarrollo del sistema de paradas inteligentes basado en tecnología IoT y geoposicionamiento. Su propósito es identificar y estructurar las necesidades técnicas, funcionales y operativas que el sistema debe satisfacer, garantizando su correcta adaptación al contexto urbano de la ciudad de Otavalo y a las expectativas de los diferentes actores involucrados.

Durante esta fase se aplicaron principios establecidos en la norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018, la cual proporciona una guía estandarizada para la elaboración de especificaciones de requerimientos de sistemas y software. Dicho enfoque permite asegurar la trazabilidad, claridad y verificabilidad de los requerimientos, favoreciendo el desarrollo de una solución tecnológica confiable, escalable y alineada con los objetivos del proyecto.

En la siguiente **Tabla 4** se presentan las abreviaturas utilizadas para clasificar los diferentes tipos de requerimientos definidos conforme al estándar mencionado:

Tabla 4

Abreviaturas de los requerimientos definidos según el estándar ISO/IEC/IEEE 29148

Abreviatura	Descripción
StRS	Especificación de Requerimientos de las Partes Interesadas (Stakeholders)
SyRS	Especificación de Requerimientos del Sistema
SRS	Especificación de Requerimientos del Software
SyRA	Especificación de Requerimientos de Arquitectura del Sistema

Fuente: (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018)

3.3.1 Stakeholders

El análisis de los requerimientos de las partes interesadas (Stakeholders Requirements Specification – StRS) constituye la base para definir los objetivos funcionales y operativos del sistema de paradas inteligentes.

La correcta identificación de los stakeholders y la recopilación de sus requerimientos posibilitan una planificación alineada con los objetivos del sistema, promoviendo la participación de todos los involucrados y facilitando la toma de decisiones durante las etapas de diseño e implementación. En los apartados siguientes se presentan, primero, la caracterización de los stakeholders y, posteriormente, la especificación de sus requerimientos, clasificados de acuerdo con su naturaleza y nivel de prioridad.

Los stakeholders o partes interesadas son actores clave que intervienen directa o indirectamente en el diseño, desarrollo e implementación del sistema de paradas inteligentes.

La identificación de estos actores permite comprender con mayor precisión los requerimientos, intereses y expectativas vinculados al proyecto, facilitando una planificación adecuada y una gestión efectiva de los recursos.

En la **Tabla 5** se presenta la identificación detallada de los stakeholders involucrados en el proyecto, clasificando tanto a los individuos como a las entidades que participan y mantienen interés en el desarrollo y resultados del mismo. Esta identificación incluye actores clave tales como el gerente, presidente, conductor, los habitantes de la Parroquia San José de Quinche, autor, director y asesor de tesis.

Tabla 5

Identificación y clasificación de stakeholders (StRS)

No.	Stakeholders	Rol/Posición	Tipo	Interés Principal	Nivel de Influencia
StRS01	Marcelo Mosquera	Gerente de la Cooperativa	Primario/ Interno	Gestión y coordinación efectiva	Alto
StRS02	Edison Cabascango	Presidente de la Cooperativa	Primario/ Externo	Liderazgo en la toma de decisiones estratégicas	Alto
StRS03	Conductores de Buses	Conductor de la cooperativa 8 de septiembre	Secundario/ Externo	Operatividad del sistema	Bajo
StRS04	Habitantes de la Parroquia San José de Quinche	Beneficiarios finales	Primario/ Externo	Mejora en servicios/calidad de vida	Alto
StRS05	Henry Lema	Autor/Investigador	Primario/ Interno	Desarrollo exitoso de la tesis	Alto
StRS06	MSc. Fabián Cuzme	Director	Primario/ Interno	Éxito del proyecto y cumplimiento de objetivos	Alto

StRS07	MSc. Luis Suárez	Asesor	Secundario/ Interno	Calidad técnica y metodológica	Alto
---------------	---------------------	--------	------------------------	-----------------------------------	------

Los requerimientos de usuarios, dirigidos a habitantes y turistas, incluyen funcionalidades esenciales como la visualización en tiempo real del transporte y el acceso a información de rutas, siendo estos de alta prioridad para garantizar la funcionalidad básica del sistema como se muestra en la **Tabla 6**. Los requerimientos de gestión y supervisión contemplan herramientas administrativas como paneles de monitoreo y sistemas de alertas, necesarios para el control operativo del proyecto. Finalmente, los requerimientos operacionales especifican las tecnologías base del sistema, destacando la integración GPS e IoT como componentes críticos de alta prioridad. La clasificación por niveles de prioridad permite una implementación escalonada, priorizando las funcionalidades esenciales para el funcionamiento del sistema antes que las características complementarias.

En el **Anexo F** se presenta de manera íntegra la información recopilada de los stakeholders, la cual constituye la base para la definición de los requerimientos del sistema. A partir de este análisis se derivan los requerimientos funcionales y no funcionales.

Las tablas presentadas a continuación resumen estos requerimientos, organizados por su nomenclatura, requerimiento y nivel de prioridad, con el fin de facilitar su comprensión y trazabilidad dentro del desarrollo del proyecto.

Tabla 6

Especificación de Requerimientos de las Partes Interesadas (StRS)

(StRS)			
Requerimientos de Stakeholders		Prioridad	
No.		Alta	Media Baja
Requerimientos de usuarios (habitantes y turistas)			

StRS1	Visualización en tiempo real de la ubicación y tiempo estimado de llegada del transporte público	X	
StRS2	Interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar para personas de diferentes edades	X	
StRS3	Información de rutas disponibles desde San José de Otavalo hacia Quichinche	X	
StRS4	Acceso a información turística y puntos de interés cercanos		X
StRS5	Disponibilidad de información las 24 horas del día		X
Requerimientos de gestión y supervisión			
StRS6	Pantalla informativa para el anuncio del estado actual de las rutas de los autobuses	X	
StRS7	Generación de reportes de uso y estadísticas del sistema.		X
StRS8	Sistema de emergencias para prevención de incidentes con botón de pánico.		X
Requerimientos operacionales			
StRS9	Integración con sistema GPS para geolocalización aproximada	X	
StRS10	Conectividad IoT estable para transmisión de datos en tiempo real	X	
StRS11	Base de datos centralizada para almacenamiento de información de rutas		X

3.3.2 Sistema

Los requerimientos del sistema constituyen una parte fundamental en el diseño e implementación de soluciones tecnológicas, ya que permiten definir con claridad las funcionalidades, restricciones y características que debe cumplir el sistema para satisfacer las

necesidades identificadas de los stakeholders como se muestra en la **Tabla 7**. En este contexto, se han clasificado los requerimientos según su naturaleza funcional, de uso, de rendimiento, de interfaces y físicos, lo cual facilita su análisis, priorización e implementación. Esta clasificación asegura una cobertura integral de todos los aspectos relevantes del sistema de paradas inteligentes, garantizando su operatividad, accesibilidad, robustez y escalabilidad.

Tabla 7

Requerimientos del Sistema (SyRS)

SyRS				
No.	Requerimientos del Sistema	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos funcionales				
SyRS1	Publicación de rutas en tiempo real en panel informativo digital.	X		
SyRS2	Actualización de horarios y rutas disponibles	X		
Requerimientos de uso				
SyRS3	Interfaz simple para consulta de información		X	
SyRS4	Accesibilidad para personas con discapacidad visual			X
Requerimientos de performance				
SyRS5	Tiempo de respuesta entre 1 a 5 segundos para consultas			X
SyRS6	Conectividad IoT estable con disponibilidad del 99%		X	
SyRS7	Sincronización con servidor central cada 30 segundos		X	
SyRS8	Algoritmos de optimización de rutas basados en tráfico real			X

SyRS9	El sistema debe permitir la incorporación de nuevos nodos IoT sin necesidad de reconfiguración completa.	X
Requerimientos de comunicación		
SyRS10	Comunicación con dispositivos vía inalámbrica	X
Requerimientos físicos		
SyRS11	Estructura compacta resistente a condiciones climáticas	X
SyRS12	Protección contra vandalismo y manipulación no autorizada	X
SyRS13	Funcionamiento del dispositivo a temperaturas dentro del rango 5°C a 40°C	X

3.3.3 Software

Los requerimientos del software (SRS) establecen las especificaciones técnicas y funcionales que el sistema debe cumplir para garantizar su correcto desempeño dentro del entorno IoT y de geoposicionamiento. Esta fase del análisis tiene como objetivo definir las funcionalidades internas, los mecanismos de comunicación, la gestión de datos y las interfaces de usuario necesarias para asegurar la interoperabilidad entre los distintos módulos que conforman el sistema de paradas inteligentes.

El software constituye el núcleo de procesamiento y control del sistema, ya que permite la recolección, transmisión, almacenamiento y visualización de la información proveniente de los dispositivos conectados. Para ello, se integran módulos de conexión IoT, bases de datos centralizadas, algoritmos de geolocalización y una interfaz de usuario accesible e intuitiva.

Los requerimientos mostrados en la **Tabla 8** dos contemplan aspectos como el funcionamiento del sistema y la eficiencia en la comunicación entre el software y hardware. Asimismo, se prioriza la escalabilidad del sistema y la compatibilidad con servicios web y móviles, asegurando la continuidad operativa y la facilidad de mantenimiento futuro.

Tabla 8*Requerimientos de Software (SRS)*

(SRS)					
No.	Requerimientos de Software	Requerimientos Relacionados	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SRS1	La aplicación debe desarrollarse utilizando software libre y herramientas de código abierto.	SyRS3	X		
SRS2	La plataforma de almacenamiento en la nube debe disponer de un plan gratuito o de bajo costo, que cubra el volumen previsto de datos.	SyRS11		X	
SRS3	La plataforma en la nube debe garantizar seguridades mínimas, como autenticación de usuarios, cifrado de la comunicación	SyRS6 SyRS12			X
SRS4	La aplicación debe procesar y mostrar la ubicación de los autobuses mediante coordenadas GPS.	SyRS1 SyRS2		X	
SRS5	El software debe actualizar la información de rutas y horarios desde la base de datos central cada 30 segundos.	SyRS7		X	
SRS6	El software debe generar reportes automáticos sobre el tráfico y uso del sistema.	SyRS7			X
Requerimientos de interfaz					
SRS7	La interfaz de usuario debe ser responsiva y adaptable a diferentes dispositivos smartphones.	SyRS3	X		
SRS8	La interfaz debe incluir gráficos y mapas interactivos para mostrar las rutas y tiempos estimados de llegada.	SyRS1 SyRS3	X		
SRS9	La interfaz debe permitir seleccionar paradas específicas y visualizar información en tiempo real.	SyRS2 SyRS3	X		
Requerimientos de rendimiento y seguridad					

SRS10	El software debe operar con una latencia inferior a 10 segundos para la actualización de datos en tiempo real.	SyRS5 SyRS7	X
SRS11	Los datos transmitidos entre dispositivos IoT y el servidor deben cifrarse mediante protocolo seguro.	SyRS6	X

Requerimientos de escalabilidad

SRS12	El software debe registrar logs de eventos y errores para facilitar el diagnóstico y mantenimiento.	SyRS11	X
SRS13	El software debe permitir la actualización remota del firmware de los dispositivos conectados.	SyRS9 SyRS6	X
SRS15	Debe incluir documentación técnica y manual de usuario integrados en el sistema.	SyRS4 SyRS3	X
SRS16	La aplicación móvil debe ser compatible con Android versión 6.0 o superior.	SyRS7	X

3.3.4 Requerimientos de Arquitectura

Los requerimientos de arquitectura del sistema (SyRA) definen la estructura lógica y física que permitirá la integración y funcionamiento coordinado de los componentes de hardware, software y comunicación del sistema de paradas inteligentes. Esta especificación establece los lineamientos técnicos para garantizar la interoperabilidad entre los diferentes módulos del sistema IoT, asegurando su desempeño, escalabilidad y mantenibilidad a lo largo del tiempo.

La arquitectura del sistema se concibe bajo un enfoque modular y distribuido, donde cada componente cumple una función específica dentro del ecosistema IoT. En el nivel físico, se incluyen los nodos y módulos de comunicación, encargados de la recolección y transmisión de datos. En el nivel lógico, se ubican los módulos de procesamiento, almacenamiento y

visualización, que permiten la gestión, interpretación y presentación de la información a los usuarios finales mediante la aplicación móvil.

La **Tabla 9** presenta los requerimientos específicos de arquitectura definidos para el sistema, organizados según su nivel de prioridad y ámbito de aplicación.

Tabla 9

Requerimientos de Arquitectura (SyRA)

(SyRA)					
No.	Requerimientos de Arquitectura	Requerimientos Relacionados	Prioridad		
			Alta	Media	Baja
SyRA1	La arquitectura debe soportar la ampliación de nuevas rutas o paradas sin afectar el rendimiento general.	SRS4 SRS8		X	
SyRA2	La arquitectura debe basarse en un modelo cliente-servidor con comunicación IoT a través de protocolos seguros.	SRS3	X		
SyRA3	La arquitectura debe estar compuesta por módulos independientes que se comuniquen mediante una red celular móvil y un servidor central.	SRS6	X		
SyRA4	Los componentes de hardware y software deben ser interoperables entre sí para facilitar la integración de nuevos módulos.	SRS16	X		
Requerimientos de comunicación					
SyRA5	La red de comunicación debe garantizar transmisión bidireccional entre nodos IoT y servidor con una latencia menor a 10 segundos.	SRS10	X		
SyRA6	La arquitectura debe permitir comunicación simultánea entre múltiples nodos y un servidor central.	-	X		
SyRA7	La arquitectura debe poder integrarse con plataformas externas como Firebase o servicios en la nube.	SRS1	X		

Requerimientos físicos			
SyRA8	Los dispositivos deben instalarse en gabinetes herméticos con protección IP65 o superior.	-	X
SyRA9	El diseño debe considerar eficiencia energética, priorizando componentes de bajo consumo.	-	X
SyRA10	La arquitectura debe garantizar un funcionamiento estable ante variaciones de voltaje y temperatura ambiental.	-	X
Requerimientos Eléctricos			
SyRA11	El sistema debe operar con una tensión nominal de 5V/3.3V DC, compatible con la mayoría de los microcontroladores IoT.	-	X
SyRA12	Se deben incluir protecciones contra sobrecorriente y polaridad inversa en la alimentación principal.	-	X
SyRA13	El consumo máximo del nodo IoT no debe superar los 500 mA en operación normal.	-	X
SyRA14	El sistema debe disponer de una fuente de respaldo (batería Li-Ion o UPS) con autonomía mínima de 2 horas.	-	X
SyRA15	Los cables de interconexión deben cumplir la norma AWG para garantizar estabilidad eléctrica.	-	X
SyRA16	El sistema debe incluir una etapa de regulación y filtrado de voltaje para evitar ruido eléctrico.	-	X

3.4 Selección de Hardware y Software

La correcta selección del hardware y software constituye un elemento esencial en el desarrollo de un sistema de paradas inteligentes basado en tecnología IoT, ya que de ello depende la eficiencia, confiabilidad y escalabilidad del proyecto. La elección de los componentes electrónicos y las plataformas de desarrollo se realizó considerando criterios de bajo consumo energético, facilidad de integración, disponibilidad en el mercado y

compatibilidad con entornos de comunicación inalámbrica. En este contexto, se emplearon dispositivos de alto rendimiento como microcontroladores, módulos de geoposicionamiento GPS, junto con herramientas de software como IDE y servicios en la nube que permiten el procesamiento y almacenamiento de datos en tiempo real. Esta combinación de hardware y software garantiza un sistema robusto, autónomo y accesible, capaz de ofrecer información precisa y oportuna a los usuarios del transporte público.

3.4.1 Selección de Hardware

Para la selección del microcontrolador del Nodo Móvil – Autobús, la decisión técnica se fundamentó en los Requerimientos del Sistema (SyRS) específicos para el entorno móvil, priorizando criterios de conectividad, capacidad de procesamiento, eficiencia energética y compatibilidad con sensores y módulos de geolocalización.

La **Tabla 10** presenta la matriz comparativa empleada, en la que se evalúa el nivel de cumplimiento de cada plataforma de hardware frente a los requerimientos establecidos. Este análisis permite garantizar que el microcontrolador seleccionado responda adecuadamente a las condiciones operativas del transporte en movimiento, manteniendo la trazabilidad y la coherencia con las necesidades funcionales y arquitectónicas del sistema.

Tabla 10

Selección de Microcontrolador de Nodo Móvil

Selección de Microcontrolador Nodo Móvil										
Hardware	Requerimientos									Total
	SyRA2	SyRA7	SyRA9	SyRA10	SyRA11	SyRA12	SyRA13	SyRA14	SyRA16	
Arduino Uno	1	1	0	0	1	1	1	0	0	5
Esp32	1	1	1	1	1	0	1	1	0	7

Arduino	0	1	0	0	0	0	1	1	1	4
Mega										
Raspberry	0	1	0	0	1	1	1	1	0	5
Pi 4										
Cumple:	1									
No	0									
Cumple:										
Elección: Según los resultados de la tabla, Arduino Uno alcanza 5/9, el ESP32 alcanza 7/9 cumplimientos; Arduino Mega 5/9 y Raspberry Pi 4 logra 5/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de ESP32, complementado por la verificación de los SyRA evaluados.										

La selección de hardware para el sistema de paradas inteligentes se realizó a partir de los Requerimientos del Sistema (SyRS) priorizados en la **Tabla 11**, asegurando trazabilidad entre necesidades operativas y decisiones técnicas. Se empleó una matriz que pondera criterios críticos para la operación en campo.

Bajo este marco, se priorizaron componentes con soporte, robustez para exteriores y bajo costo, maximizando la continuidad del servicio y minimizando intervenciones en campo. El resultado es un conjunto de dispositivos que equilibra rendimiento, confiabilidad y mantenibilidad, y que garantiza la interoperabilidad con el software y la infraestructura de comunicaciones definida para el proyecto.

Tabla 11

Selección de Microcontrolador de Nodo Fijo

Selección de Microcontrolador - Nodo Fijo
Requerimientos

Hardware	SyRA1	SyRA3	SyRA7	SyRA9	SyRA11	SyRA12	SyRA13	SyRA14	SyRA16	Total
Arduino Uno	1	1	0	0	1	0	1	0	0	4
Esp32	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7
Arduino Mega	0	1	1	0	0	0	1	1	1	5
Raspberr y Pi 4	1	0	0	0	1	1	1	1	0	5
Cumple:	1									
No Cumple:	0									

Elección: Según los resultados de la tabla, Arduino Uno alcanza 4/9, el ESP32 alcanza 7/9 cumplimientos; Arduino Mega 5/9 y Raspberry Pi 4 logra 5/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de ESP32, complementado por la verificación de los SyRA evaluados.

La selección del módulo GPS para el sistema de paradas inteligentes se realizó considerando los Requerimientos del Sistema (SyRA) asociados a la precisión de geolocalización, estabilidad de señal, compatibilidad con el microcontrolador seleccionado y eficiencia energética. Para ello, se aplicó una matriz comparativa que evalúa el cumplimiento de cada módulo frente a los criterios establecidos.

La **Tabla 12** presenta esta evaluación, permitiendo determinar qué dispositivo ofrece un desempeño más adecuado para las condiciones operativas del nodo y el sistema IoT definida para el proyecto.

Tabla 12*Selección del módulo GPS*

Selección de GPS										
Requerimientos										
Hardware	SyRA1	SyRA2	SyRA3	SyRA4	SyRA5	SyRA6	SyRA7	SyRA8	SyRA9	Total
GPS NEO-6M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
GPS NEO-8M	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
Cumple:	1									
No Cumple:	0									
Elección: Según tu tabla, GPS NEO-6M logro 8/9, el GPS NEO-8M logro 8/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de GPS NEO-6M, complementado por la verificación de los SyRA evaluados.										

La selección de la pantalla de visualización para el sistema de paradas inteligentes se realizó considerando los Requerimientos del Sistema (SyRA) asociados a la presentación clara de información en tiempo real, bajo consumo energético, compatibilidad con el microcontrolador ESP32 y facilidad de integración en entornos exteriores.

Para este propósito, se evaluaron los módulos OLED SSD1306 y Display LCD 16X2, aplicando una matriz comparativa que pondera criterios como legibilidad, resolución, consumo de energía, soporte de librerías, estabilidad de comunicación I²C y disponibilidad en el mercado local. Los resultados de esta evaluación se presentan en la **Tabla 13** correspondiente, donde

ambos dispositivos alcanzaron un nivel de cumplimiento similar frente a los requerimientos establecidos.

Tabla 13

Selección de la pantalla

Selección de Pantalla										
Requerimientos										
Hardware	SyRA2	SyRA7	SyRA9	SyRA11	SyRA12	SyRA12	SyRA13	SyRA14	SyRA16	Total
OLED	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
SSD1306										
Display										
LCD	0	0	1	1	0	0	1	1	1	5
16X2										
Cumple:	1									
No	0									
Cumple:										
Elección: Según la tabla, OLED SSD1306 logro 8/9, Display LCD 16X2 logro 5/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de OLED SSD1306, complementado por la verificación de los SyRA evaluados.										

3.4.2 Selección de Software

La selección de software para el sistema de paradas inteligentes se fundamentó en los Requerimientos de Software (SyRS), asegurando trazabilidad entre necesidades operativas y decisiones tecnológicas. Se adoptó un enfoque basado en criterios de calidad (disponibilidad, latencia, seguridad y mantenibilidad), interoperabilidad con el hardware y escalabilidad en

La **Tabla 15** presenta el análisis comparativo de los requerimientos definidos para la plataforma IoT, evaluando el cumplimiento de cada uno por parte de los entornos de desarrollo considerados. Este análisis permitió determinar qué herramienta de programación se ajusta de mejor manera a las necesidades del sistema, tomando en cuenta la compatibilidad con librerías, facilidad de integración, soporte para los módulos empleados y cumplimiento de los requerimientos de software establecidos.

Tabla 15

Tabla de Requerimientos de la plataforma IoT

Selección de plataforma IoT										
Requerimientos										
Software	SRS2	SRS7	SRS9	SRS11	SRS12	SRS6	SRS13	SRS5	SRS1	Total
Firestore	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
Ubidots	1	1	0	0	1	1	0	1	1	6
Cumple:	1									
No	0									
Cumple:										
Elección: Según los resultados de la tabla, Firestore logro 8/9, Ubidots 6/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de Firestore, complementado por la verificación de los SRS evaluados.										

La **Tabla 16** presenta la comparación de los entornos de desarrollo considerados para la creación de la aplicación móvil del sistema. En ella se evalúa el cumplimiento de los requerimientos funcionales y técnicos establecidos, con el propósito de identificar la

herramienta que ofrece mayor compatibilidad, facilidad de integración con los servicios en la nube y soporte para las funcionalidades requeridas por la plataforma IoT.

Tabla 16

Selección de Entornos de Desarrollo para Aplicaciones Android

Selección de Entornos de Desarrollo para Aplicaciones Android										
Requerimientos										
Software	SRS2	SRS7	SRS9	SRS11	SRS4	SRS12	SRS13	SRS1	SRS3	Total
App Inventor	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7
Flutter	1	1	1	0	1	1	1	0	0	6
React Native	1	0	0	1	1	1	1	1	0	6
Cumple:	1									
No Cumple:	0									
Elección: Según los resultados de la tabla, App Inventor 7/9, Flutter 6/9, React Native 6/9. Por tanto, la decisión se reduce al uso de App Inventor, complementado por la verificación de los SRS evaluados.										

3.5 Diseño del Sistema

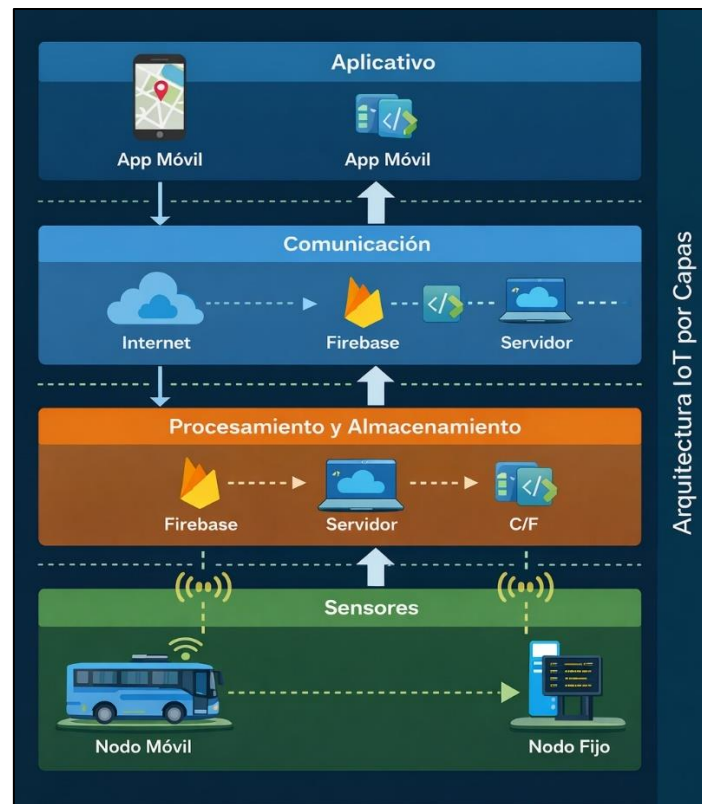
El diseño integral del sistema propuesto contempla una arquitectura distribuida basada en nodos móviles, fijos y central, interconectados mediante tecnologías de comunicación celular e infraestructura en la nube. Esta estructura garantiza la adquisición, transmisión y visualización de datos georreferenciados en tiempo real, facilitando la trazabilidad del servicio

de transporte público. La incorporación de una aplicación móvil complementa esta arquitectura, permitiendo a los usuarios acceder de manera intuitiva a la información del sistema desde cualquier lugar. El uso de microcontroladores, módulos GPS y conectividad 4G asegura una operación autónoma, eficiente y escalable, alineada con los principios del Internet de las Cosas (IoT). En conjunto, estos componentes permiten materializar una solución tecnológica inteligente, orientada a mejorar la experiencia del usuario y optimizar la gestión operativa del transporte urbano en la parroquia de San José de Quichinche.

3.5.1 *Diseño de Arquitectura IoT*

La arquitectura IoT del sistema de paradas inteligentes está basada en un modelo escalable y eficiente, combinando módulos, redes de comunicación, computación en la nube y aplicaciones móviles para mejorar la experiencia del usuario y optimizar el tiempo del pasajero al utilizar el transporte público.

La **Figura 18** muestra la arquitectura del sistema de transporte público planteado, estructurada en cuatro bloques, cada una con funciones específicas que permiten la recopilación, procesamiento y distribución de datos en tiempo real.

Figura 18*Arquitectura del Sistema IoT*

En la arquitectura planteada, el flujo de la información se desarrolla de la siguiente manera:

1. El nodo móvil (en el autobús) capta datos GPS y los envía a la nube a través de la red 4G/LTE/WiFi.
2. Se procesa la información en la base de datos y la almacena en una plataforma.
3. Los datos procesados son enviados a diferentes interfaces, aplicativo móvil y pantalla informativa.
4. Los usuarios consultan la información en sus dispositivos o en las paradas para mejorar su experiencia de transporte.

A continuación, se describe el funcionamiento de cada bloque de la arquitectura presentada.

Bloque 1: Nodo Móvil

Ubicado en el autobús, este módulo cuenta con un microcontrolador y un receptor GPS que obtiene coordenadas de longitud y latitud en tiempo real. La información es transmitida mediante una red móvil 4G hacia la nube, constituyendo el primer eslabón del sistema.

Bloque 2: Nodo Central

Esta etapa corresponde a servicios de plataformas en la nube, donde se centraliza el procesamiento y almacenamiento de los datos provenientes del nodo móvil. Aquí se ejecutan servicios, como bases de datos y APIs, que permiten gestionar y distribuir la información hacia otros nodos y plataformas.

Bloque 3: Nodos Fijos

Instalados en las paradas de mayor afluencia, estos nodos cuentan con microcontroladores y pantallas informativas que permiten visualizar en tiempo real la ubicación del autobús. La información es obtenida desde el nodo central, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas mientras esperan el transporte.

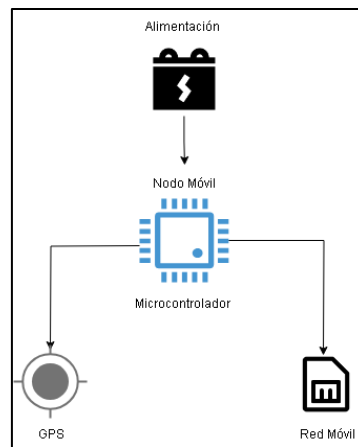
Bloque 4: Aplicativo Móvil

Los usuarios acceden a la información desde sus dispositivos móviles mediante una aplicación. Esta les permite conocer la ubicación del autobús, tiempos estimados de llegada y otras funcionalidades de geolocalización, mejorando significativamente la experiencia del usuario en el sistema de transporte.

En conjunto, esta arquitectura garantiza una solución integral, escalable y en tiempo real para la gestión y visualización de datos en un entorno de movilidad urbana inteligente.

3.5.2 Diseño del Nodo Móvil

Responsable de captar y transmitir datos geoespaciales en tiempo real dentro del sistema. Este bloque se encarga de enviar la información de longitud y latitud al nodo central, utilizando conectividad celular como muestra la **Figura 19**. La arquitectura del nodo se compone de los siguientes elementos:

Figura 19*Diseño del Nodo Móvil*

Alimentación (parte superior): Representada mediante un ícono de batería, indica que el nodo obtiene energía desde una fuente de alimentación dedicada, lo cual garantiza su operatividad continua durante el desplazamiento.

Nodo Móvil (centro): Simbolizado por un microcontrolador, constituye el núcleo del sistema. Es el encargado de procesar los datos recibidos y gestionar las comunicaciones hacia el servidor central.

Módulo GPS (izquierda): Conectado directamente al microcontrolador, permite obtener coordenadas precisas de ubicación en tiempo real, fundamentales para el monitoreo del recorrido.

Red Móvil (derecha): Representada por un ícono de conexión, indica que la transmisión de los datos se realiza a través de una red hotspot móvil 4G/LTE, asegurando cobertura amplia y comunicación continua con la infraestructura central.

Esta configuración permite al sistema operar de forma autónoma, dinámica y en movimiento, siendo clave en la implementación de soluciones inteligentes para el transporte urbano.

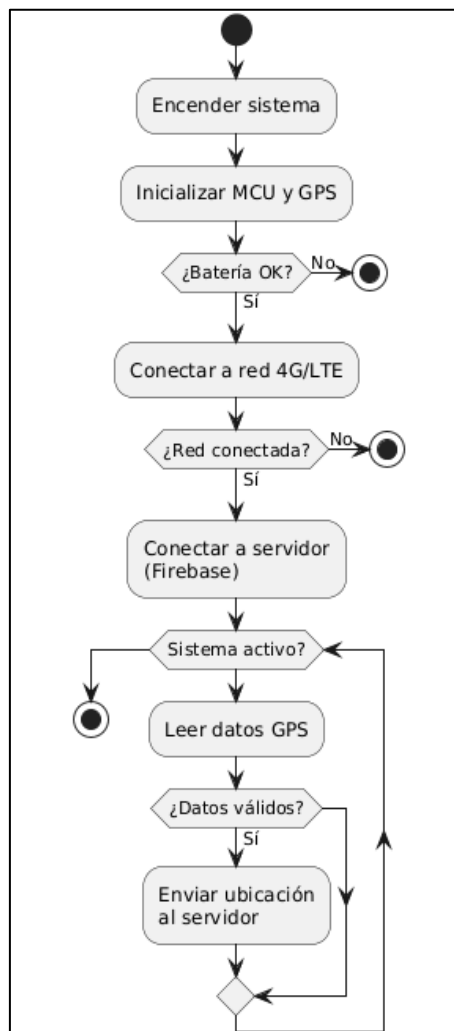
3.5.2.1 Diagrama de Flujo del Nodo Móvil

La

Figura 20 describe el proceso mediante el cual el sistema obtiene energía, adquiere datos de posicionamiento a través del módulo GPS, procesa dicha información y la transmite en tiempo real al servidor central utilizando una red hotspot móvil 4G/LTE, permitiendo el seguimiento continuo del vehículo durante su desplazamiento.

Figura 20

Diagrama de flujo del nodo móvil

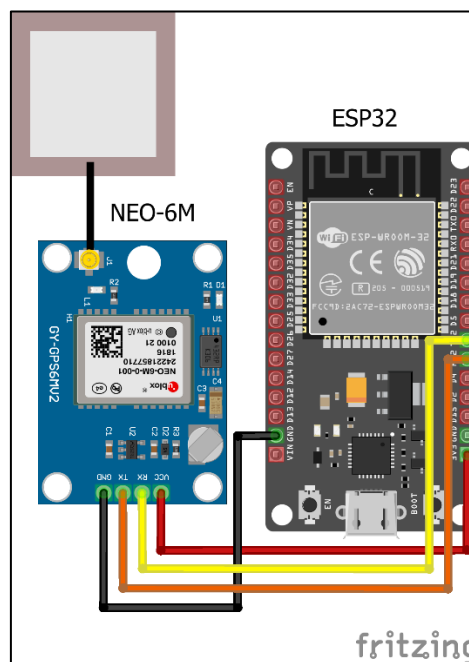


3.5.2.2 Diseño de Diagrama Electrónico - Nodo Móvil Autobús

Este circuito **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permite que el microcontrolador lea la posición GPS (latitud, longitud, hora, etc.) desde el módulo GPS, usando una librería como TinyGPS++ en Arduino IDE, y luego es enviado por internet al servidor.

Figura 21

Representación Electrónica del Nodo Móvil



- * *VCC del GPS al 3V3 del ESP32:* Alimentación del módulo GPS con 3.3 voltios.
- * *GND del GPS al GND del ESP32:* Tierra común para ambos dispositivos.
- * *TX del GPS al pin GPIO16 (RX2) del ESP32:* El módulo GPS transmite los datos de posicionamiento a través de su pin TX, los cuales son recibidos por el ESP32 mediante el puerto serial secundario.
- * *RX del GPS al pin GPIO17 (TX2) del ESP32:* Permite la recepción de comandos desde el ESP32 hacia el módulo GPS; esta conexión es opcional si el sistema únicamente requiere la lectura de datos de ubicación.

El nodo móvil está instalado en la unidad de transporte y cumple la función de capturar y transmitir información en tiempo real sobre su ubicación geográfica, velocidad y estado operativo. Para ello, cuenta con los siguientes componentes tecnológicos:

Módulo GPS: Permite la geolocalización exacta del vehículo, facilitando el cálculo de tiempos estimados de llegada a cada parada.

ESP32: Actúa como la unidad central de procesamiento del nodo móvil. Es el encargado de recibir los datos provenientes del módulo GPS NEO-6M, procesarlos y estructurarlos para su posterior transmisión hacia el nodo central a través de la red de comunicación disponible.

El nodo móvil transmite sus datos al nodo central, el cual los procesa y redistribuye a los demás componentes del sistema.

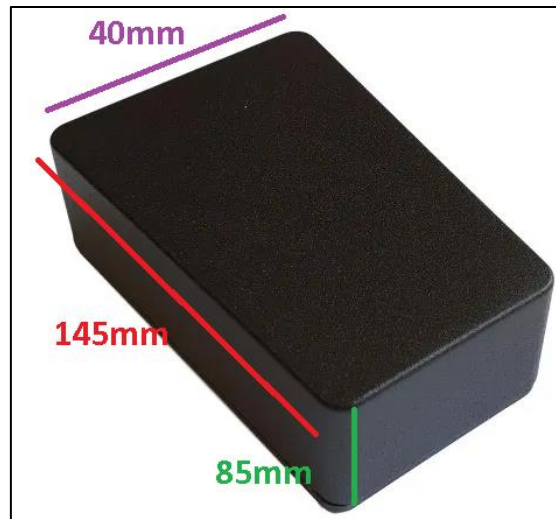
3.5.2.3 Dimensiones Caja Plástica – Colocado en la Cabina del Autobús

Con el fin de proteger y asegurar la integridad física del microcontrolador y sus componentes asociados, se incorporó una caja plástica para proyectos electrónicos colocada en la cabina del autobús, mostrada en la **Figura 22**. Este encapsulamiento permite mantener el módulo protegido de vibraciones, polvo, humedad y otros factores ambientales propios del entorno vehicular. La caja seleccionada puede adquirirse en tiendas electrónicas locales y presenta las siguientes características:

- Material: Caja plástica para proyectos electrónicos
- Dimensiones: 145 mm × 85 mm × 40 mm

Figura 22

Caja Plástica Pequeña Para Proyectos Electrónicos



3.5.2.4 Cálculo de Consumo Energético del Nodo Móvil

El nodo móvil constituye un componente esencial del sistema de paradas inteligentes, ya que se encuentra instalado en el vehículo de transporte y es responsable de la adquisición, procesamiento y transmisión de datos de geoposicionamiento en tiempo real hacia la plataforma en la nube. Este nodo integra dispositivos de comunicación y localización, tales como el microcontrolador ESP32 y el módulo GPS NEO-6M, los cuales permiten establecer conectividad celular y determinar la ubicación precisa del autobús durante su recorrido.

Con el fin de garantizar su autonomía y funcionamiento continuo, se analizó el consumo energético del nodo mediante la medición de los principales parámetros eléctricos de sus componentes. En la **Tabla 17** se presenta el cálculo detallado de corriente, energía y duración estimada de la fuente de alimentación, determinándose un consumo promedio de 315 mA por hora y una autonomía aproximada de 2 días con una batería de 10000 mAh. Estos resultados permiten dimensionar adecuadamente el sistema de energía portátil y asegurar la operación confiable del nodo durante las jornadas diarias de servicio.

Tabla 17*Consumo Energético Nodo Móvil*

Componente	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo (h)	Consumo por hora (mAh)	Consumo por día (mAh)	Energía por día (Wh)
ESP32	5 V	250 mA	13 h	250 mAh	3250 mAh	16.25 Wh
GPS NEO-6M	3.3 V	45 mA	13 h	45 mAh	585 mAh	1.93 Wh

Resumen de resultados:

- Consumo promedio por hora: 295 mAh
- Consumo energético diario: 4.095 mAh $\approx$ 20.5 Wh/día
- Capacidad de la Power Bank: 10.000 mAh $\approx$ 50 Wh
- Autonomía estimada: aproximadamente 2 días (32 horas continuas)

Consumo por hora (mAh/h)

$$I_{hora} = 250 + 45 = 295 \text{ mAh/h}$$

Consumo diario en 13 horas

$$295 \times 13 = 3835 \text{ mAh/día}$$

Energía diaria en W/h

$$\text{Total Diario: } \frac{3835 \text{ mAh} \times 5 \text{ V}}{1000} = 19 \text{ Wh/día}$$

Autonomía del sistema

$$\text{Autonomia Dias} = \frac{10000}{3835} = 2.6 \text{ días}$$

Aproximadamente 32 horas continuas de funcionamiento

El sistema se diseñó para operar 13 horas diarias, ya que su finalidad es brindar seguimiento y monitoreo únicamente durante el horario de prestación del servicio de transporte

público. Fuera de ese intervalo, la unidad móvil permanece fuera de operación (sin recorrido), por lo que mantener el sistema encendido las 24 horas no aporta información útil y únicamente incrementa el consumo energético.

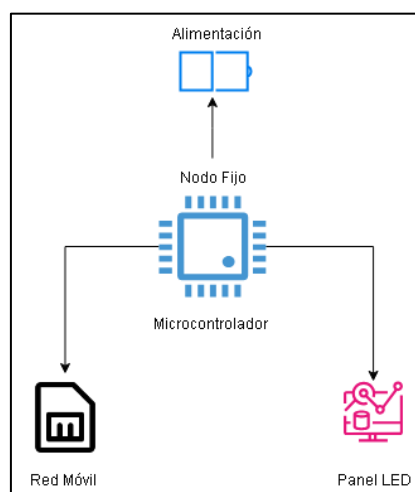
El nodo móvil se encuentra alimentado a través de un puerto USB de 5 VDC y 2 A del vehículo, el cual suministra energía de manera continua durante su operación. No obstante, ante la posibilidad de desconexiones o fallos en el sistema eléctrico del vehículo, se propone como solución complementaria la incorporación de una batería de respaldo de al menos 10000 mAh, instalada dentro del encapsulado del nodo. Esta medida permite garantizar la continuidad del funcionamiento del sistema incluso en condiciones de cortes de energía imprevistos.

3.5.3 *Diseño del Nodo Fijo*

Se representa el diagrama del nodo fijo **Figura 23** que será instalado en las paradas con alta concentración de pasajeros, seleccionada por su alta concentración de usuarios. Este nodo permite la visualización en tiempo real de la ubicación del autobús mediante una pantalla informativa, brindando a los pasajeros una herramienta informativa accesible y útil para conocer la ubicación aproximada del autobús.

Figura 23

Diseño del Nodo Fijo



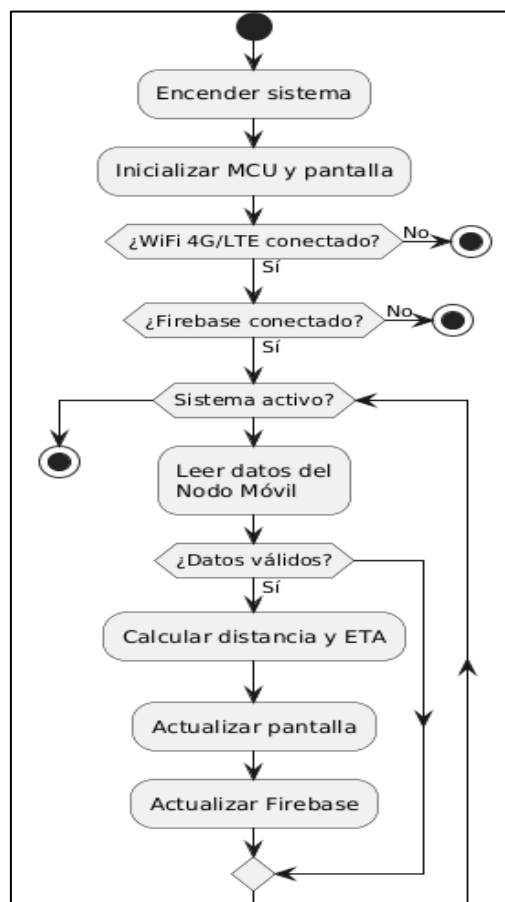
El sistema está controlado por un microcontrolador central, encargado de procesar los datos recibidos y gestionar la visualización. La conectividad a internet necesaria para el funcionamiento del nodo se establece a través de una red hotspot 4G/LTE, que garantiza la transmisión de datos mediante red celular. Esta solución contribuye a mejorar la experiencia del usuario y la eficiencia operativa del sistema de transporte urbano inteligente.

3.5.3.1 Diagrama de Flujo del Nodo Fijo

La **Figura 24** muestra el diagrama de flujo del nodo fijo, en el cual se describen las etapas de inicialización, conexión a internet mediante un hotspot 4G/LTE, procesamiento de la información recibida desde el nodo móvil y visualización de los datos en tiempo real para los usuarios del sistema.

Figura 24

Diagrama de flujo del nodo fijo

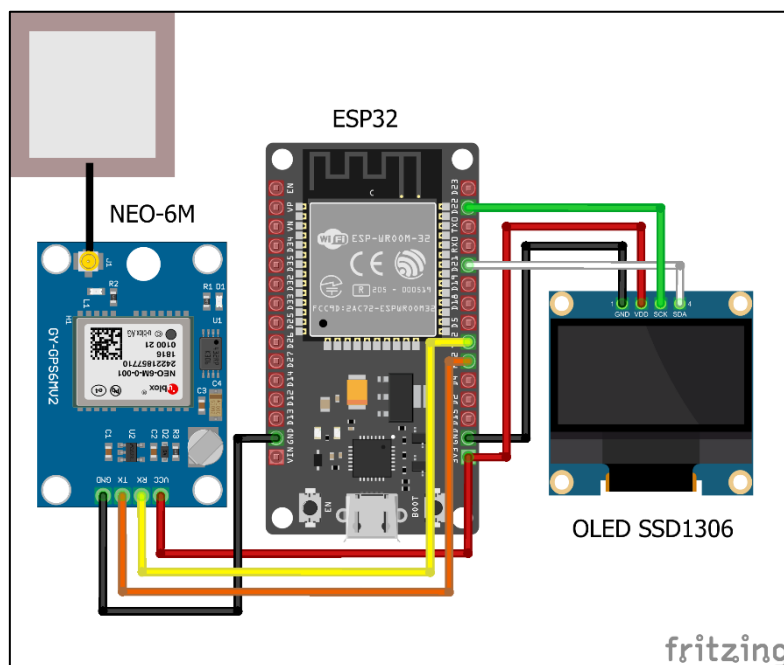


3.5.3.2 Diseño de Diagrama Electrónico - Nodo Fijo Paradas

La **Figura 25** muestra un diagrama de conexión de varios módulos conectados a un microcontrolador. Este diagrama muestra información de geoposicionamiento en una pantalla LCD y envía los datos a través de un hotspot móvil hacia el nodo central. El nodo fijo se encuentra instalado en cada parada inteligente y tiene la función de recibir y mostrar la información relevante a los usuarios.

Figura 25

Representación Electrónica del Nodo Fijo



Sus características principales incluyen:

Pantalla OLED: Visualiza los tiempos estimados de llegada de los autobuses y otras notificaciones relevantes.

GPS: Proporciona la información de ubicación necesaria para el cálculo del tiempo estimado de llegada de los autobuses a la parada.

ESP32: Microcontrolador responsable del procesamiento de datos, la gestión de comunicaciones y la visualización de la información en la pantalla OLED.

Este nodo permite que los pasajeros accedan a información actualizada y confiable, mejorando la planificación de sus desplazamientos y optimizando el flujo de usuarios en el sistema de transporte.

3.5.3.3 Dimensiones Caja Plástica – Colocado en las Paradas

Con el propósito de proteger adecuadamente los componentes electrónicos y asegurar la durabilidad del sistema en un entorno expuesto, se incorporó una caja plástica de gran tamaño para proyectos electrónicos en las paradas con mayor concentración de personas, mostrada en la **Figura 26**. Este encapsulamiento proporciona una barrera física frente a polvo, humedad, manipulación no autorizada y variaciones ambientales, factores críticos en una instalación fija ubicada al aire libre. La caja seleccionada presenta las siguientes características:

- Material: Caja plástica para proyectos electrónicos
- Dimensiones: 135 mm × 75 mm × 40 mm

Figura 26

Caja Plástica Grande Para Proyectos Electrónicos



3.5.3.4 Cálculo de Consumo Energético del Nodo Fijo

El nodo fijo representa la unidad principal de interacción con los usuarios dentro del sistema de paradas inteligentes, al estar instalado en la infraestructura física de la parada de

autobuses. Su función es recopilar, procesar y visualizar información en tiempo real proveniente del nodo móvil, ofreciendo a los pasajeros datos actualizados sobre la ubicación y el tiempo estimado de llegada de las unidades de transporte. Este nodo integra un microcontrolador ESP32 SIM800L para la gestión de comunicaciones, un módulo GPS NEO-6M para la sincronización de datos geoespaciales y un letrero LED de alta visibilidad encargado de mostrar la información al público.

Con el propósito de evaluar su autonomía operativa, se realizó un análisis energético considerando los parámetros eléctricos de cada componente. En la **Tabla 18** se detallan los resultados obtenidos, donde se observa un consumo total de 66.78 Wh por día (equivalente a 13 356 mAh/día). Bajo una alimentación de 10000 mAh, el nodo fijo presenta una autonomía aproximada de 9 horas continuas, por lo que se recomienda el uso de baterías de mayor capacidad o una conexión directa a la red eléctrica para garantizar un funcionamiento continuo y confiable durante toda la jornada de servicio.

Tabla 18

Consumo Energético Nodo Fijo

Componente	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo (h)	Consumo por hora (mAh)	Consumo por día (mAh)	Energía por día (Wh)
ESP32	5 V	250 mA	13 h	250 mAh	3250 mAh	16.25 Wh
GPS NEO-6M	3.3 V	45 mA	13 h	45 mAh	585 mAh	1.93 Wh
OLED SSD1306	3.3 V	20 mA	13 h	20 mAh	260 mAh	0.86 Wh

Resumen de los resultados:

-Totales del sistema: 19.04 Wh/día → equivalente 3.808mAh/día

-Energía disponible considerada: 40Wh

-Autonomía estimada: 2 días

Consumo por hora (mAh/h)

$$I_{hora} = 250 + 45 + 20 = 315 \text{ mAh/h}$$

Consumo diario en 13 horas (mAh/día)

$$315 \times 13 = 4095 \text{ mAh/día}$$

Energía diaria Wh/día

$$\text{Total Diario: } \frac{4095 \text{ mAh} \times 5 \text{ V}}{1000} = 20.5 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Autonomia (días)} = \frac{\text{Energía Disponible (Wh)}}{\text{Consumo diario (Wh/día)}}$$

$$\text{Autonomia (días)} = \frac{40 \text{ Wh}}{19.04 \text{ Wh/día}}$$

$$\text{Autonomia (días)} = 2.1 \text{ días}$$

$$2.1 \text{ días} \times 13 \text{ h} = 27 \text{ horas continuas}$$

Se recomienda la integración de baterías de litio tipo 18650 de mayor capacidad (≥ 15000 mAh), con el fin de que el nodo pueda operar de manera autosustentable. Alternativamente, se propone la conexión del sistema a la red eléctrica mediante un adaptador de corriente, considerando que las paradas donde se realizaron las pruebas se encuentran próximas a locales comerciales o domicilios particulares, para lo cual sería necesario solicitar la autorización correspondiente. Estas alternativas permiten garantizar la operación continua del nodo y evitar posibles interrupciones o desconexiones durante su funcionamiento.

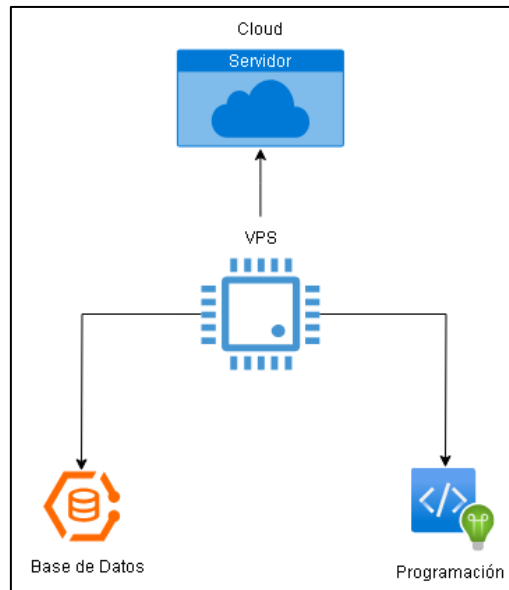
3.5.4 Diseño del Nodo Central

Este bloque contempla el procesamiento y almacenamiento en tiempo real de datos georreferenciados, específicamente coordenadas de longitud y latitud, y una base de datos

alojados en la nube. La **Figura 27** muestra el diseño en la nube propuesto para el sistema IoT implementado en la infraestructura de paradas inteligentes.

Figura 27

Diseño del Nodo Central



Este enfoque permite gestionar eficientemente la información generada por los dispositivos del sistema, garantizando su disponibilidad continua para aplicaciones de localización, monitoreo y visualización dinámica del recorrido en tiempo real.

3.5.4.1 Estructura de la base de datos

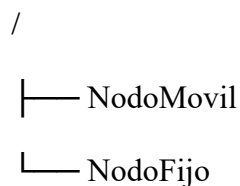
El sistema propuesto emplea Firebase Realtime Database (RTDB) como plataforma de almacenamiento de información en el nodo central. Esta base de datos corresponde a un modelo NoSQL orientado a documentos, donde los datos se gestionan en formato JSON mediante una estructura jerárquica organizada por rutas. A diferencia de las bases de datos relacionales, este enfoque no utiliza tablas ni relaciones estructuradas mediante claves externas, sino que permite almacenar y acceder a la información de manera directa a través de

nodos, lo cual resulta adecuado para aplicaciones IoT que requieren sincronización en tiempo real.

La selección de RTDB se fundamenta en su capacidad de proporcionar actualización instantánea de datos, baja latencia y compatibilidad con aplicaciones web y móviles, características necesarias para garantizar el funcionamiento continuo del sistema de paradas inteligentes. La arquitectura de la base de datos fue diseñada para organizar la información según la procedencia y función de los datos, diferenciando claramente entre los registros generados por el nodo móvil (autobús) y aquellos procesados y utilizados por el nodo fijo (parada).

Estructura jerárquica general

La base de datos se estructura a partir de dos rutas principales:



Nodo Móvil

Contiene los datos de posicionamiento y estado del GPS:

- hora_ecuador: fecha y hora del registro
- gps_fix: estado de posicionamiento válido (true/false)
- lat, lon: coordenadas geográficas
- satelites: número de satélites
- hdop: precisión horizontal
- speed_kmh: velocidad (km/h)
- course_deg: rumbo (grados)
- alt_m: altitud (m)
- punto_estable, uso_fallback, jump_m: indicadores del filtro anti-rebotes (si aplican)

- ts_ms: marca temporal para control de actualización

Nodo Fijo

Contiene datos procesados para informar la llegada del autobús a la parada:

- hora: hora actual del sistema
- fix: estado de posicionamiento válido
- sats: número de satélites
- hdop: precisión de señal
- distancia_bus_m: distancia estimada del bus a la parada (m)
- eta_min: tiempo estimado de llegada (min)
- ts_ms: marca temporal de actualización

3.5.4.2 Estructura de almacenamiento de la información en Firebase

El sistema utiliza Firebase Realtime Database (RTDB) como plataforma de almacenamiento de datos en el nodo central. Esta base de datos pertenece al modelo NoSQL, en el cual la información se organiza en formato JSON mediante una estructura jerárquica de nodos. En este tipo de arquitectura no se emplean tablas ni esquemas relacionales tradicionales, sino que los datos se almacenan como objetos anidados dentro de rutas lógicas.

Almacenamiento en el nodo móvil

La ruta /NodoMovil almacena la información enviada por el dispositivo instalado en el autobús. Los datos se guardan como variables independientes dentro del nodo, actualizándose continuamente conforme el GPS obtiene nuevas lecturas. La **Figura 28** representa un ejemplo de almacenamiento.

Figura 28*Almacenamiento del nodo móvil*

```

/NodoMovil
{
  "lat": 0.237746,
  "lon": -78.288787,
  "speed_kmh": 28.4,
  "course_deg": 145,
  "alt_m": 2534,
  "satellites": 9,
  "hdop": 0.9,
  "gps_fix": true,
  "hora_ecuador": "14:35:21",
  "ts_ms": 1706547321000,
  "punto_estable": true,
  "uso_fallback": false,
  "jump_m": 0.5
}

```

Almacenamiento en el nodo fijo

La ruta /NodoFijo contiene información procesada para informar a los usuarios en la parada. Estos datos no provienen directamente del GPS, sino del cálculo realizado a partir de la posición del autobús. La **Figura 29** representa un ejemplo de almacenamiento

Figura 29*Almacenamiento del nodo fijo*

```

/NodoFijo
{
  "hora": "14:35:21",
  "fix": true,
  "sats": 9,
  "hdop": 0.9,
  "distancia_bus_m": 320,
  "eta_min": 2.8,
  "ts_ms": 1706547321000
}

```

3.5.4.3 Diseño Firebase - Nodo Central

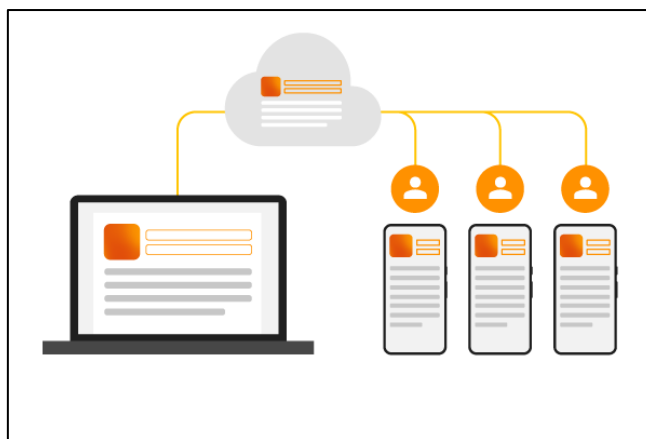
Este nodo garantiza la integración y operación eficiente del sistema, permitiendo la optimización del servicio de transporte público y la generación de reportes analíticos para la toma de decisiones.

El nodo central es el núcleo de procesamiento y administración del sistema. Se encuentra alojado en una infraestructura en la nube, donde se gestionan y analizan los datos provenientes de los nodos móviles y fijos. Entre sus funciones destacan:

- Recepción y procesamiento de datos de ubicación y estado de los autobuses.
- Cálculo de tiempos estimados de llegada y optimización de rutas.
- Almacenamiento de datos históricos para análisis y mejora del servicio.
- Redistribución de información procesada hacia los nodos fijos y aplicaciones móviles.

Figura 30

Diagrama Nodo Central Firebase



Fuente: *Firebase Developers, 2018*

3.5.4.4 Control de Acceso y Niveles de Privilegio

En el contexto del presente proyecto, el sistema de geolocalización IoT se diseñó considerando un esquema de control de acceso basado en roles. Sin embargo, es importante

aclarar que la aplicación desarrollada en esta investigación está orientada exclusivamente a la visualización de información por parte de los usuarios del servicio de transporte público.

Usuario (Asistente): Corresponde a los pasajeros del servicio de transporte. Este perfil únicamente dispone de permisos de consulta, permitiendo visualizar en tiempo real la ubicación del autobús, el estado del servicio y el tiempo estimado de llegada (ETA), sin posibilidad de modificar información o parámetros del sistema.

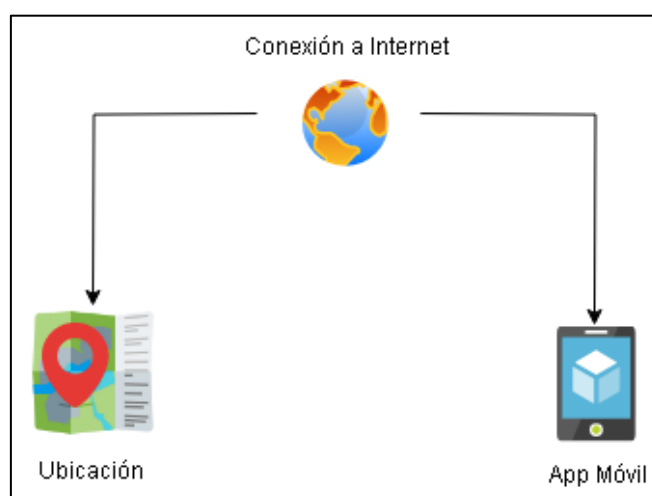
De esta manera, la aplicación desarrollada en el presente trabajo se limita al rol de consulta, garantizando la integridad de los datos al no permitir modificaciones externas. La separación conceptual de privilegios contribuye a una arquitectura más segura y escalable, permitiendo que en futuras implementaciones se integren módulos administrativos independientes bajo el control exclusivo de la cooperativa.

3.5.5 Diseño Aplicación Móvil

Muestra cómo los datos de ubicación y la aplicación móvil dependen de la conectividad a Internet para su funcionamiento. La **Figura 31** representa un diagrama de conexión a Internet dentro de un sistema IoT para paradas inteligentes.

Figura 31

Diagrama de conectividad entre la Ubicación, Internet y App Android

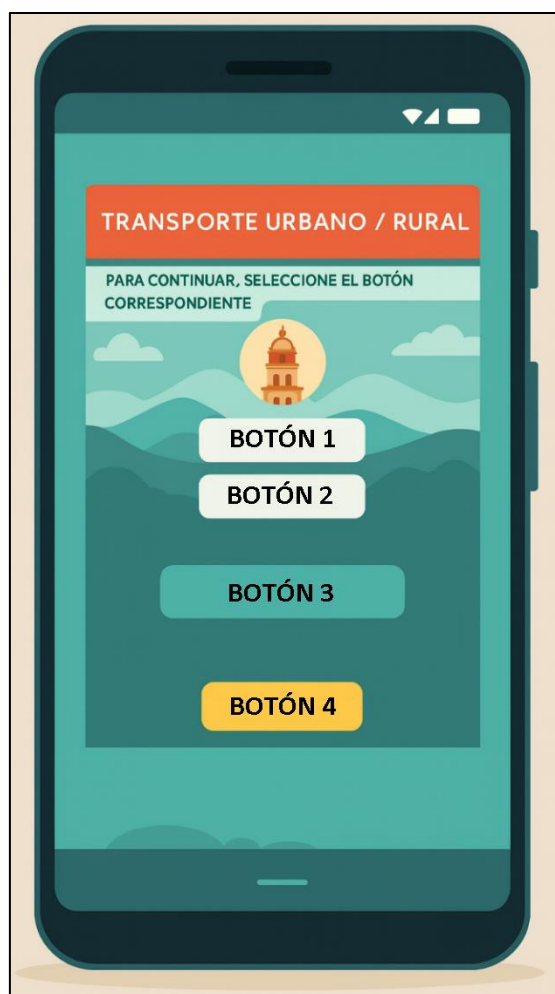


Tras el análisis detallado de los requerimientos del sistema para garantizar su óptimo funcionamiento, se procede a estructurar el diseño del sistema de comunicación para las paradas inteligentes basadas en IoT, alineado con el alcance previamente definido. Para ello, se emplea el uso de software y hardware seleccionado como el más adecuado según la evaluación presentada en la elección de componentes, permitiendo optimizar la infraestructura de comunicación requerida.

El diseño incluye la configuración de los nodos de comunicación entre los dispositivos IoT instalados en las paradas, los autobuses y la nube, asegurando una transmisión de datos eficiente y en tiempo real. Este enfoque facilita la validación de los procesos de comunicación, minimizando posibles errores en la implementación física.

3.5.5.1 Diseño de Maqueta de Aplicación Móvil

La maqueta presentada de la aplicación móvil fue desarrollada utilizando la plataforma web Figma.com, permitiendo simular de manera precisa la interfaz gráfica. En esta representación se definieron elementos clave de navegación, como el menú de opciones que permite acceder a las líneas de transporte correspondientes al cantón Otavalo. Además, se integró un botón de emergencia destinado a facilitar la comunicación directa con personal de seguridad en situaciones críticas, tal como se ilustra en la **Figura 32**. Este diseño busca optimizar la interacción del usuario con el sistema, priorizando tanto la funcionalidad como la accesibilidad en el entorno urbano y rural.

Figura 32*Menú principal*

Nota. El diseño mostrado fue realizado en la plataforma web Figma. Fuente:

<https://www.figma.com/design/>

Una vez que el usuario selecciona la opción correspondiente al cantón Otavalo, la aplicación despliega una nueva ventana en la que se presenta una lista de cooperativas de transporte disponibles en la zona. Esta interfaz permite al usuario elegir, de manera intuitiva, la cooperativa de su preferencia. En este caso, se muestra la opción “8 de Septiembre”, junto con otras cooperativas como se observa en la **Figura 33**. Este diseño está orientado a facilitar una navegación fluida y una experiencia de usuario eficiente dentro de la aplicación.

Figura 33

Elección de la Cooperativa de Transportes



Fuente: <https://www.figma.com/design/>

Posteriormente, Se muestra la **Figura 34** se despliega una nueva ventana que permite al usuario acceder a información relevante relacionada con el sistema de transporte, tales como los horarios de operación y el costo del pasaje. No obstante, los elementos funcionales de mayor relevancia se encuentran en los botones “Línea de Buses” y “Descargar Mapas Offline”, ya que estos permiten visualizar de forma detallada las rutas disponibles, incluyendo las paradas establecidas en cada recorrido. Esta funcionalidad resulta fundamental para orientar al usuario durante su trayecto, incluso en situaciones donde no se dispone de conexión a internet, asegurando así un servicio accesible y continuo.

Figura 34*Opciones del Usuario*

Fuente: <https://www.figma.com/design/>

En esta interfaz, **Figura 35** el sistema presenta al usuario una lista de opciones correspondientes a las diferentes líneas de autobús disponibles. El objetivo es permitir al usuario seleccionar la ruta que más se aproxime a su destino de viaje. Una vez elegida la opción deseada, la aplicación procede a mostrar un mapa georreferenciado donde se visualiza el recorrido de la línea seleccionada junto con sus respectivas paradas. Esta funcionalidad mejora la experiencia del usuario al facilitar la planificación de su trayecto de manera visual e intuitiva.

Figura 35*Elección de Línea de Autobús*

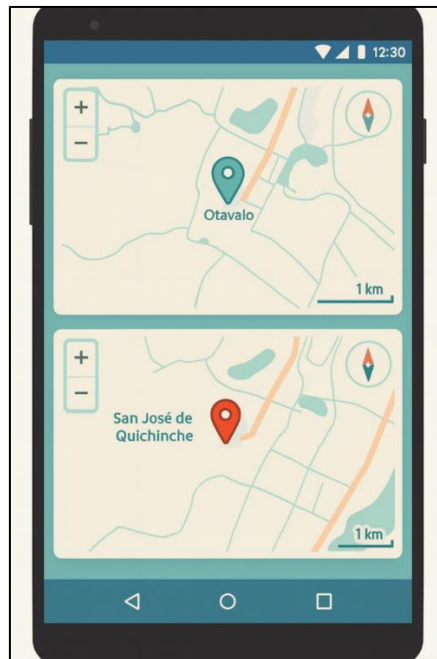
Fuente: <https://www.figma.com/design/>

Finalmente, la aplicación móvil permite al usuario visualizar en tiempo real el recorrido de la unidad de transporte seleccionada, así como la ubicación exacta de las paradas establecidas a lo largo de la ruta. Esta funcionalidad brinda al usuario una referencia geoespacial clara,

mejorando su orientación y permitiéndole identificar con mayor precisión su posición actual en relación con el trayecto del autobús, tal como se muestra en la **Figura 36**.

Figura 36

Visualización del mapa desde la App.



Fuente: <https://www.figma.com/design/>

La maqueta conceptual presentada representa una interfaz de usuario orientada al monitoreo del transporte urbano a través de una aplicación móvil. Se destaca el uso de elementos visuales como mapas interactivos, íconos de geolocalización y representaciones gráficas de buses y rutas, los cuales permiten al usuario acceder a información actualizada sobre la ubicación del autobús en tiempo real. La imagen enfatiza la interacción fluida entre el usuario y el sistema, a través de un dispositivo móvil conectado a internet, lo cual refleja la integración del componente geoespacial y la infraestructura IoT del sistema de paradas inteligentes. Esta representación refuerza la propuesta de mejorar la experiencia del pasajero, ofreciendo una herramienta digital accesible para la consulta de horarios, recorridos y tiempos estimados de llegada.

4 Capítulo IV: Implementación, Pruebas y Resultados

En el presente capítulo se describe el proceso de implementación del sistema propuesto, el cual comprende la integración del nodo móvil, nodo fijo y nodo central, así como la programación de la plataforma web y la implementación de la aplicación de visualización. De acuerdo con el enfoque metodológico del Modelo en V, se presentan de manera secuencial las fases de implementación del sistema, seguidas de las pruebas de funcionamiento correspondientes a cada nivel, con el propósito de verificar su correcto desempeño.

Asimismo, se detallan las pruebas realizadas para evaluar la adquisición, transmisión, procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos, permitiendo comprobar el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de operación. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos, con el fin de validar el cumplimiento de los objetivos planteados y evidenciar la efectividad de la solución desarrollada.

4.1 Implementación de la Solución

En esta sección se describe el proceso de implementación de la solución propuesta, abordando el desarrollo e integración de los distintos componentes que conforman el sistema. Se presentan de manera detallada las etapas correspondientes a la implementación del nodo móvil, nodo fijo y nodo central, así como la programación de la plataforma web y la implementación de la aplicación móvil. Asimismo, se expone la interacción entre los diferentes módulos del sistema, con el propósito de evidenciar su correcta puesta en funcionamiento y garantizar su operatividad conforme a los requerimientos establecidos.

4.1.1 Implementación del Nodo Móvil

De acuerdo con el enfoque del Modelo en V, en esta sección se presenta la implementación del nodo móvil del sistema, responsable de la adquisición y transmisión de datos en tiempo real. Se describen el hardware empleado, los datos capturados, la frecuencia

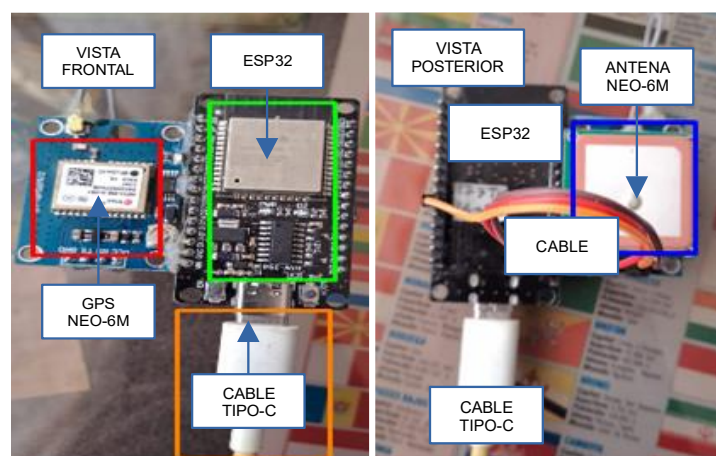
de envío y los mecanismos de filtrado aplicados para asegurar la confiabilidad de la información generada.

4.1.1.1 Hardware Utilizado

El nodo móvil del sistema fue implementado utilizando el hardware previamente definido en la fase de diseño, conforme a la metodología del Modelo en V. En la **Figura 37** se presentan las vistas frontal y posterior del conjunto electrónico empleado, el cual está compuesto por un microcontrolador ESP32, un módulo GPS NEO-6M con antena externa, un cable de alimentación tipo USB-C.

Figura 37

Conjunto de hardware del nodo móvil (ESP32, GPS y conexión USB-C).



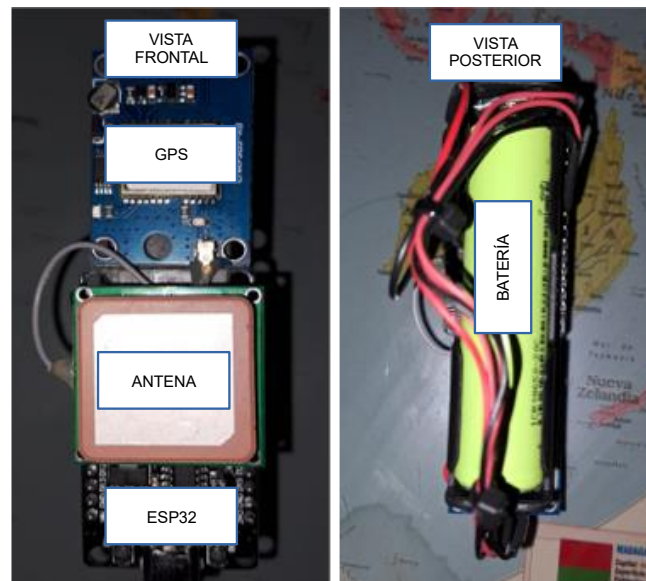
El microcontrolador ESP32 actúa como la unidad de procesamiento del nodo móvil, encargándose de la lectura y gestión de los datos obtenidos por el módulo GPS, así como de su transmisión hacia el nodo central. El módulo GPS NEO-6M permite la adquisición de información de posicionamiento geográfico en tiempo real, mientras que la antena externa contribuye a mejorar la recepción de la señal satelital durante el desplazamiento del vehículo.

La **Figura 38** presenta la integración completa de los componentes electrónicos que conforman el nodo móvil del sistema, mostrando tanto la vista frontal como la vista posterior del dispositivo. En la imagen se observan el módulo GPS NEO-6M con su antena cerámica, el

microcontrolador ESP32 y el sistema de alimentación basado en baterías recargables. Asimismo, se evidencia el ensamblaje final del hardware, incluyendo las soldaduras realizadas y el uso de material aislante para la protección de las conexiones eléctricas.

Figura 38

Integración del hardware del nodo móvil (vista frontal y posterior)

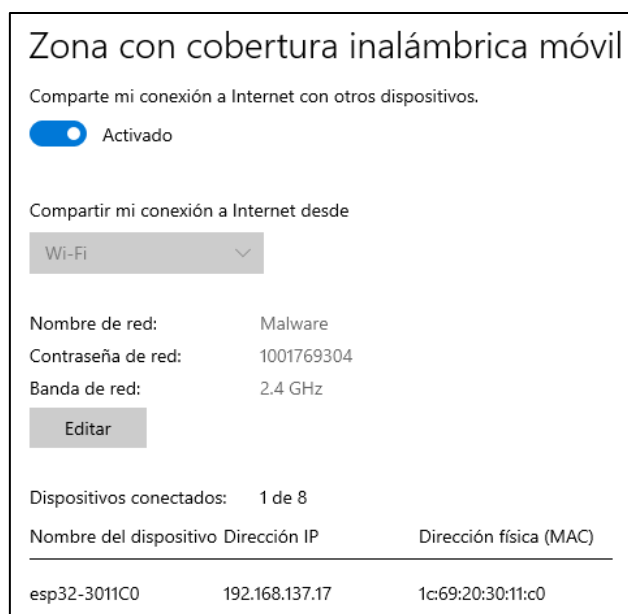


La **Figura 39** muestra el procedimiento de conexión del nodo móvil a Internet utilizando una zona de cobertura inalámbrica (hotspot). En la imagen se observa la configuración de la red compartida desde un dispositivo anfitrión, donde se visualiza el estado activo de la conexión, el nombre de la red, la banda de frecuencia utilizada y los dispositivos conectados.

Esta conexión es fundamental para garantizar el envío continuo de la información de posicionamiento del autobús y el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo en tiempo real.

Figura 39

Conexión a internet del nodo móvil mediante zona de cobertura inalámbrica.



El conjunto de hardware se encuentra protegido dentro de una caja plástica, lo que garantiza su correcto funcionamiento frente a vibraciones y condiciones propias del entorno vehicular, véase la **Figura 40**. La implementación de este hardware permite validar en la práctica el diseño propuesto y constituye la base para la ejecución de las pruebas de funcionamiento descritas en las secciones posteriores.

Figura 40

Nodo móvil ensamblado con caja de protección y sistema de alimentación.

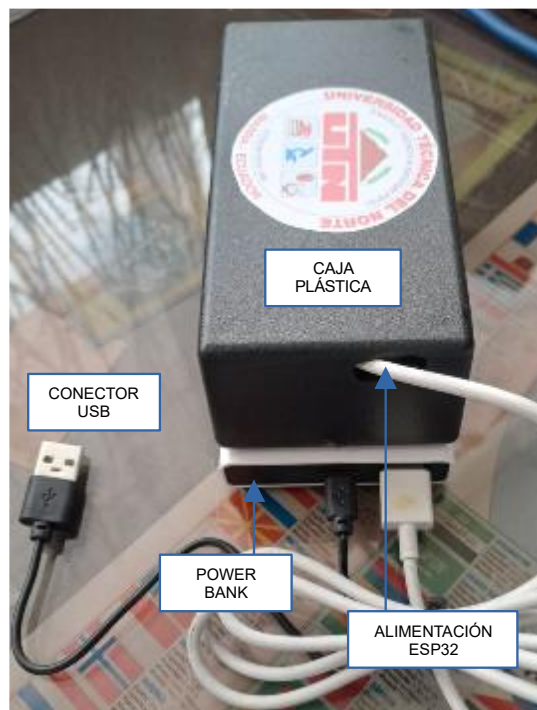


La alimentación del nodo móvil se realiza mediante la conexión al puerto USB del vehículo, contando además con una power bank de 10.000 mAh como sistema de respaldo ante posibles fallos eléctricos. Dicha unidad proporciona un voltaje de salida de 5 V en corriente continua (DC), conforme al estándar USB, permitiendo una alimentación estable del sistema.

Este mecanismo posibilita tanto la carga de la batería interna de la power bank como el suministro simultáneo de energía al microcontrolador ESP32 a través de un cable USB tipo C, garantizando el funcionamiento continuo del nodo móvil durante su operación. El voltaje suministrado es regulado internamente por el ESP32 a los niveles requeridos para sus componentes, asegurando la continuidad operativa y estabilidad del sistema, véase la **Figura 41**.

Figura 41

Sistema de alimentación del nodo móvil



4.1.1.2 Ubicación del nodo móvil

El nodo móvil se encuentra alojado dentro de un compartimento ubicado en la parte superior de la cabina, con el fin de proporcionar seguridad, protección física y estabilidad mecánica al equipo frente a vibraciones y manipulaciones no autorizadas. Asimismo, esta disposición favorece la correcta recepción de la señal GPS y la transmisión continua de los datos hacia Firebase. La instalación del nodo móvil se muestra en la **Figura 42**.

Fue instalado en el interior del vehículo, considerando las condiciones reales de operación del sistema. Esta ubicación permite el acceso directo a la fuente de alimentación, la cual se obtiene a través del puerto USB del vehículo mediante un cable USB-C, complementada por una batería de respaldo (power bank) en caso de interrupciones en el suministro eléctrico.

Figura 42

Ubicación del nodo móvil en la cabina del conductor del vehículo



La ubicación seleccionada garantiza una adecuada captación de las coordenadas geográficas, una comunicación confiable con la plataforma en la nube y un funcionamiento ininterrumpido del nodo móvil durante los recorridos del vehículo.

4.1.1.3 Datos que captura

El nodo móvil captura información de posicionamiento y estado proporcionada por el módulo GPS, la cual es utilizada para el seguimiento del vehículo en tiempo real. Entre los datos obtenidos se incluyen la latitud, longitud, velocidad, rumbo, altitud, número de satélites y la precisión de la señal GPS. Esta información es procesada con una frecuencia de tres segundos y enviada al nodo central mediante una conexión inalámbrica WiFi.

En la **Figura 43** se presenta un ejemplo de los datos generados por el módulo GPS durante la operación del sistema.

Figura 43

Datos entregados por el nodo móvil durante la operación del sistema.

```
-----
Hora Ecuador: 2026-01-18 21:17:20
Fix: ☒ | Lat: 0.232237 | Lon: -78.262911 | Sats: 5 | HDOP: 2.06 | Vel(km/h): 0.15 | Rumbo(deg): 0.00 | Alt(m): 2600.20
☒ Enviado a Firebase.
-----
```

Los principales parámetros capturados se describen a continuación:

- Lat (Latitud): Permite determinar la ubicación exacta del nodo móvil sobre el mapa y es fundamental para el cálculo de distancias y la estimación del tiempo de llegada (ETA – Estimated Time of Arrival), indica la posición norte–sur del vehículo.
- Lon (Longitud): Coordenada geográfica que indica la posición este–oeste del vehículo.
- Sats (Satélites): Número de satélites utilizados para calcular la posición; un mayor número generalmente implica mayor precisión.
- HDOP (Horizontal Dilution of Precision): Parámetro que mide la calidad de la señal GPS; valores bajos indican mayor precisión en la medición.

- Vel (km/h): Velocidad instantánea del vehículo calculada a partir de los datos GPS.
- Rumbo (deg): Dirección de desplazamiento del vehículo expresada en grados.
- Alt (m): Altitud del vehículo sobre el nivel del mar, expresada en metros.
- Enviado a Firebase: Confirma que los datos capturados fueron transmitidos correctamente al nodo central para su almacenamiento en la base de datos en la nube.

4.1.1.4 Frecuencia de envío

Con el fin de equilibrar la actualización oportuna de la información y la optimización de los recursos del sistema, se estableció una frecuencia de envío de datos cada 3 segundos. Este intervalo permite una visualización en tiempo casi real del desplazamiento del vehículo, manteniendo al mismo tiempo la estabilidad de la información transmitida y evitando una sobrecarga innecesaria en la red inalámbrica y en la plataforma de almacenamiento en la nube.

El criterio para establecer el envío de datos cada 3 segundos surge a partir de la observación del sistema de monitoreo de buses en tiempo real utilizado actualmente por la cooperativa de transporte, el cual transmite la información con una frecuencia aproximada de 10 segundos. Durante su uso cotidiano, se pudo notar que dicho intervalo generaba confusión respecto a la ubicación exacta del autobús, ya que en un lapso de 10 segundos el vehículo puede ocasionar retrasos en las actualizaciones de la ubicación real, especialmente en zonas urbanas.

En este contexto, se consideró necesario reducir el intervalo de envío con el fin de proporcionar una representación más precisa y continua del desplazamiento del vehículo, mejorando la percepción de la ubicación en tiempo casi real sin afectar la estabilidad del sistema.

En la **Figura 44** se evidencia el intervalo de envío configurado, donde se observa la actualización de la información cada tres segundos durante la operación del sistema.

Figura 44

Evidencia intervalo de envío de datos configurado en el nodo móvil.



4.1.1.5 Filtro anti-rebotes

Con el fin de garantizar la fiabilidad y coherencia de la información de posicionamiento, se implementó un filtro anti-rebotes orientado a descartar lecturas erróneas o saltos abruptos de posición generados por imprecisiones temporales del sistema GPS. Este tipo de errores suele presentarse cuando el vehículo se encuentra detenido, circula a baja velocidad o cuando las condiciones de recepción satelital son desfavorables.

El funcionamiento del filtro se basa en la validación de cada nuevo punto de posicionamiento, comparándolo con el último punto considerado válido. Para ello, se evalúan criterios como la distancia recorrida entre puntos consecutivos, el tiempo transcurrido entre lecturas y la validez de la señal GPS. Cuando un nuevo punto supera los límites físicamente razonables de desplazamiento para el intervalo de tiempo establecido, dicho punto es descartado y no se registra en la trayectoria del sistema.

Este mecanismo permite conservar el último punto válido registrado, evitando la generación de trayectorias incoherentes y mejorando la estabilidad visual del recorrido mostrado en la plataforma web. En la **Figura 45** se presenta una comparación entre la trayectoria obtenida sin aplicar el filtro y la trayectoria resultante tras la aplicación del filtro anti-rebotes, evidenciando una mejora significativa en la precisión y continuidad del recorrido.

Figura 45

Comparación de la trayectoria GPS sin filtro y con filtro anti-rebotes aplicado.



La implementación del filtro anti-rebotes aporta los siguientes beneficios al sistema:

- ✓ Mejora la precisión visual de la ruta representada en el mapa.
- ✓ Reduce el ruido generado por errores de medición del GPS.
- ✓ Optimiza el uso de almacenamiento y ancho de banda al evitar registros innecesarios.
- ✓ Incrementa la confiabilidad de los datos utilizados para cálculos posteriores, como la distancia recorrida y el tiempo estimado de llegada (ETA- Estimated Time of Arrival).

4.1.2 Implementación del Nodo Fijo

En esta sección se describe la implementación del nodo fijo del sistema, el cual cumple la función de recibir, procesar y transmitir la información generada por los nodos móviles hacia el nodo central. Se detallan los aspectos relacionados con el hardware utilizado, la ubicación del nodo, los datos gestionados, la frecuencia de envío y el mecanismo de funcionamiento, con el fin de garantizar una operación estable y confiable dentro de la arquitectura del sistema.

4.1.2.1 Hardware Utilizado

El nodo fijo constituye el módulo instalado en la parada inteligente, cuya función es procesar la información recibida desde el nodo móvil y mostrar al usuario la distancia y el tiempo estimado de llegada del autobús. Mostrados en la **Figura 46**.

Figura 46

Implementación del nodo fijo mediante pantalla OLED y ESP32

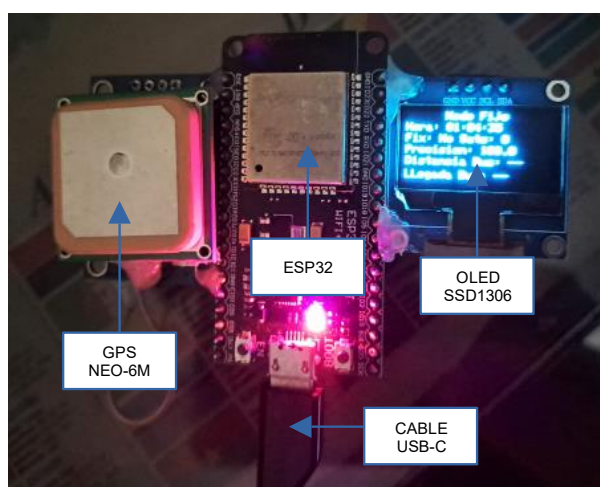


Este mecanismo de funcionamiento permite una operación continua y confiable del nodo fijo, asegurando la correcta interacción con los demás componentes del sistema y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos planteados.

El nodo fijo del sistema fue implementado mediante la integración de diversos componentes electrónicos que permiten la recepción, visualización y transmisión de la información generada por los nodos móviles. En la **Figura 47** se presenta la integración de los principales elementos que conforman el nodo fijo.

Figura 47

Integración de los componentes que conforman el nodo fijo.



El componente principal es un microcontrolador ESP32, el cual actúa como la unidad de procesamiento y comunicación del nodo fijo. Este dispositivo se encarga de gestionar la

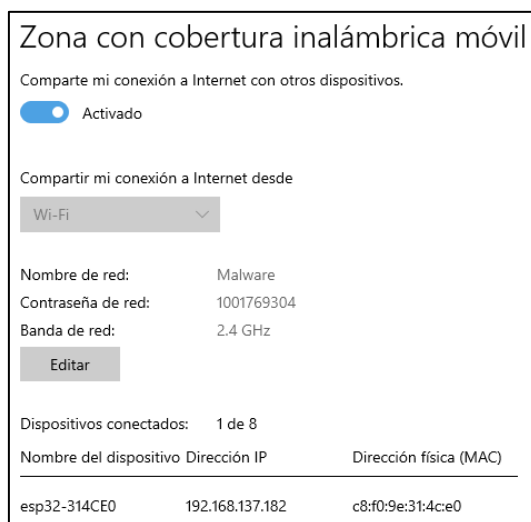
información recibida y transmitirla hacia el nodo central mediante una conexión inalámbrica WiFi. Para la obtención de información de posicionamiento se incorpora un módulo GPS NEO-6M, el cual permite validar la ubicación y el estado del sistema durante su operación.

Adicionalmente, el nodo fijo incluye una pantalla OLED SSD1306, utilizada para la visualización local de información relevante, como el estado del sistema y los datos recibidos.

Se observa que el nodo fijo, identificado como un dispositivo ESP32, se encuentra correctamente conectado a la red inalámbrica **Figura 48**, contando con una dirección IP asignada dentro de la red local, lo que confirma la disponibilidad de comunicación activa con la infraestructura de red. Esta conectividad permite al nodo fijo transmitir los datos procesados hacia el nodo central alojado en la plataforma Firebase, garantizando la continuidad del servicio incluso en entornos donde no se dispone de infraestructura de red cableada.

Figura 48

Conexión a internet del nodo fijo mediante zona de cobertura inalámbrica

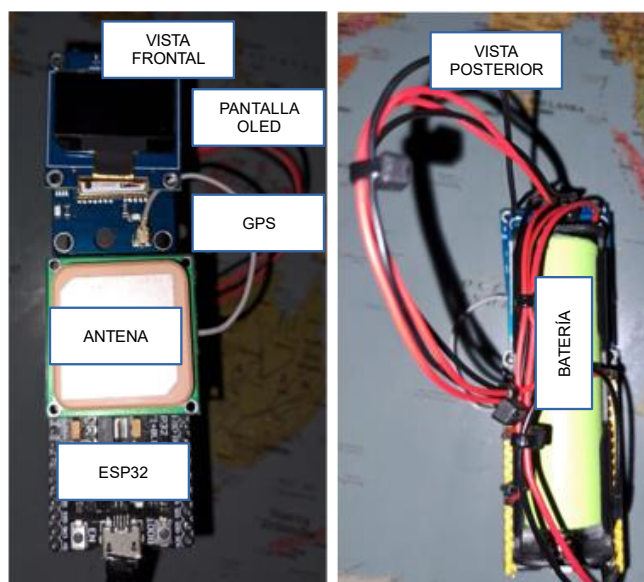


La **Figura 49** muestra el nodo fijo completamente ensamblado, evidenciando tanto la vista frontal como la vista posterior del dispositivo, donde se aprecia la integración física de los componentes electrónicos que conforman el sistema. En la parte frontal se observa el módulo de control basado en ESP32, el módulo GPS NEO-6M y la pantalla OLED, los cuales

permiten la adquisición, procesamiento y visualización local de la información relacionada con la llegada del autobús.

Figura 49

Nodo fijo ensamblado y soldado para operación en entorno móvil



La alimentación del nodo fijo se realiza mediante un cable USB tipo C, conectado a una fuente de energía fija, complementada por una batería de respaldo de 5 V y 10 000 mAh, la cual garantiza la continuidad operativa ante posibles interrupciones del suministro eléctrico, véase la **Figura 50**.

Figura 50

Nodo fijo ensamblado con sistema de alimentación y batería de respaldo.



4.1.2.2 Ubicación del Nodo Fijo

El nodo fijo fue implementado en la parada de transporte público ubicada en las inmediaciones del coliseo de Quichinche, un punto estratégico de alta afluencia de usuarios.

Esta ubicación permite una adecuada cobertura del sistema y facilita la recepción de la información transmitida por los nodos móviles durante el recorrido de los vehículos.

Previo a la implementación del nodo fijo en la parroquia de Quichinche, se realizaron pruebas preliminares en una parada de transporte público ubicada frente a la entrada del Mercado Municipal de Otavalo, considerada la última parada del recorrido urbano con mayor concentración de pasajeros. Véase la **Figura 51**. Esta ubicación fue seleccionada estratégicamente debido a su alto flujo de usuarios y vehículos, lo que permitió evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones reales de operación y demanda.

Figura 51

Ubicación del nodo fijo en la parada del Mercado Municipal de Otavalo.



Asimismo, se presenta la integración de esta parada dentro de la plataforma de visualización desarrollada, donde la ubicación real del nodo fijo se representa geográficamente sobre el mapa digital. Esta representación es coherente y consistente tanto en dispositivos móviles como en computadoras, permitiendo a los usuarios visualizar en tiempo real la

posición de la parada, así como la información asociada al arribo del autobús, distancia y tiempo estimado de llegada (ETA - Estimated Time of Arrival).

La **Figura 52** muestra la instalación del nodo fijo del sistema en la parada ubicada en el sector del Coliseo Parroquial de Quichinche, seleccionada por ser un punto estratégico de alta afluencia de usuarios del transporte público. El dispositivo fue instalado sobre la infraestructura existente de la parada, asegurando una correcta fijación mecánica que protege al equipo frente a vibraciones, condiciones ambientales y posibles manipulaciones no autorizadas.

Figura 52

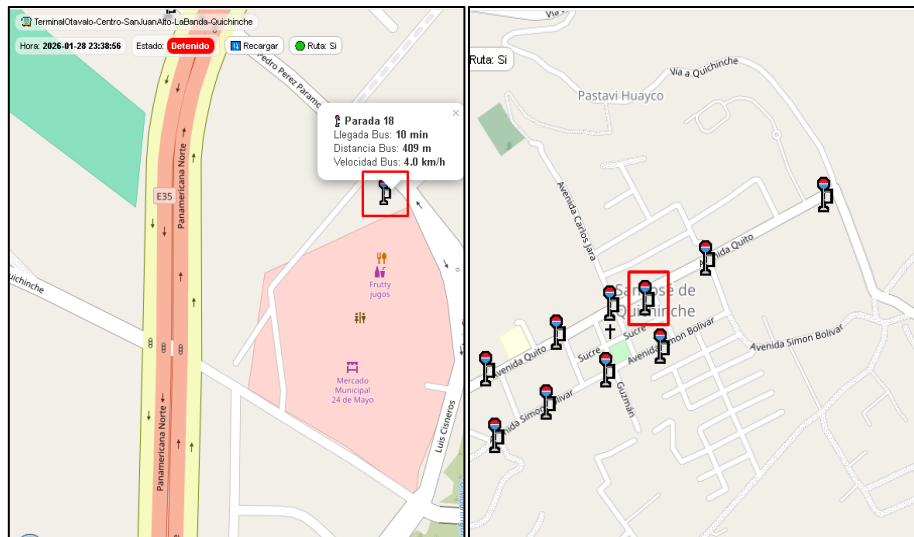
Ubicación del nodo fijo en la parada del Coliseo de Quichinche



Como se muestra en la **Figura 53**, la ubicación del nodo fijo se integra directamente sobre el mapa digital, permitiendo que la parada sea visualizada en tiempo real tanto desde dispositivos móviles como desde computadoras de escritorio, mediante la aplicación desarrollada. Esta integración asegura que la posición mostrada en la plataforma coincida con la ubicación real del punto de parada, evitando inconsistencias entre la información presentada y el entorno físico.

Figura 53

Ubicación de los nodos fijos mencionados en el mapa



4.1.2.3 Datos que Captura

El nodo fijo gestiona información relacionada con la llegada del vehículo a la parada de transporte, la cual es recibida desde el nodo móvil y procesada localmente para su visualización y transmisión al nodo central **Figura 54**. Estos datos permiten informar en tiempo real a los usuarios sobre el estado y la proximidad del autobús.

Figura 54

Datos capturados del nodo fijo

```
-----
Hora Ecuador: 2026-01-18 14:35:37
Fix: ☒ | Lat: 0.232223 | Lon: -78.263059 | Sats: 6 | HDOP: 1.20 | Alt(m): 2546.40
BusDist(m): 26.2 | ETA(s): 86
☒ Enviado a Firebase (/NodoFijo).
-----
```

Entre los principales datos gestionados por el nodo fijo se incluyen:

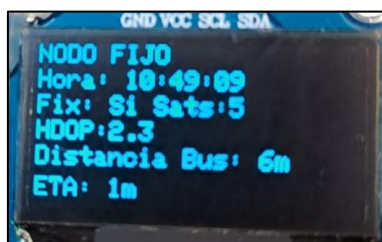
- Hora: Indica la hora actual sincronizada del sistema, utilizada como referencia temporal para la estimación de llegada.

- **Fix:** Señala si la información de posicionamiento recibida cuenta con una solución válida, garantizando la confiabilidad de los datos.
- **Número de satélites (Sats):** Permite evaluar la calidad de la señal GPS utilizada para los cálculos de posicionamiento.
- **HDOP:** Representa un indicador de precisión de la señal GPS, utilizado como criterio de validación de la información recibida.
- **Distancia del autobús:** Corresponde a la distancia estimada entre el vehículo y la parada, calculada a partir de las coordenadas recibidas.
- **Tiempo estimado de llegada (ETA):** Indica el tiempo aproximado que tardará el autobús en arribar a la parada, expresado en minutos.

En la **Figura 55** se muestra la visualización de estos datos en tiempo real a través de la pantalla del nodo fijo, evidenciando el correcto procesamiento y presentación de la información durante la operación del sistema.

Figura 55

Datos capturados en tiempo real en la parada de Quichinche



4.1.2.4 Frecuencia de Envío

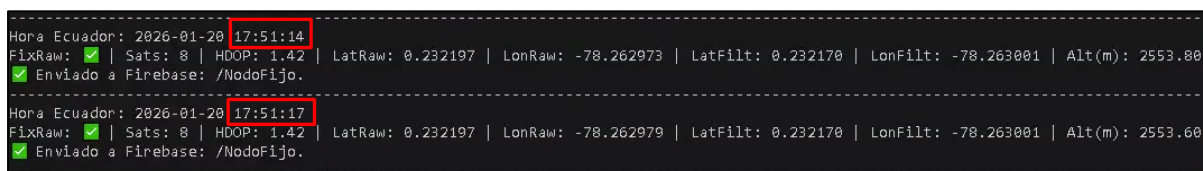
Con el objetivo de mantener una actualización constante de la información mostrada a los usuarios y garantizar la sincronización con el nodo central, el nodo fijo fue configurado para enviar los datos procesados cada 3 segundos hacia la plataforma en la nube. Esta frecuencia permite reflejar de manera oportuna los cambios en la distancia del vehículo y el

tiempo estimado de llegada (ETA), sin generar una sobrecarga innecesaria en la red de comunicación ni en el sistema de almacenamiento.

El control del intervalo de envío se realiza mediante un mecanismo de temporización no bloqueante, lo que asegura que el nodo fijo continúe ejecutando sus tareas de recepción, procesamiento y visualización de datos de forma continua. En la **Figura 56** se evidencia la periodicidad del envío de información hacia Firebase, donde se observa la transmisión de datos en intervalos regulares de tres segundos.

Figura 56

Evidencia de la frecuencia de envío de datos del nodo fijo hacia la plataforma Firebase.



```

-----
Hora Ecuador: 2026-01-20 17:51:14
FixRaw: [x] | Sats: 8 | HDOP: 1.42 | LatRaw: 0.232197 | LonRaw: -78.262973 | LatFilt: 0.232170 | LonFilt: -78.263001 | Alt(m): 2553.80
[x] Enviado a Firebase: /NodoFijo.
-----
Hora Ecuador: 2026-01-20 17:51:17
FixRaw: [x] | Sats: 8 | HDOP: 1.42 | LatRaw: 0.232197 | LonRaw: -78.262979 | LatFilt: 0.232170 | LonFilt: -78.263001 | Alt(m): 2553.60
[x] Enviado a Firebase: /NodoFijo.
-----

```

4.1.3 Implementación del Nodo Central

En esta sección se describe la implementación del nodo central del sistema, el cual se encuentra basado en una plataforma en la nube y cumple la función de recibir, almacenar y sincronizar la información generada por los nodos móvil y fijo, garantizando su disponibilidad para los procesos de visualización y análisis del sistema.

4.1.3.1 Plataforma utilizada

El nodo central del sistema fue implementado utilizando la plataforma en la nube Firebase, la cual proporciona servicios de almacenamiento, sincronización y acceso a datos en tiempo real. Esta plataforma actúa como el núcleo de la arquitectura del sistema, permitiendo la recepción de la información transmitida por los nodos móvil y fijo, así como su disponibilidad para la plataforma web de visualización.

En particular, se empleó Firebase Realtime Database como sistema de base de datos, debido a su capacidad de actualización inmediata y comunicación bidireccional, lo que permite

reflejar los cambios de información de forma casi instantánea. Esta característica resulta fundamental para la visualización en tiempo real de la ubicación del vehículo, la distancia a las paradas y el tiempo estimado de llegada (ETA).

4.1.3.2 Conexión de las Bases de Datos

La información del sistema se almacena en Firebase Realtime Database (RTDB), una base de datos NoSQL orientada a documentos en formato JSON, donde los datos se guardan en una estructura jerárquica de rutas. RTDB entrega los registros tal como están almacenados (en bruto) y la clasificación u ordenamiento de la información se realiza desde la aplicación cliente (por ejemplo, la plataforma web), según el campo de interés (como `ts_ms`).

La base de datos fue estructurada para facilitar la sincronización en tiempo real y el acceso inmediato a los datos más recientes durante la operación del sistema. Para ello, se definieron dos rutas principales: `/NodoMovil` y `/NodoFijo`, las cuales almacenan información actualizada de cada componente. Esta separación permite diferenciar los datos de posicionamiento del autobús (nodo móvil) de los datos procesados para la parada (nodo fijo), manteniendo consistencia y trazabilidad en el sistema.

La conexión con el nodo central se establece en ambos dispositivos mediante la inicialización del servicio Firebase Realtime Database dentro de la función `setupFirebase()`. Véase la **Figura 57**. En el nodo móvil, esta conexión permite la transmisión periódica de datos de posicionamiento GPS hacia el nodo central a través de la ruta `/NodoMovil`. Por su parte, el nodo fijo utiliza la misma conexión para recuperar la información publicada por el nodo móvil, procesarla localmente y reenviar los resultados hacia la base de datos mediante la ruta `/NodoFijo`, permitiendo así la actualización en tiempo real de la distancia y el tiempo estimado de llegada del vehículo.

Figura 57

Inicialización de la conexión a Firebase Realtime Database en los nodos móvil y fijo

<pre>void setupFirebase() { NODO MÓVIL config.api_key = API_KEY; config.database_url = DATABASE_URL; config.token_status_callback = tokenStatusCallback; Firebase.reconnectWiFi(true); fbdo.setResponseSize(4096); Firebase.signUp(&config, &auth, "", ""); Firebase.begin(&config, &auth); }</pre>	<pre>void setupFirebase() { NODO FIJO config.api_key = API_KEY; config.database_url = DATABASE_URL; config.token_status_callback = tokenStatusCallback; Firebase.reconnectWiFi(true); fbdo.setResponseSize(4096); Firebase.signUp(&config, &auth, "", ""); Firebase.begin(&config, &auth); }</pre>
--	---

4.1.3.3 Recepción y almacenamiento de datos

La recepción de datos en el nodo central se realiza mediante la transmisión periódica de información desde los nodos móvil y fijo hacia la plataforma en la nube Firebase, utilizando una conexión inalámbrica WiFi, creada a partir de la conexión 4G/LTE de un dispositivo celular. Los datos enviados son almacenados en Firebase Realtime Database, permitiendo su actualización y sincronización inmediata.

En las **Figura 58** y **Figura 59**, los datos “NodoMovil” y “NodoFijo” se reciben desde Firebase con `onValue(...)`. Firebase entrega el contenido como objeto JS (JSON parseado), y lo toma con `snap.val()`.

La figura muestra el fragmento de código encargado de establecer la referencia a la ruta `NodoMovil` en Firebase Realtime Database y de recibir los datos en tiempo real. Mediante el evento `onValue`, la información almacenada en formato JSON es obtenida y convertida automáticamente en un objeto JavaScript utilizando `snap.val()`, el cual es posteriormente almacenado para su procesamiento y visualización en el sistema de monitoreo. Mostrados en la **Figura 60** y **Figura 61**.

Figura 58

Recepción y procesamiento de datos del Nodo Móvil desde Firebase

```
const gpsRef = ref(db, "NodoMovil");
let latestBusData = null;

onValue(gpsRef, (snap)=>{
  const d = snap.val(); // <-- AQUÍ Llega el JSON (ya convertido a objeto)
  if(d) latestBusData = d;
});
```

El código presentado establece la conexión con la ruta `NodoFijo` en Firebase Realtime Database y recibe los datos en tiempo real mediante el evento `onValue`. La información, obtenida en formato JSON y convertida a un objeto JavaScript con `snap.val()`, es validada para asegurar la existencia de coordenadas geográficas y posteriormente utilizada para actualizar los parámetros de distancia, tiempo estimado de llegada (ETA) y la posición del marcador correspondiente al nodo fijo en el mapa.

Figura 59

Recepción y validación de datos del Nodo Fijo desde Firebase

```
const nfRef = ref(db, "NodoFijo");

onValue(nfRef, (snap)=>{
  const d = snap.val(); // <-- AQUÍ Llega el JSON (ya convertido a objeto)
  if(!d) return;

  const lat = Number(d.lat || 0), lon = Number(d.lon || 0);
  if(!lat || !lon) return;

  nodoFijoLast.dist_m = (d.bus_dist_m !== undefined) ? Number(d.bus_dist_m) : null;
  nodoFijoLast.eta_s = (d.bus_eta_s !== undefined) ? Number(d.bus_eta_s) : null;

  upsertNodoFijoMarker(lat, lon);
});
```

Figura 60*Procesamiento del Nodo Móvil*

```
function applyBusDataToUIAndMap(d){
```

Dentro de ella se realiza:

- Conversión de datos (lat, lon, speed_kmh)
- Cálculo de estado (Movimiento / Detenido)
- Actualización del marcador del bus
- Actualización del popup
- Actualización de la hora
- Cálculo de velocidad filtrada (EMA)
- Seguimiento del mapa (auto-follow)

Figura 61*Procesamiento del Nodo Fijo*

```
const lat = Number(d.lat || 0);
const lon = Number(d.lon || 0);
if(!lat || !lon) return;

nodoFijoLast.dist_m = Number(d.bus_dist_m);
nodoFijoLast.eta_s = Number(d.bus_eta_s);

upsertNodoFijoMarker(lat, lon);
```

Dentro de ella se realiza:

- Validación
- Conversión de datos
- Almacenamiento de distancia y ETA
- Actualización del marcador

4.1.3.4 Comunicación con la Plataforma Web

La comunicación entre el nodo central y la plataforma web se realiza mediante el uso de los servicios de sincronización en tiempo real proporcionados por Firebase. La plataforma web establece una conexión directa con la base de datos en la nube, permitiendo la recepción inmediata de la información almacenada por los nodos móvil y fijo.

Para este propósito, la aplicación web se suscribe a los nodos /NodoMovil y /NodoFijo de la base de datos, mediante mecanismos de escucha en tiempo real. Cada vez que se produce una actualización en estos nodos, la información es recibida de forma automática por la plataforma web, sin necesidad de recargar la página o realizar solicitudes periódicas. Véase la

Figura 62.

Figura 62

Configuraciones para establecer la comunicación con la plataforma web

```
// Your web app's Firebase configuration
const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyB1PlndJO4Ntcx-1kBF0_9civhqmW6RW6o",
  authDomain: "gpsdb-f5976.firebaseio.com",
  databaseURL: "https://gpsdb-f5976-default-rtdb.firebaseio.com",
  projectId: "gpsdb-f5976",
  storageBucket: "gpsdb-f5976.firebaseio.com",
  messagingSenderId: "649332381832",
  appId: "1:649332381832:web:3854b0d15d3d9230dde73d"
};
```

Los datos recibidos mostrados en la **Figura 63** son procesados para su representación gráfica en la interfaz de usuario, permitiendo la visualización de la ubicación del vehículo sobre el mapa, así como la información de llegada del autobús a las paradas, incluyendo la distancia estimada y el tiempo estimado de llegada (ETA). Este esquema de comunicación garantiza una actualización continua y coherente de la información mostrada a los usuarios.

Figura 63

Bloque exacto donde GitHub Pages “recibe” Firebase

```
import { initializeApp } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/10.12.4/firebase-app.js";
import { getDatabase } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/10.12.4/firebase-database.js";

const firebaseConfig = {
  apiKey: "...",
  authDomain: "...",
  databaseURL: "...",
  projectId: "...",
  storageBucket: "...",
  messagingSenderId: "...",
  appId: "..."
};

const app = initializeApp(firebaseConfig); // ← AQUÍ se reciben los parámetros
const db = getDatabase(app);
```

La utilización de Firebase como intermediario de comunicación permite mantener una arquitectura desacoplada entre los nodos físicos y la plataforma web, mejorando la escalabilidad del sistema y asegurando una interacción eficiente y confiable durante su operación. Véase la **Figura 64**.

Figura 64

Integración de las bases de datos con la plataforma Web GitHub Pages

```
// ----- FIREBASE -----
const gpsRef = ref(db, "NodoMovil");
const nfRef = ref(db, "NodoFijo"); // ✓

// ✓ NUEVO: Listener NodoFijo => crea pa
onValue(nfRef, (snap)=>{
  const d = snap.val();
  if(!d) return;
```

En GitHub Pages, la recepción de los parámetros de configuración de Firebase se realiza directamente en el archivo HTML mediante código JavaScript del lado del cliente. Dichos parámetros son utilizados por el SDK oficial de Firebase a través de la función

initializeApp(), la cual inicializa la aplicación web en el navegador y establece la conexión con los servicios de Firebase Realtime Database.

4.1.4 Programación de la Plataforma Web

La programación de la plataforma web se orientó a la visualización geográfica del recorrido del vehículo y de las paradas de transporte definidas dentro del sistema. Para ello, se implementó una estructura de datos que almacena la información de cada parada, incluyendo un identificador, un nombre descriptivo y sus coordenadas geográficas (latitud y longitud) mostrados en la **Figura 65**. Esta información permite representar de forma precisa la ubicación de las paradas sobre el mapa digital.

Figura 65

Declaración de todas las paradas fijas, con su nombre y coordenadas:

```
const stops = [
  { id:'p1', name:'Parada 1', lat:0.237746, lon:-78.288787 },
  { id:'p2', name:'Parada 2', lat:0.237163, lon:-78.289931 },
  { id:'p3', name:'Parada 3', lat:0.236436, lon:-78.291429 },
  ...
  { id:'p23', name:'Parada 23', lat:0.230843, lon:-78.257985 }
];
```

Las paradas definidas son cargadas dinámicamente en el mapa, donde cada una es representada mediante un marcador visual, facilitando la identificación de los puntos de ascenso y descenso de pasajeros a lo largo de la ruta. Esta funcionalidad permite contextualizar el recorrido del vehículo y relacionar su posición actual con las paradas existentes.

El nodo móvil (bus) es representado mediante un marcador dinámico que se actualiza continuamente en la función applyBusDataToUIAndMap(), donde se modifica su posición y estado en función de los datos recibidos. Por su parte, las paradas fijas son dibujadas una sola vez al inicio del sistema mediante la creación de marcadores estáticos a partir de un arreglo de coordenadas geográficas. **Figura 66**.

Esta línea de código crea e inicializa el marcador que representa al bus (nodo móvil) en el mapa Leaflet, asignándole un icono personalizado y agregándolo al mapa en una posición inicial por defecto. **Figura 67** y **Figura 68**. Posteriormente, este marcador es actualizado dinámicamente conforme se reciben nuevas coordenadas desde Firebase.

Figura 66

Creación inicial del bus

```
const busMarker = L.marker([0,0], { icon: busIcon }).addTo(map);
```

Figura 67

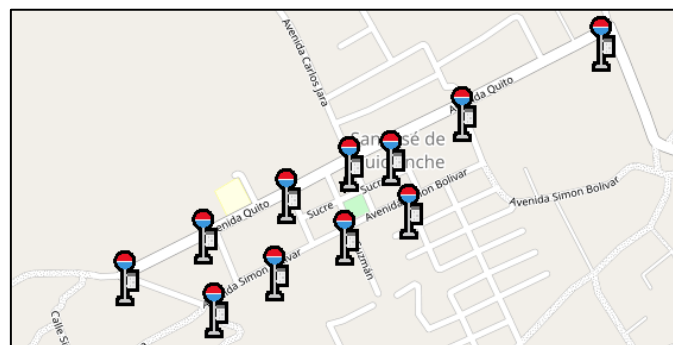
Actualización / redibujado del bus (posición y estado)

```
function applyBusDataToUIAndMap(d){
  const lat = Number(d.lat || 0);
  const lon = Number(d.lon || 0);

  const busPos = [lat, lon];
  busMarker.setLatLng(busPos);    // ← mueve/dibuja el bus
  busMarker.setIcon(busIcon);    // ← cambia color (movimiento/detenido)
}
```

Figura 68

Visualización de las paradas de transporte y su distribución geográfica en la plataforma web.



Asimismo, la plataforma web integra la información recibida desde el nodo central para mostrar la ubicación del vehículo en tiempo real, superponiendo su trayectoria sobre el mapa y permitiendo observar su desplazamiento con respecto a las paradas registradas. De esta manera, la programación de la plataforma web contribuye a una visualización clara e intuitiva del sistema de monitoreo propuesto. Véase la **Figura 69**.

Figura 69

Creación de la línea verde (Polyline)

```
const traillatlngs = [];  
const trailline = L.polyline(traillatlngs, {  
  color: "green",  
  weight: 6,  
  opacity: 0.9  
}).addTo(map);
```

✓ Dibuja la línea verde

Fragmento de código JavaScript que muestra la función `updateGreenTrailForced`, encargada de actualizar la línea verde del recorrido del bus. Véase **Figura 70**. La función filtra y suaviza las coordenadas GPS recibidas, y solo agrega un nuevo punto a la ruta cuando la distancia mínima entre el último punto y el actual supera un umbral definido, garantizando así una trayectoria estable y sin saltos bruscos en el mapa.

Figura 70*Función que filtra y suaviza el GPS*

```
function updateGreenTrailForced(rawLat, rawLon){
  const chosen = chooseStablePoint(rawLat, rawLon);
  lastSmoothed = ema2(lastSmoothed, chosen.point, SMOOTH_ALPHA_POS);
  const p = lastSmoothed;

  if(trailLatlngs.length === 0) pushTrail(p);
  else{
    const last = trailLatlngs[trailLatlngs.length - 1];
    if(haversineMeters(last[0], last[1], p[0], p[1]) >= MIN_ADD_DIST_M)
      pushTrail(p);
  }
}
```

✓ Filtra saltos grandes

✓ Suaviza la posición

El sistema incorpora un filtrado anti-rebotes basado en distancia geodésica y suavizado exponencial, lo que permite descartar saltos abruptos del GPS y estabilizar tanto la trayectoria como el estado de movimiento del vehículo.

Figura 71*Función Anti-rebotes de posición GPS*

```
function chooseStablePoint(lat, lon){
  const p = [lat, lon];
  if(!lastStableDraw){ lastStableDraw = p; return { point:p, usedFallback:false }; }

  const jumpM = haversineMeters(lastStableDraw[0], lastStableDraw[1], p[0], p[1]);
  if (jumpM > MAX_JUMP_DRAW_M) return { point:lastStableDraw, usedFallback:true };

  lastStableDraw = p;
  return { point:p, usedFallback:false };
}
```

✓ Mantiene el último punto válido

✓ Evita líneas “locas” por errores GPS

Figura 72*Anti-rebotes de velocidad*

```
function pickSpeedKmh(rawSpeedKmh){
    speedSmoothed = ema(speedSmoothed, s, SPEED_ALPHA);

    if (speedSmoothed >= MIN_USABLE_SPEED_KMH)
        lastGoodSpeed = speedSmoothed;

    return lastGoodSpeed ?? DEFAULT_SPEED_KMH;
}
```

✓ Filtra picos falsos de velocidad

✓ Evita cambios rápidos entre Detenido / Movimiento

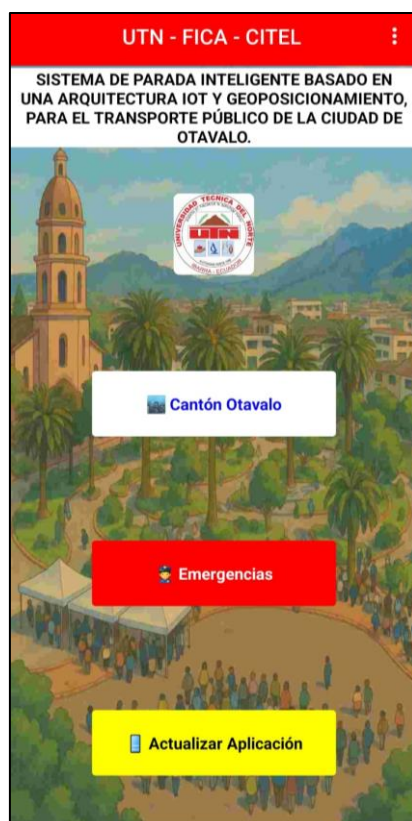
4.1.5 Implementación de la Aplicación Móvil

En esta sección se describe la implementación de la aplicación móvil del sistema, la cual permite la visualización de la información almacenada en el nodo central, facilitando el acceso a los datos de ubicación del vehículo y al estado del sistema desde dispositivos móviles.

La **Figura 73** muestra la interfaz principal de la aplicación móvil del sistema de paradas inteligentes, donde se visualiza la pantalla de inicio con las opciones de acceso a información institucional, atención de emergencias y actualización de la aplicación. Esta interfaz constituye el punto de entrada del usuario al sistema, facilitando una interacción clara e intuitiva con los servicios disponibles.

Figura 73

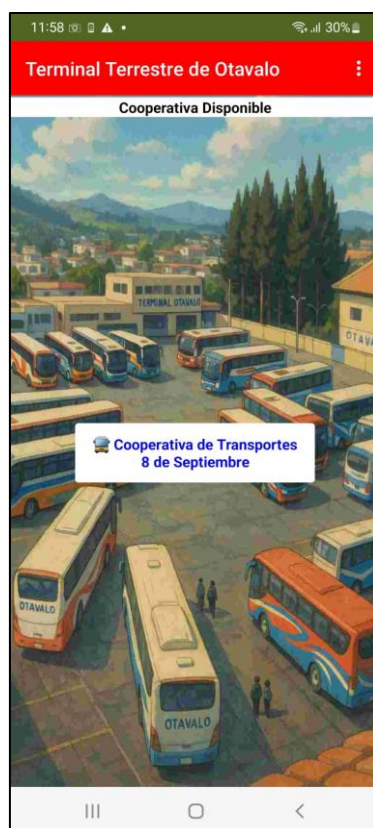
Interfaz principal de la aplicación móvil para el sistema de paradas inteligentes



La **Figura 74** muestra la pantalla de selección de cooperativa dentro de la aplicación móvil desarrollada para el sistema de paradas inteligentes. En esta interfaz se presenta la cooperativa de transporte disponible en el Terminal Terrestre de Otavalo, permitiendo al usuario identificar y seleccionar la línea de buses correspondiente para acceder a la información de ubicación, recorrido y tiempos estimados de llegada. El diseño visual facilita una interacción clara e intuitiva, orientada a mejorar la experiencia del usuario en la consulta del servicio de transporte público.

Figura 74

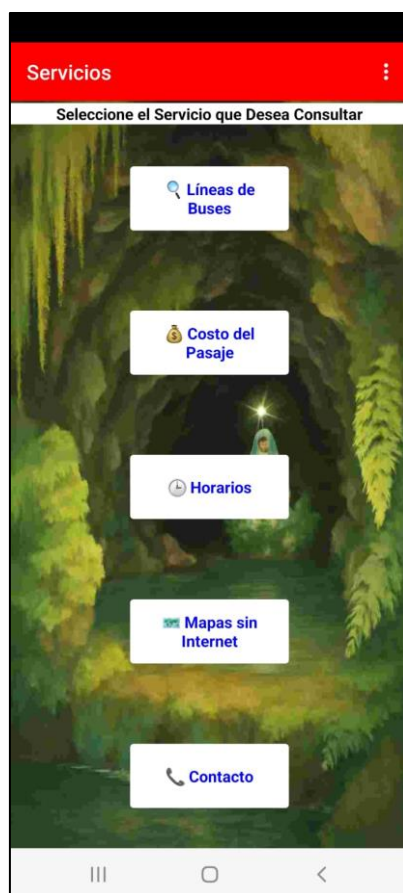
Selección de cooperativa de transporte en la aplicación móvil



La **Figura 75** presenta el menú principal de servicios de la aplicación móvil desarrollada, donde el usuario puede acceder a diferentes funcionalidades relacionadas con el transporte público. Entre las opciones disponibles se incluyen la consulta de líneas de buses, costo del pasaje, horarios de operación, mapas disponibles sin conexión a Internet y datos de contacto. Esta estructura permite una navegación sencilla e intuitiva, facilitando el acceso rápido a la información relevante para los usuarios del sistema de paradas inteligentes.

Figura 75

Menú de servicios de la aplicación móvil



La **Figura 76** muestra la interfaz de selección de la línea de autobús dentro de la aplicación móvil desarrollada. En esta pantalla, el usuario puede elegir la ruta de transporte público de su preferencia, en este caso la línea Terminal Otavalo – Centro – San Juan Alto – La Banda – Quichinche. Esta funcionalidad permite personalizar la visualización de la información en tiempo real, facilitando el acceso a datos relevantes como la ubicación del autobús, estado de operación y tiempo estimado de llegada, de acuerdo con la ruta seleccionada.

Figura 76

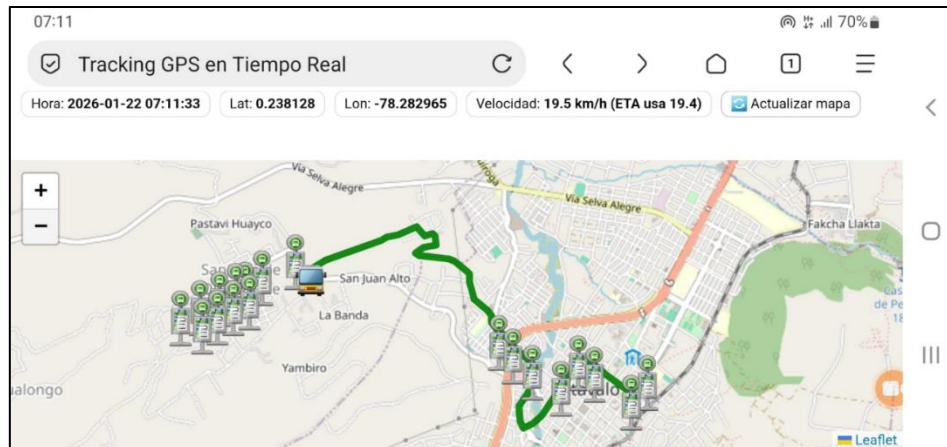
Selección de línea de autobús en la aplicación móvil



La **Figura 77** presenta la interfaz web del sistema de monitoreo, donde se visualiza en tiempo real la ubicación del autobús sobre el mapa, así como su trayectoria recorrida. Adicionalmente, se muestran parámetros relevantes como la hora de actualización, coordenadas geográficas, velocidad de desplazamiento y el estado del cálculo del tiempo estimado de llegada (ETA) hacia el nodo fijo, permitiendo un seguimiento preciso y continuo del recorrido del vehículo.

Figura 77

Visualización del seguimiento GPS del autobús en tiempo real



4.2 Plan de Pruebas de Funcionamiento

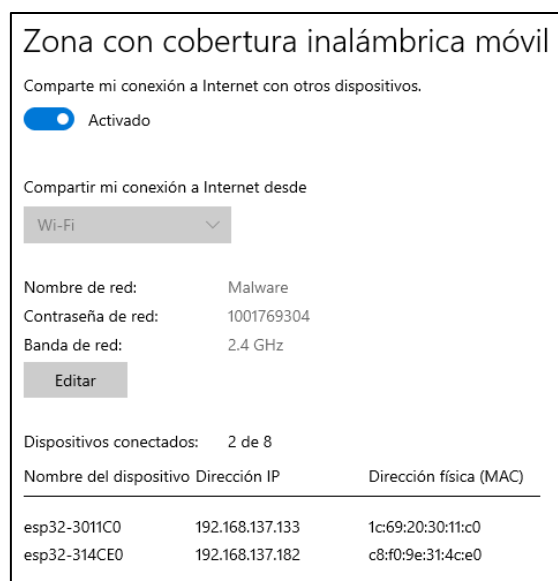
El plan de funcionamiento de pruebas tiene como finalidad verificar el correcto desempeño del sistema propuesto, evaluando de manera controlada la interacción entre sus distintos componentes, tales como el nodo móvil, el nodo fijo, el nodo central y la aplicación móvil. A través de este plan se busca comprobar que la captura, transmisión, procesamiento y visualización de los datos de geoposicionamiento se realicen de forma eficiente y conforme a los requerimientos establecidos.

4.2.1 Pruebas de cobertura móvil para la obtención de coordenadas geográficas

Durante las pruebas de cobertura para la obtención de datos, se verificó la correcta conexión de los nodos del sistema a una red inalámbrica disponible, condición indispensable para la captura y transmisión de la información generada por los sensores. Para este propósito, se empleó una red Mobile Hotspot activa que permitió establecer la comunicación entre el nodo móvil, el nodo fijo y el nodo central. Véase la **Figura 78**.

Figura 78

Conectividad del nodo móvil y nodo fijo mediante red inalámbrica



El objetivo de esta prueba fue verificar que el sistema es capaz de obtener correctamente los datos de posicionamiento y estado a través del módulo GPS instalado en el nodo móvil. Esta prueba permite validar el funcionamiento adecuado del hardware y del software encargado de la adquisición de información, conforme a los requerimientos definidos en la fase de diseño.

La prueba se realizó con el nodo móvil en operación dentro del vehículo, bajo condiciones reales de desplazamiento. Durante la ejecución de la prueba, el módulo GPS capturó datos como latitud, longitud, velocidad, rumbo, altitud, número de satélites y precisión de la señal (HDOP), los cuales fueron procesados por el microcontrolador ESP32. Como se muestra en la **Figura 79**.

Figura 79

Obtención de datos de Módulos GPS

```

Hora Ecuador: 2026-01-23 05:04:15
Fix: [✓] | GoodFix: [✓] | Lat: 0.232160 | Lon: -78.262919 | Sats: 6 | HDOP: 1.62 | Vel(km/h): 0.07 | Rumbo(deg): 0.00 | Alt
(m): 2534.20
[✓] Enviado a Firebase (forzado cada 3s).
  
```

El procedimiento de adquisición de coordenadas se diseñó de tal manera que, al encender el dispositivo, el sistema capturara automáticamente la posición geográfica del punto donde se encontraba instalado en ese momento. Una vez obtenidas, dichas coordenadas se almacenaban como referencia fija de la parada, evitando actualizaciones posteriores durante la operación normal del módulo. Este comportamiento garantizó que la posición asociada al nodo fijo permaneciera estable, simulando el funcionamiento de un dispositivo permanentemente instalado en esa ubicación.

Para la ejecución de las pruebas de campo, este método permitió reutilizar un único nodo fijo en diferentes paradas. Cada vez que el módulo era trasladado a una nueva ubicación, se realizaba un reinicio del ESP32 con el fin de registrar las nuevas coordenadas de la parada correspondiente. Este enfoque se adoptó debido a que no se disponía de múltiples nodos fijos para instalación simultánea, por lo que se implementó una estrategia de reutilización del prototipo, manteniendo la coherencia funcional del sistema durante la etapa experimental.

Desde el punto de vista metodológico, esta solución permitió validar el comportamiento del sistema de paradas inteligentes bajo condiciones reales de operación, asegurando la correcta adquisición de la posición de la parada y el posterior cálculo de distancia y tiempo estimado de llegada (ETA - Estimated Time of Arrival) del autobús, sin afectar la lógica de funcionamiento prevista para una implementación definitiva.

4.2.2 Pruebas de transmisión de datos

El objetivo de esta prueba fue verificar la correcta transmisión de los datos desde el nodo móvil hacia el nodo central, así como su posterior disponibilidad para el nodo fijo y la plataforma web. Esta prueba permite validar el funcionamiento del sistema de comunicación inalámbrica y el almacenamiento en tiempo real de la información.

Durante la ejecución de la prueba, el nodo móvil transmitió periódicamente los datos de posicionamiento y estado hacia la plataforma en la nube. La información recibida fue

almacenada en Firebase Realtime Database, donde se pudo comprobar la actualización continua de los datos correspondientes tanto al nodo móvil como al nodo fijo.

Los resultados obtenidos evidencian que los datos transmitidos mantienen coherencia en parámetros como latitud, longitud, hora, número de satélites y precisión de la señal, lo que confirma que la transmisión se realiza de forma íntegra y sin pérdidas mostrados en la **Figura 80**. Asimismo, se verificó que los datos procesados por el nodo fijo, como la distancia del autobús y el tiempo estimado de llegada (ETA), son correctamente enviados y almacenados en el nodo central.

En función de los resultados observados, se concluye que el sistema cumple satisfactoriamente con los requerimientos de transmisión de datos establecidos, garantizando una comunicación confiable entre los nodos del sistema.

Figura 80

Datos transmitidos y almacenados en Firebase correspondientes al nodo móvil y al nodo fijo.

NodoFijo	NodoMovil
alt_m: 2555.4	accept_point: true
bus_dist_m: 11.591253403	alt_m: 2575.9
bus_eta_s: 51	course_deg: 74.22
bus_speed_kmh: 0.81488	ema_alpha: 0.22
fix: true	fix: true
gps_age_ms: 340	good_fix: false
gps_valid: true	hdop: 1.86
hdop: 1.52	hora_ecuador: "2026-01-23 04:55:24"
hora_ecuador: "2026-01-23 04:55:24"	jump_m: 3.263099251
lat: 0.232168859	lat: 0.232232075
lon: -78.263009558	lon: -78.262943602
satelites: 6	raw_lat: 0.232190833
ts_ms: 2762875	raw_lon: -78.262967
	satelites: 5
	speed_kmh: 1.852
	ts_ms: 2475022

4.2.3 Pruebas de procesamiento y almacenamiento de datos

Las pruebas de procesamiento y almacenamiento de datos se realizaron en los diferentes niveles del sistema IoT desarrollado, con el objetivo de verificar el correcto tratamiento de la información capturada, su transmisión y su persistencia en la plataforma de almacenamiento en la nube.

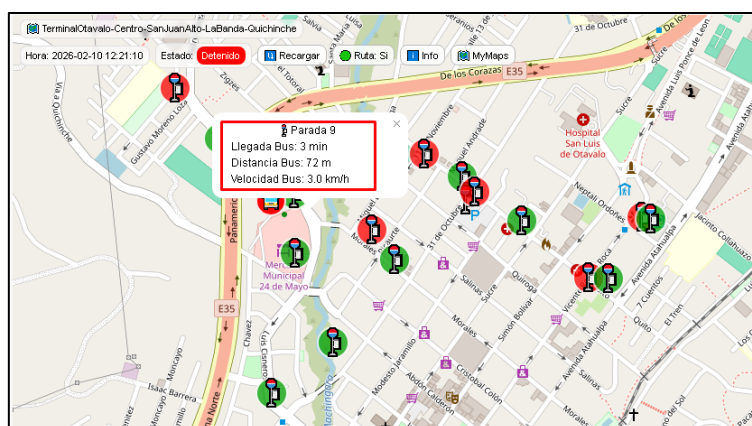
El procesamiento de los datos se ejecuta inicialmente en los dispositivos ESP32, donde se realiza la lectura de las coordenadas GPS, la validación de los datos obtenidos, la aplicación de filtros para la reducción de errores y el cálculo de parámetros derivados, tales como la distancia y el tiempo estimado de llegada entre el nodo móvil y el nodo fijo. Estos procesos fueron verificados mediante el uso del monitor serial y la pantalla OLED SSD1306, en la cual se visualizaron los resultados en tiempo real.

El almacenamiento de los datos se lleva a cabo en Firebase Realtime Database, que actúa como nodo central del sistema. En esta plataforma se comprobó que la información generada por el nodo móvil y el nodo fijo se registra de forma continua y estructurada, actualizándose cada tres segundos y conservando atributos relevantes como marcas de tiempo, estado del GPS y valores calculados.

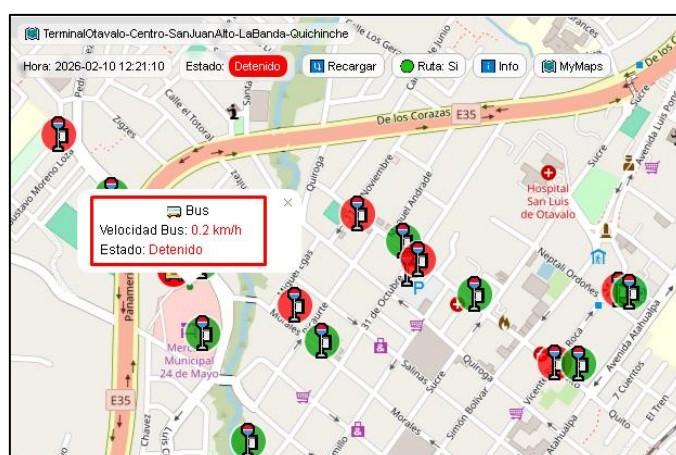
Finalmente, se realizaron pruebas desde la interfaz web de monitoreo **Figura 81** y **Figura 82**, donde se verificó la correcta recuperación de los datos almacenados en Firebase y su visualización en tiempo real, confirmando la coherencia entre la información mostrada en la pantalla OLED del nodo fijo y la presentada en el mapa interactivo y ventanas emergentes del sistema web.

Figura 81

Procesamiento en tiempo real del nodo fijo

**Figura 82**

Procesamiento en tiempo real del nodo móvil



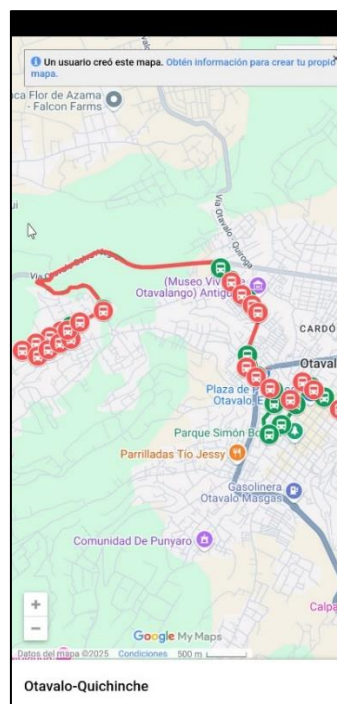
Los resultados obtenidos evidencian que el sistema procesa y almacena los datos de manera confiable, garantizando la integridad y disponibilidad de la información para su análisis y visualización en tiempo real.

4.2.4 Pruebas de visualización de datos en la aplicación

Con el fin de verificar la correcta visualización de la información generada por el sistema, se realizaron pruebas en la aplicación móvil enfocadas en la representación gráfica de rutas y paradas de transporte público como se muestra en la **Figura 83**.

Figura 83

Al seleccionar una línea enseguida se abre el mapa con la ruta y paradas



Al seleccionar el botón “TerminalOtavalo-Centro-SanJuanAlto-LaBanda-Quichinche”, se despliega un mapa interactivo que muestra la ruta por donde circula la línea seleccionada. En este mapa, cada parada de la línea está registrada y debidamente mapeada, permitiendo una visualización precisa de su ubicación. Además, el mapa incluye botones de zoom, que facilitan la visualización detallada de las paradas y permiten al usuario acercarse o alejarse de las áreas de interés para obtener una mejor perspectiva de la ruta y sus paradas oficiales.

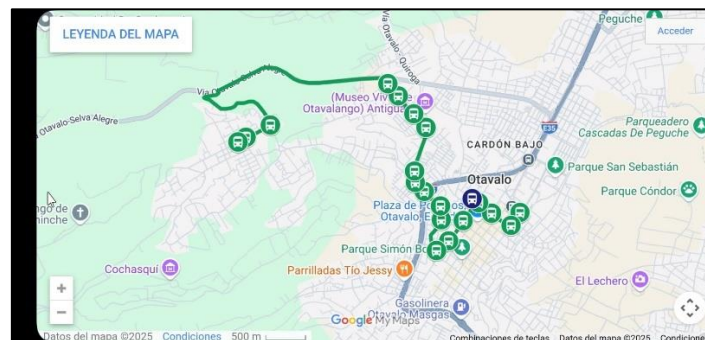
Cada ruta está representada con colores diferenciados en el mapa, lo que facilita su identificación. Además, el sistema muestra en tiempo real la ubicación del autobús, el cual se

representa en color azul cuando se encuentra en una de las paradas previamente establecidas. Esta funcionalidad permite al usuario conocer con precisión la localización actual del autobús y la parada en la que se encuentra, lo que mejora significativamente la experiencia de seguimiento del servicio de transporte.

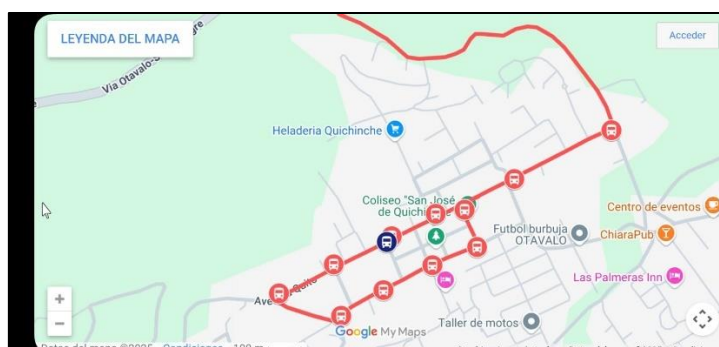
La **Figura 84** muestra el recorrido del autobús desde el terminal de Otavalo hasta el parque de Quichinche. La ruta, representada en color verde, indica el trayecto en el sentido de ida, señalando las paradas intermedias a lo largo del camino.

Figura 84

Recorrido de Salida



La **Figura 85** muestra una vista más cercana del recorrido del autobús hacia la parada ubicada en el parque de Quichinche. La ruta, representada en color rojo, indica el trayecto en el sentido de retorno, el cual se activa cuando el usuario selecciona previamente la opción de regreso.

Figura 85*Recorrido de Retorno*

4.2.5 Pruebas de funcionamiento del nodo fijo

En esta sección se describen las pruebas realizadas al nodo fijo, cuyo propósito es verificar el correcto funcionamiento del módulo encargado de recibir, procesar y mostrar la información relacionada con la proximidad del autobús a la parada. Estas pruebas permiten evaluar la capacidad del sistema para calcular de manera confiable la distancia, el tiempo estimado de llegada (ETA) y el estado de la señal GPS, utilizando los datos transmitidos desde el nodo móvil a través de Firebase Realtime Database.

El montaje mostrado evidencia la integración de los componentes del nodo fijo, cuyo objetivo es recibir los datos transmitidos desde el nodo móvil a través de Firebase Realtime Database, procesarlos y presentarlos al usuario en la parada. La **Figura 86** corresponde a la etapa de validación del funcionamiento del módulo, demostrando la correcta visualización de los parámetros operativos del sistema.

Figura 86

Implementación y pruebas de funcionamiento del nodo fijo en la parada inteligente



4.3 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y las pruebas de funcionamiento del sistema propuesto. Se analizan los datos generados durante la operación real del sistema, con el fin de evaluar su desempeño, verificar el correcto funcionamiento de cada uno de sus componentes y validar el cumplimiento de los objetivos planteados en el desarrollo del proyecto.

4.3.1 Resultados de la implementación del sistema

Como resultado de la implementación del sistema propuesto, se logró la integración funcional y operativa de los tres componentes principales de la arquitectura IoT: el nodo móvil instalado en los autobuses, los nodos fijos ubicados en paradas estratégicas y el nodo central basado en la plataforma Firebase Realtime Database.

La implementación de los nodos fijos se realizó en puntos estratégicos, como el Terminal Terrestre de Otavalo, el Mercado 24 de mayo y el Coliseo de la parroquia Quichinche, por ser lugares de mayor concentración de usuarios del servicio de transporte público.

Durante la primera semana de implementación **Figura 87**, el nodo fijo fue instalado en la ventanilla de información de horarios del Terminal Terrestre de Otavalo, debido a que es un

punto de alta concentración de usuarios. Las evaluaciones se realizaron en franjas horarias de mayor afluencia.

El primer intervalo analizado fue de 06:30 a 08:00 horas, periodo caracterizado por el desplazamiento de estudiantes que arriban a la ciudad para asistir a instituciones educativas. Asimismo, a partir de las 07:00 horas se observó un incremento en el flujo de personas que se movilizaban por motivos laborales, principalmente en la ruta Otavalo–Quichinche y en sentido inverso.

Figura 87

Implementación del nodo fijo en el terminal terrestre de Otavalo - semana 1



Durante la segunda semana de pruebas **Figura 88**, el nodo fijo fue instalado en las inmediaciones del mercado 24 de Mayo, punto que presenta una alta concentración de usuarios del transporte público. Las evaluaciones se realizaron en el intervalo de 11:00 a 13:00 horas, franja horaria identificada como de mayor movilidad de personas que se desplazan entre el mercado y la parroquia de Quichinche, así como en sentido inverso.

Este escenario permitió analizar el funcionamiento del sistema en condiciones reales de operación, verificando la correcta recepción de datos desde el nodo móvil, el procesamiento de la información y la visualización en tiempo real de la distancia y el tiempo estimado de llegada del autobús.

Figura 88

Implementación del nodo fijo en el mercado 24 de mayo – semana 2



Durante la tercera semana de pruebas, el nodo fijo fue instalado en las inmediaciones del coliseo de Quichinche, zona que presenta una afluencia significativa de usuarios del transporte público. Las evaluaciones se desarrollaron en el intervalo de 11:00 a 13:00 horas, franja horaria en la que se registra mayor movilidad de personas que se trasladan entre Quichinche y la ciudad de Otavalo. Véase la **Figura 89**

Figura 89

Implementación del nodo fijo en el coliseo de Quichinche – semana 3



Asimismo, el nodo central basado en Firebase facilitó el almacenamiento estructurado y sincronizado de la información, garantizando la disponibilidad de los datos tanto para la plataforma web como para la aplicación móvil desarrollada. La visualización en tiempo real del recorrido del autobús, su estado (en movimiento o detenido) y la estimación de llegada a las paradas confirmó la correcta interoperabilidad entre los distintos componentes del sistema.

4.3.2 Resultados de las pruebas de funcionamiento

La **Figura 90** y **Figura 91** ilustran la interacción de los usuarios con el sistema de paradas inteligentes durante la fase de pruebas en campo. Se observa el uso del nodo fijo y de la aplicación móvil como medios de consulta para conocer la ubicación del autobús y el tiempo estimado de llegada. Estas imágenes evidencian la funcionalidad del sistema en un entorno real, mostrando cómo los usuarios pueden acceder a la información de movilidad en tiempo real desde distintos puntos de la ruta.

Figura 90

Usuarios revisando la llegada del bus desde el nodo fijo en la parada del Mercado Municipal

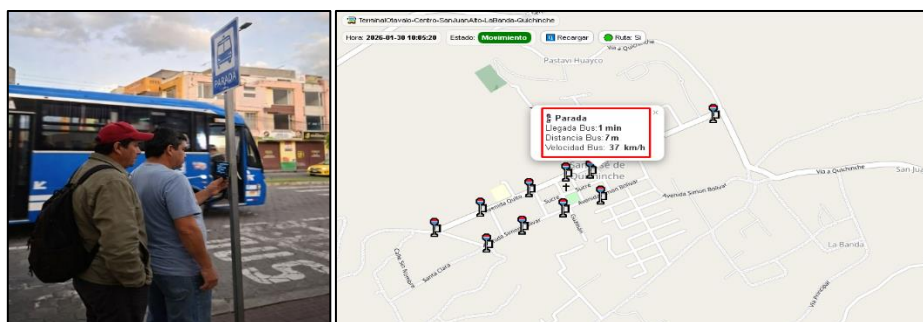


Figura 91

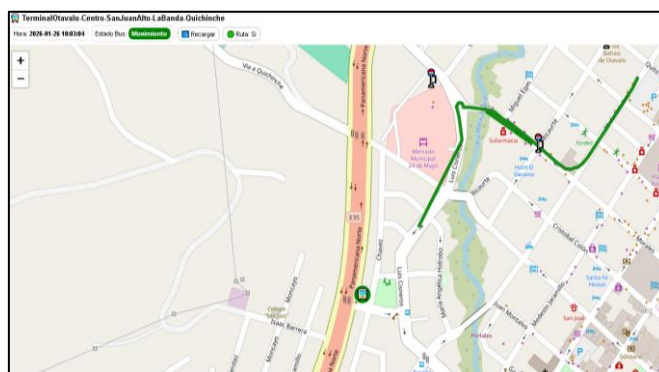
Usuarios de Quichinche esperando el bus hacia Otavalo mediante la aplicación Móvil



La **Figura 92** muestra la visualización del sistema de monitoreo del transporte público a través de la aplicación móvil, donde se presenta la ubicación del autobús en tiempo casi real sobre el mapa, el recorrido efectuado, así como el estado operativo del vehículo (en movimiento o detenido). La información visualizada es obtenida a partir de los datos enviados por el nodo móvil, procesados en el nodo central y consumidos por la aplicación móvil para su representación geográfica.

Figura 92

Visualización del recorrido del autobús en tiempo real mediante la plataforma web



Estos resultados evidencian que la integración entre los nodos del sistema y la plataforma web y móvil funcionan de manera adecuada como se muestra en la **Figura 93**, proporcionando una herramienta visual clara y precisa para el monitoreo del transporte público, conforme a los objetivos planteados en la fase de diseño del sistema.

Figura 93

Visualización del nodo móvil en funcionamiento desde la aplicación móvil Android



La implementación de la aplicación móvil se orientó exclusivamente a la plataforma Android, debido a las características tecnológicas y al contexto socioeconómico del área de estudio. En los sectores de Otavalo y Quichinche, se observa que la mayoría de los habitantes utilizan dispositivos móviles con sistema operativo Android, mientras que el uso de dispositivos iOS es significativamente reducido.

Adicionalmente, el desarrollo para la plataforma Android presenta menores restricciones técnicas y económicas en comparación con iOS, lo que facilita la implementación, prueba y despliegue de aplicaciones en entornos académicos y de investigación. En este sentido, la elección de Android permitió garantizar una mayor accesibilidad, cobertura y adopción del sistema por parte de los usuarios finales, alineándose con los objetivos del proyecto. Véase la **Figura 94**.

Figura 94

Estudiantes de la U. E. Otavalo observando el tiempo de llegada del bus al terminal terrestre de Otavalo



La **Figura 95** evidencia el correcto funcionamiento del nodo fijo instalado en la parada de transporte público, el cual permite visualizar en tiempo real información relevante sobre la llegada del bus. En la pantalla del dispositivo se muestran de forma clara la hora actual, la distancia estimada del bus y el tiempo aproximado de arribo, demostrando la correcta recepción y procesamiento de los datos transmitidos desde el nodo móvil. Estos resultados confirman la

operatividad del sistema y su capacidad para brindar información oportuna a los usuarios en el punto de espera.

Figura 95

Habitantes de la Parroquia de Quichinche esperando la llegada del bus desde Otavalo



4.3.3 Análisis de resultados obtenidos

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que el sistema de geolocalización implementado permite calcular de manera confiable la distancia entre paradas consecutivas y estimar el tiempo de llegada del autobús (ETA) en tiempo casi real, proporcionando información precisa para la toma de decisiones por parte de los usuarios.

En el tramo urbano correspondiente al cantón Otavalo, comprendido entre las paradas 1 a la 11, las distancias promedio registradas oscilan entre 2,30 km y 2,32 km, con un tiempo de recorrido estimado de aproximadamente 20 minutos para el conjunto de paradas analizadas. Estos resultados validan la necesidad de una frecuencia de actualización corta, a fin de evitar la presentación de información desfasada a los usuarios del sistema.

Por otro lado, en el tramo rural hacia la parroquia de Quichinche, que abarca desde la parada 12 hasta la 31, se registran distancias considerablemente mayores, alcanzando valores de hasta 7,21 km, con tiempos estimados superiores a 30 minutos entre paradas. Este comportamiento evidencia la importancia de mantener una frecuencia de actualización adecuada que permita reducir la pérdida de información, minimizar tiempos de espera innecesarios y evitar que los pasajeros pierdan el servicio de transporte.

El recorrido total del autobús, considerando el trayecto de ida desde el terminal de Otavalo y el retorno hacia el mismo punto, presenta una duración aproximada de 45 minutos, atravesando diversos sectores con alta demanda del servicio de transporte público. Los puntos de mayor concentración de usuarios se detallan en la tabla presentada a continuación. véase **Tabla 19**.

Tabla 19

Tabla comparativa entre los dos sistemas

Tabla Comparativa		
Detalle	Sistema Cooperativa 28 de Septiembre	Sistema Red Otavalo
Frecuencia de Envío	10 Segundos	3 Segundos
Dibuja Ruta	No	Si
Actualiza Página	No	Si
Escalable	Si	Si
Costoso	Si	No
Requiere Soporte Técnico	Si	Si
Tiempo de Respuesta	Medio	Bajo
Interfaz de Usuario	Web & Móvil	Web, Móvil & Pantalla
Dependencia de Conexión a Internet	Total	Parcial
Consumo de Datos	Alto	Medio
Disponibilidad del Sistema	Limitado	Limitado
Nivel de Automatización	Automático	Automático

Estos resultados demuestran que la arquitectura IoT implementada, junto con el uso de Firebase como nodo central, permite una adecuada integración entre los nodos móviles y fijos, proporcionando información precisa y útil para los usuarios del transporte público.

Comportamiento del sistema ante detenciones prolongadas

Durante las pruebas se identificó que, ante detenciones prolongadas ocasionadas por fallas mecánicas o pérdida de conectividad, el sistema mantiene visible el último registro de posición hasta el restablecimiento de la comunicación. Si bien este comportamiento garantiza la conservación de datos, se determinó la necesidad de incorporar funcionalidades complementarias que permitan diferenciar detenciones operativas normales de situaciones que requieran atención técnica. Específicamente, se recomienda desarrollar un módulo de alertas que notifique automáticamente a la central de la cooperativa cuando una unidad permanezca sin transmitir datos por períodos superiores al umbral establecido, facilitando así una respuesta oportuna del equipo de mantenimiento.

4.3.4 Análisis de Costos del Proyecto

En esta sección se presenta el análisis de costos asociados al desarrollo e implementación del proyecto, considerando los recursos necesarios para su correcta ejecución.

Se detallan los costos de hardware, software, servicios y otros elementos involucrados, con el fin de evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto y su relación costo–beneficio.

Este análisis permite determinar el impacto financiero del proyecto y sustentar su factibilidad desde una perspectiva económica.

La **Tabla 20**, correspondiente al análisis de los costos del proyecto. En ella se detallan los gastos asociados a tres categorías principales: hardware, software y plan de datos. En la sección de hardware se incluyen los componentes físicos utilizados para la implementación del sistema, especificando cantidad, costo unitario y costo total por ítem.

La sección de software muestra que las herramientas empleadas para el desarrollo de la plataforma. Finalmente, se considera el costo del plan de datos móviles necesario para la conectividad del sistema, elemento fundamental para la transmisión de información en tiempo real.

Tabla 20

Costos del proyecto

Costos de Hardware			
Cantidad	Ítem	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
2	ESP32	12	24
2	GPS NEO-6M	10	20
1	OLED SSD1306	5	5
2	Power Bank	25	50
2	Cables USB-C	5	10
2	Caja Proyectos Electrónica	5	10
2	Metro Tubo Termorretráctil	1	2
1	Material para Soldadura Electrónica	10	10
Costos de Software			
1	Mapas Leaflet	0 (Gratuito)	0
1	GitHub Pages	0 (Gratuito)	0
1	Firebase	0 (Gratuito)	0

1	MIT App Inventor	0 (Gratuito)	0
Costos Plan de Datos Anual			
2	Plan de Datos Claro	10.50	21
	Básico		
Costo Total del Proyecto		\$152 dólares estadounidenses (USD)	

En resumen, el mayor gasto del proyecto corresponde al desarrollo de software, específicamente a las horas de desarrollo de la aplicación web, la aplicación móvil y la programación de los nodos móvil y fijo, lo cual refleja la importancia del recurso humano especializado en la implementación del sistema. Por otra parte, los costos de hardware representan una inversión moderada, asociada principalmente a los dispositivos electrónicos y materiales necesarios para el montaje y funcionamiento del prototipo. En cuanto al plan de datos, su costo es reducido, pero resulta indispensable para garantizar la conectividad y la transmisión de información en tiempo real. En conjunto, las herramientas de software utilizadas en modalidad gratuita no generan costos directos de licenciamiento, obteniéndose un costo total del proyecto de 1.652 dólares estadounidenses (USD).

4.3.5 Validación del cumplimiento de los objetivos

Con base en los resultados obtenidos durante la implementación y las pruebas de funcionamiento del sistema, se procede a validar el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos planteados en el desarrollo del proyecto.

En relación con el objetivo general, orientado a desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento que brinde información sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y la distribución de las paradas en el entorno urbano de la ciudad de Otavalo, se evidencia que este fue cumplido satisfactoriamente.

El sistema implementado permite la captura de datos de posicionamiento en tiempo casi real, su transmisión hacia el nodo central y su posterior visualización tanto en la plataforma web como en la aplicación móvil, proporcionando información clara y accesible a los usuarios del transporte público.

Respecto al primer objetivo específico, relacionado con el análisis del estado actual de las paradas y el funcionamiento del recorrido de una línea de buses del transporte público urbano, se logró obtener información representativa mediante la implementación del sistema en un entorno real de operación. La visualización del recorrido del vehículo y la ubicación de las paradas permitió conocer el comportamiento del sistema de transporte en la zona de estudio.

En cuanto al segundo objetivo específico, correspondiente al establecimiento de requerimientos de hardware y software para el desarrollo del sistema, este fue validado mediante la selección e integración de componentes adecuados, tales como el microcontrolador ESP32, el módulo GPS NEO-6M, Pantalla OLED SSD1306, la plataforma IoT Firebase y las herramientas de desarrollo para la visualización web GitHub Pages y móvil MIT App Inventor, los cuales demostraron un funcionamiento estable y acorde a los requerimientos definidos.

El tercer objetivo específico, enfocado en el diseño del sistema inteligente con componentes de hardware y software para un prototipo de pruebas, fue cumplido mediante la implementación de los nodos móvil, fijo y central, integrados bajo una arquitectura IoT funcional, permitiendo la interacción entre los distintos elementos del sistema y la correcta gestión de la información generada.

Finalmente, el cuarto objetivo específico, relacionado con la realización de pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se valida a través de las pruebas de obtención, transmisión, procesamiento y visualización de datos presentadas en este capítulo. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema opera de manera estable y confiable en un

entorno controlado y real, confirmando el cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto.

Con los resultados obtenidos a partir de la implementación y las pruebas de funcionamiento del sistema, se evidencia que la solución propuesta cumple con los objetivos planteados y presenta un desempeño adecuado en un entorno real de operación. Los hallazgos expuestos en este capítulo permiten sustentar la viabilidad técnica del sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento. En el siguiente capítulo se presentan las conclusiones generales del proyecto, así como las recomendaciones y consideraciones finales derivadas del desarrollo e implementación del sistema.

Conclusiones

- La implementación de una arquitectura IoT basada en geoposicionamiento demostró ser altamente efectiva para el desarrollo del sistema de paradas inteligentes en Otavalo. La integración de nodos de comunicación inalámbrica entre paradas, autobuses y la estación central permitió el intercambio de coordenadas geográficas en tiempo real con un alto nivel de precisión, superando las limitaciones técnicas observadas en implementaciones previas como la experiencia de Ibarra en 2015.
- La aplicación del modelo en V como metodología de desarrollo resultó fundamental para garantizar la trazabilidad y calidad del sistema. La relación bidireccional entre las fases de diseño descendente y las actividades de verificación y validación ascendente permitió identificar y corregir deficiencias técnicas de manera sistemática, asegurando el cumplimiento de los requisitos establecidos según el estándar IEEE 29148 y facilitando la integración exitosa de componentes hardware y software.
- Las pruebas realizadas en entorno controlado confirmaron que el sistema desarrollado proporciona información precisa y actualizada sobre tiempos estimados de llegada de autobuses, distribución de paradas y seguimiento de rutas en tiempo real. Esta funcionalidad representa una mejora sustancial respecto a las paradas tradicionales, beneficiando tanto a usuarios locales como a visitantes extranjeros mediante una interfaz móvil intuitiva y accesible.
- El sistema de paradas inteligentes desarrollado se alinea directamente con los objetivos de desarrollo sostenible establecidos en la Agenda 2030, particularmente en la provisión de sistemas de transporte seguros, asequibles y accesibles. La optimización de recursos mediante datos de demanda en tiempo real y la mejora en la planificación de viajes contribuyen a la eficiencia operativa del transporte público y a la reducción del impacto ambiental urbano.

- Los resultados obtenidos demuestran que el prototipo desarrollado posee características técnicas que permiten su escalabilidad a mayor número de rutas y paradas dentro del sistema de transporte de Otavalo, así como su potencial replicabilidad en otras ciudades intermedias del Ecuador con características urbanas similares. La arquitectura modular del sistema y la utilización de tecnologías estándar facilitan futuras expansiones y adaptaciones según las necesidades específicas de cada contexto urbano.
- Se concluye que la diferenciación conceptual de niveles de privilegio fortalece la arquitectura del sistema, garantizando la seguridad e integridad de la información. La aplicación desarrollada se orienta exclusivamente al usuario final con acceso de consulta, mientras que la gestión administrativa corresponde a la cooperativa de transporte, asegurando una separación clara de responsabilidades y permitiendo la escalabilidad futura del sistema.

Recomendaciones

- Se recomienda ampliar significativamente la revisión bibliográfica incluyendo investigaciones recientes (2020-2024) sobre sistemas de transporte inteligente, arquitecturas IoT aplicadas al transporte público y tecnologías de geoposicionamiento.
- Es fundamental incorporar estudios comparativos de implementaciones similares en ciudades latinoamericanas y análisis crítico de las limitaciones técnicas identificadas en proyectos previos como el caso de Ibarra.
- Es necesario definir métricas cuantitativas específicas para evaluar el rendimiento del sistema: precisión de localización (error en metros), latencia de actualización de datos, disponibilidad del sistema (uptime), y satisfacción del usuario.
- Aunque se mencionan pruebas en ambiente controlado, se recomienda realizar una fase piloto de implementación en condiciones reales de operación durante un período mínimo de 3-6 meses. Esto permitiría evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas, variaciones de tráfico, y obtener retroalimentación directa de usuarios reales para identificar mejoras y optimizaciones necesarias.
- Se recomienda que el sistema continúe evolucionando mediante la incorporación de rutas adicionales, la integración de más cooperativas de transporte y la implementación de funcionalidades complementarias. Específicamente, se sugiere desarrollar mecanismos que permitan desactivar temporalmente el seguimiento de unidades que dejen de operar, así como la asignación dinámica de buses de reemplazo para garantizar la continuidad del servicio.

Referencias

- Alrwais, O. (2024). Assessing GIS education and GIS workforce in Saudi Arabia. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 42(1). <https://doi.org/10.1108/AGJSR-05-2022-0063>
- Babun, L. (2021). Una encuesta sobre plataformas IoT: perspectivas de comunicación, seguridad y privacidad. Computer Networks, 192.
- Berendsen, M. E., Hodza, P., & Hamerlinck, J. D. (2023). Researching Student Interaction with GIS Software While Learning Spatial Concepts: Toward a Standard Measure of GIS Interaction. Journal of Geography, 122(4). <https://doi.org/10.1080/00221341.2023.2220328>
- Binda, J. (2023). Smart City Challenges in the Context of Sustainable Development. Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law, 27(No 3 (2023)).
- Caiza Narváez. (2021). Arquitectura basada en tecnologías emergentes y tecnología de monitoreo de tráfico de red. Investigación e Innovación En Ingenierías, 9(3). <https://doi.org/10.17081/invinno.9.3.5340>
- Castellana, M. (2022). La Comunidad de Madrid prioriza los sistemas inteligentes de transporte público en su estrategia de movilidad | Comunidad de Madrid. <https://www.comunidad.madrid/noticias/2022/04/26/comunidad-madrid-prioriza-sistemas-inteligentes-transporte-publico-su-estrategia-movilidad>
- Chandi, B. (2023). A Machine Learning-Based Intrusion Detection System for IoT Electric Vehicle Charging Stations (EVCSs). Electronics (Switzerland), 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12041044>
- Cueva, D. (2015). Plan de Movilidad y Espacios Públicos Cuenca.
- Delgado Agudelo. (2019). Arquitectura IoT para la identificación de personas en entornos educativos. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, E17.
- Escalante, J. (2021). IoT: Qué es, para qué sirve y cómo funciona. OpenWebinars.

- Fernández, S. (2021). Las Smart Cities y el papel de los Data Centers - DCD.
<https://www.datacenterdynamics.com/es/features/las-smart-cities-y-el-papel-de-los-data-centers/>
- Filomena, E. (2021). Viajar en los autobuses de la EMT en Madrid es gratis este lunes por ser jornada “con alto nivel de tráfico.” https://www.lasexta.com/noticias/sociedad/viajar-autobuses-emt-madrid-gratis-este-lunes-ser-jornada-alto-nivel-trafico_20231002651a7e144fd7bf00014d8aad.html
- Lozada, J. (2021). Diseño de arquitectura tecnológica de ciudadela inteligente Tecnipetrol, basado en industria 4.0 en Esmeraldas-Ecuador. INNOVATION & DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES, 2(2).
<https://doi.org/10.53358/ideas.v2i2.397>
- Muñoz, M. (2023). Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible del Ecuador 2023-2030.
- Omar Otoniel. (2023). Aplicación de tecnologías IoT en el control y seguimiento de transporte de carga terrestre. Revista Minerva, 6(1). <https://doi.org/10.5377/revminerva.v6i1.16416>
- ONU. (2015). Ciudades - Desarrollo Sostenible. Objetivo 11: Lograr Que Las Ciudades Sean Más Inclusivas, Seguras, Resilientes y Sostenibles.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Pisano, A. (2018). Internet de la Cosas. Gestión de Servicios Tecnológicos y de Telecomunicaciones, 1.
- PNMUS. (2023). Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible del Ecuador.
- Redhat. (2023). ¿Qué es el Internet de las cosas (IoT) y cómo funciona? In El Internet de las cosas.
- Repsol. (2023). ¿Qué es una Smart City o ciudad inteligente? Repsol.
<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/smart-cities/index.cshtml>

- Rojas T. (2020). Propuesta de una Arquitectura IoT para el control domótico e inmótico de edificaciones. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (RISTI)*, 3(27).
- Santos Pásto. (2023). Integración de tecnologías emergentes en el diseño industrial para una gestión más eficiente del transporte y la logística. *Polo Del Conocimiento*, 8(9).
- Sierra, L. (2020). Propuesta de una plataforma académica portable para la construcción de microservicios en entornos de IoT. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, E27.
- Torres Rodríguez, J. A., & Patiño López, L. F. (2019). Diseño e Implementación de un Sistema Embebido Basado en IoT para la Gestión del Transporte Público. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 0(0).
- Tovar Soto. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 22. <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>
- USDOT, A. (2016). Comunicación vehículo a vehículo (V2V) | Fundación Ayesa. <https://www.fundacionayesa.org/comunicacion-vehiculo-a-vehiculo-v2v/>
- Zhao, B. (2022). Humanistic GIS: Toward a Research Agenda. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(6). <https://doi.org/10.1080/24694452.2021.2004875>

Anexos

Anexo A. Formato de encuesta revisado y aprobado, dirigida al personal administrativo y operativo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Nombre: _____

Cargo ejercido: _____

Fecha: _____

1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

☐ Sí
☐ No
☐ No estoy seguro

2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

☐ 2 cuadras
☐ 3 cuadras
☐ 4 cuadras
☐ 5 cuadras

Otro: _____

3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas

Adecuadas

Inadecuadas

Muy inadecuadas

4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

Sí

No

No estoy seguro

5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana (06:00 - 09:00)

Mediodía (12:00 - 14:00)

Tarde (16:00 - 19:00)

Otro: _____

6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual? Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena

Buena

Regular

Mala

Muy mala

7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las líneas bus?

Tráfico vehicular

Cantidad de pasajeros

Infraestructura vial

Daños de unidad de transporte

Otros: _____

8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

Sí

No

No estoy seguro

9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Mínimo	Máximo
45 minutos	60 minutos
60 minutos	80 minutos
90 minutos	100 minutos

10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

Si

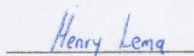
No

11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

Si

No

Elaborado por:

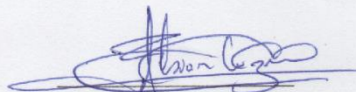


Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Tesista

Revisado por:



Ing. Fabián Cuzme, MSc.

C.I. 1311527012

Docente Tutor

Anexo B. Formato de encuesta revisado y aprobado, dirigida a los usuarios finales.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Género: Masculino ☐ Femenino ☐

Fecha: _____

1. ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?

Muy satisfecho/a
 Satisfecho/a
 Insatisfecho

2. ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?

Puntualidad
 Falta de rutas
 Condiciones de los vehículos
 Costo del servicio
 Otro: _____

3. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?

Muy satisfecho

Satisfecho

Neutral

Insatisfecho

Muy insatisfecho

4. ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?

Menos de 10 minutos

Entre 10 y 15 minutos

Más de 30 minutos

5. ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?

Aplicaciones móviles

Sitios web

Carteles en paradas

Información de otros usuarios

Ninguno

6. ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano? (Seleccione los que apliquen)

Más frecuencia en los horarios

Mejor señalización en las paradas

Rutas más directas

Paradas más seguras

Mayor disponibilidad de información

7. ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?

Sí

No

Solo en algunos casos

8. ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?

Sí, siempre

En la mayoría de los casos

En pocas ocasiones

No, nunca

9. ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?

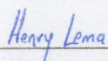
Sí

No

En algunos casos

10. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?

Elaborado por:

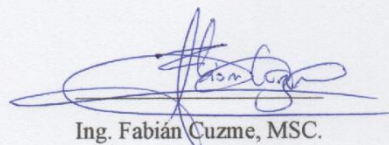


Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Tesista

Revisado por:



Ing. Fabián Cuzme, MSC.

C.I. 1311527012

Docente Tutor

Anexo C. Encuesta realizada a personal operativo gerente, subgerente, presidente y conductor.

Encuesta Gerente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Nombre: HERNANDEZ CARRERA

Cargo ejercido: GERENTE DE LA OFICINA DE TRÁFICO

Fecha: 3 DE JUNIO DE 2021

1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

☒ Sí

☐ No

☐ No estoy seguro

2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

☒ 2 cuadras

☐ 3 cuadras

☐ 4 cuadras

☐ 5 cuadras



Otro: _____

3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas

Adecuadas

Inadecuadas

Muy inadecuadas

4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

Sí

No

No estoy seguro

5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana (06:00 - 09:00)

Mediodía (12:00 - 14:00)

Tarde (16:00 - 19:00)

Otro: _____

6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual? Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena

Buena

Regular

Mala

Muy mala

7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las líneas bus?

Tráfico vehicular

Cantidad de pasajeros

Infraestructura vial

Daños de unidad de transporte

Otros: _____

8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

Sí

No

No estoy seguro

9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Mínimo

Máximo

45 minutos

60 minutos

60 minutos

80 minutos

90 minutos

100 minutos

10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

Si

No

11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

Si

No

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador

[Firma]

Sr./Sra. MILAGROS MOSCOSO

C.I. 1001163417

Entrevistado/a

Encuesta Subgerente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS,
HORARIOS Y RUTAS**

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Nombre: RUDO FERRACAH

Cargo ejercido: SUB GERENTE

Fecha: 03-06-2025

1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

☒ Si
☐ No

No estoy seguro

2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

☒ 2/cuadras

☐ 3 cuadras

☐ 4 cuadras

☐ 5 cuadras

Otro: _____

3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas

Adecuadas

Inadecuadas

Muy inadecuadas

4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

Sí

No

No estoy seguro

5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana (06:00 - 09:00)

Mediodía (12:00 - 14:00)

Tarde (16:00 - 19:00)

Otro: En los 3 horarios

6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual? Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena

Buena

Regular

Mala

Muy mala

7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las líneas bus?

Tráfico vehicular

Cantidad de pasajeros

Infraestructura vial

Daños de unidad de transporte

Otros: _____

8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

Sí

No

No estoy seguro

9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Mínimo

Máximo

45 minutos

60 minutos

60 minutos

80 minutos

90 minutos

100 minutos

10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

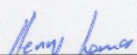
Si

No

11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

Si

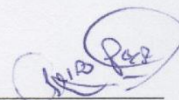
No



Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador



Sr./Sra. GUIDO PERUCACHI

C.I. 1001735558

Entrevistado/a

Encuesta Presidente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Nombre: EDISON CABASANGOCargo ejercido: PRESIDENTEFecha: 04-06-25.

1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

☒ Si

☐ No

☐ No estoy seguro

2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

☐ 2 cuadras

☒ 3 cuadras

☐ 4 cuadras

☐ 5 cuadras

Otro: _____

3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas

☒ Adecuadas

Inadecuadas

Muy inadecuadas

4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

☒ Sí

No

No estoy seguro

5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana (06:00 - 09:00) ☒

Mediodía (12:00 - 14:00) ☒

Tarde (16:00 - 19:00)

Otro: _____

6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual? Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena

☒ Buena

Regular

Mala

Muy mala

7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las líneas bus?

Tráfico vehicular ☒

Cantidad de pasajeros

Infraestructura vial ☒

Daños de unidad de transporte

Otros: _____

8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

☒ Sí

No

No estoy seguro

9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Mínimo

Máximo

45 minutos

60 minutos

☒ 60 minutos

80 minutos

90 minutos

☒ 100 minutos

10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

Si

☒ No

11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

☒ Si

No

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador

EDSON CARRASCO

Sr./Sra. _____

C.I. 1001224649

Entrevistado/a

Encuesta Conductor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Nombre: Anderson Benalcázar

Cargo ejercido: Primer Asesor de la Cooperativa

Fecha: 03/06/2025

1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

☒ Sí

☐ No

☐ No estoy seguro

2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

☒ 2 cuadras

☐ 3 cuadras

☐ 4 cuadras

☐ 5 cuadras

Otro: _____

3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas

Adecuadas

Inadecuadas

Muy inadecuadas

4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

Si

No

No estoy seguro

5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana (06:00 - 09:00)

Mediodía (12:00 - 14:00)

Tarde (16:00 - 19:00)

Otro: Los 3 horarios.

6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual? Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena

Buena

Regular

Mala

Muy mala

7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las líneas bus?

Tráfico vehicular

Cantidad de pasajeros

Infraestructura vial

Daños de unidad de transporte

Otros: _____

8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

Si

No

No estoy seguro

9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Mínimo

Máximo

45 minutos

60 minutos

60 minutos

80 minutos

90 minutos

100 minutos

10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

Si

No

11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

Si

No

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador

Anderson Benalcázar

Sr./Sra. Anderson Benalcázar

C.I. 1003286199

Entrevistado/a

Anexo D. Encuesta realizada a los usuarios del servicio de transporte público.

Encuesta Mes de Marzo 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS, HORARIOS Y RUTAS

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Género: Masculino ☐ Femenino ☒

Fecha: 4 de marzo del 2025

1. ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?

Muy satisfecho/a
 Satisfecho/a
 Insatisfecho

2. ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?

Puntualidad
 Falta de rutas
 Condiciones de los vehículos
 Costo del servicio
 Otro: _____

3. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?

Muy satisfecho

Satisfecho

Neutral

Insatisfecho

Muy insatisfecho

4. ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?

Menos de 10 minutos

Entre 10 y 15 minutos

Más de 30 minutos

5. ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?

Aplicaciones móviles

Sitios web

Carteles en paradas

Información de otros usuarios

Ninguno

6. ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano? (Seleccione los que apliquen)

Más frecuencia en los horarios

Mejor señalización en las paradas

Rutas más directas

Paradas más seguras

Mayor disponibilidad de información

7. ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?

Sí

No

Solo en algunos casos

8. ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?

Sí, siempre

En la mayoría de los casos

En pocas ocasiones

No, nunca

9. ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?

Sí

No

En algunos casos

10. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?

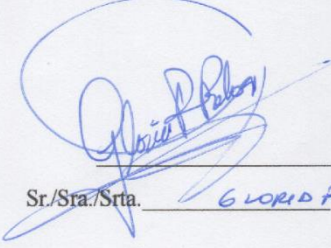
Con la nueva tecnología se aplique un sistema
móvil que tengamos información rápida
en nuestro móvil

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador



Sr./Sra./Srta. GLORIA PORTAS

Entrevistado/a

Encuesta Mes de Abril 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS,
HORARIOS Y RUTAS**

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Género: Masculino ☒ Femenino ☐

Fecha: 29/04/2025

1. ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?

Muy satisfecho/a

Satisfecho/a

Insatisfecho

2. ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?

Puntualidad

Falta de rutas

Condiciones de los vehículos

Costo del servicio

Otro: _____

3. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?

Muy satisfecho

Satisfecho

Neutral

Insatisfecho

Muy insatisfecho

4. ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?

Menos de 10 minutos

Entre 10 y 15 minutos

Más de 30 minutos

5. ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?

Aplicaciones móviles

Sitios web

Carteles en paradas

Información de otros usuarios

Ninguno

6. ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano? (Seleccione los que apliquen)

Más frecuencia en los horarios

Mejor señalización en las paradas

Rutas más directas

Paradas más seguras

Mayor disponibilidad de información

7. ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?

Sí

No

Solo en algunos casos

8. ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?

Sí, siempre

En la mayoría de los casos

En pocas ocasiones

No, nunca

9. ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?

Si

No

En algunos casos

10. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?

Se debería mejorar las rutas y horarios de información,
además del precio de los pasajes.

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador

Ilaki Jerez

Sr./Sra./Srta.

Ilaki Jerez

180 566 731-6

Entrevistado/a

Encuesta Mes de Junio 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**ENCUESTA SOBRE MEJORAS EN EL TRANSPORTE URBANO: PARADAS,
HORARIOS Y RUTAS**

Tema de tesis: Sistema de parada inteligente basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, para el transporte público de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la tesis: Desarrollar un sistema de paradas inteligentes basado en una arquitectura IoT y geoposicionamiento, que brinde información a los usuarios del transporte público sobre el tiempo estimado de llegada de los autobuses y conocer la distribución de las paradas en el casco urbano de la ciudad de Otavalo.

Objetivo de la encuesta: El objetivo de la encuesta es recopilar información fundamental para el desarrollo del sistema inteligente de paradas de autobuses. Su diseño está orientado a obtener datos relevantes sobre las necesidades, expectativas y experiencias de los usuarios del transporte público, así como información detallada acerca de la situación actual de las paradas y las rutas en la ciudad de Otavalo.

Instrucciones:

1. Lea cuidadosamente cada pregunta.
2. Marque solo una opción por cada pregunta. Para hacerlo, simplemente encierre en un círculo (●) la respuesta que considere correcta o la que mejor se ajuste a su opinión o experiencia.
3. Si alguna pregunta no aplica a su situación, puede dejarla en blanco.
4. Responda con sinceridad. Sus respuestas son muy importantes para mejorar el sistema de transporte en la ciudad de Otavalo.

Género: Masculino ☐ Femenino ☒

Fecha: 06-06-2025

1. ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?

Muy satisfecho/a

Satisfecho/a ☒

Insatisfecho

2. ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?

Puntualidad

Falta de rutas

Condiciones de los vehículos ☒

Costo del servicio

Otro: _____

3. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?

Muy satisfecho

Satisfecho

Neutral

Insatisfecho

Muy insatisfecho

4. ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?

Menos de 10 minutos

Entre 10 y 15 minutos

Más de 30 minutos

5. ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?

Aplicaciones móviles

Sitios web

Carteles en paradas

Información de otros usuarios

Ninguno

6. ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano? (Seleccione los que apliquen)

Más frecuencia en los horarios

Mejor señalización en las paradas

Rutas más directas

Paradas más seguras

Mayor disponibilidad de información

7. ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?

Sí

No

Solo en algunos casos

8. ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?

Sí, siempre

En la mayoría de los casos

En pocas ocasiones

No, nunca

9. ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?

Sí

No

En algunos casos

10. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?

Que sean en lugares más seguros, con techos, y más rápidos
que en las paradas con la debida señalización

Henry Lema

Sr. Henry Lema

C.I. 1003497037

Entrevistador

[Firma]

Sr./Sra./Srta. Graciela Viquecuna

Entrevistado/a

Anexo E. Análisis y Tabulación de las Encuestas

Personal Administrativo y Operativo.

Pregunta 1. ¿Considera que las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios?

Sí.	4	100%
No.	0	0%
No estoy seguro.	0	0%

La totalidad de los encuestados (100%) respondió "Sí" a la pregunta sobre si las paradas actuales están ubicadas en lugares estratégicos para los usuarios. No se registraron respuestas negativas ni de indecisión (0% en "No" y "No estoy seguro").

Pregunta 2. ¿Cuál considera que es la distancia promedio más adecuada entre las paradas de buses?

2 Cuadras.	3	75%
3 Cuadras.	1	25%
4 Cuadras.	0	0%
5 Cuadras.	0	0%
Otro.	0	0%

La mayoría de los encuestados (75%) considera que una distancia de 2 cuadras entre paradas de buses es la más adecuada. Un 25% prefiere una distancia de 3 cuadras, mientras que no hubo votos para distancias mayores ni para la opción "Otro".

Pregunta 3. ¿Qué tan adecuadas considera las distancias entre las paradas actuales?

Muy adecuadas.	1	25%
Adecuadas.	3	75%

Inadecuadas.	0	0%
Muy inadecuadas.	0	0%

El 100% de los encuestados considera que las distancias entre las paradas son adecuadas o muy adecuadas, con un 75% opinando que son simplemente adecuadas y un 25% que son muy adecuadas. No se registraron respuestas negativas (0% en "Inadecuadas" y "Muy inadecuadas").

Pregunta 4. ¿Considera que sería útil implementar un sistema de información en tiempo real para los usuarios (como una app o paneles en paradas)?

Sí.	3	75%
No.	1	25%
No estoy seguro.	0	0%

La mayoría de los encuestados (75%) considera que sí sería útil implementar un sistema de información en tiempo real (como una app o paneles en paradas). Solo un 25% no lo considera útil, y nadie expresó incertidumbre.

Pregunta 5. ¿Qué horario considera más crítico para los usuarios (por problemas de alta demanda o tráfico)?

Mañana. (06:00-09:00)	1	25%
Mediodía. (12:00-14:00)	1	25%
Tarde. (16:00-19:00)	0	0%
Otro.	2	50%

El 50% de los encuestados considera que los horarios más críticos para los usuarios no están contemplados en las opciones predeterminadas, eligiendo la opción "Otro". Las franjas

mañana (06:00–09:00) y mediodía (12:00–14:00) fueron señaladas como críticas por un 25% cada una, mientras que ningún encuestado consideró la tarde (16:00–19:00) como un horario problemático.

Pregunta 6. ¿Cómo califica la puntualidad del sistema de transporte urbano actual?

Tiempos de recorrido, hora de paso por las paradas, tiempos de salida de la ruta.

Muy buena.	0	0%
Buena.	4	100%
Regular.	0	0%
Mala.	0	0%
Muy mala.	0	0%

El 100% de los encuestados califica la puntualidad del sistema de transporte urbano como “Buena”. No se registraron respuestas en ninguna otra categoría, ni positivas (“Muy buena”) ni negativas (“Regular”, “Mala” o “Muy mala”).

Pregunta 7. ¿Qué factores dificultan más el cumplimiento de los horarios establecidos de las línea bus?

Tráfico vehicular.	3	75%
Cantidad de pasajeros.	0	0%
Infraestructura vial.	1	25%
Daños de unidad de transporte.	0	0%
Otros.	0	0%

La mayoría de los encuestados (75%) considera que el principal factor que dificulta el cumplimiento de los horarios del transporte es el tráfico vehicular. Un 25% atribuye el problema a la infraestructura vial, mientras que ningún encuestado señaló otros factores como la cantidad de pasajeros, fallas de los vehículos o causas adicionales.

Pregunta 8. ¿Cree que las rutas actuales cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios?

Sí.	2	50%
No.	2	50%
No estoy seguro.	0	0%

Los resultados están divididos equitativamente: el 50% de los encuestados considera que las rutas actuales sí cubren adecuadamente las necesidades de los usuarios, mientras que el otro 50% opina que no lo hacen. Ningún participante expresó incertidumbre.

Pregunta 9. ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximo de recorrido de una ruta?

Minimo.	Votos	Equivalente	Máximo.	Votos	Equivalente
45 minutos.	0	0%	60 minutos.	0	0%
60 minutos.	4	50%	80 minutos.	0	0%
90 minutos.	0	0%	100 minutos.	4	50%

El 50% de los encuestados considera que el tiempo mínimo de recorrido de una ruta es de 60 minutos, y otro 50% opina que el tiempo máximo puede llegar hasta 100 minutos. No se registraron votos para otras opciones.

Pregunta 10. ¿Actualmente existe algún sistema de información de recorridos que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas?

Sí.	1	25%
-----	---	-----

No.	3	75%
-----	---	-----

La mayoría de los encuestados (75%) indica que no existe un sistema de información que permita identificar las líneas de transporte y sus respectivas paradas. Solo un 25% afirma que sí existe.

Pregunta 11. ¿Le interesaría un sistema de información de recorridos que permita a los usuarios del servicio conocer, en tiempo real, el horario de paso de los autobuses por cada una de las paradas mediante una aplicación móvil?

Sí.	4	100%
No.	0	0%

El 100% de los encuestados manifestó interés en contar con un sistema de información en tiempo real, accesible mediante una aplicación móvil, para conocer los horarios de paso de los autobuses por cada parada.

Usuarios del Servicio de Transporte Público.

Pregunta 1. ¿Qué tan satisfecho/a está con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo?

Muy satisfecho/a.	50	16.67%
Satisfecho/a.	150	50%
Insatisfecho.	100	33.33%

La mayoría de los encuestados (50%) se declara satisfecha con el servicio actual de transporte urbano en Otavalo, mientras que un 33.33% se siente insatisfecho y solo un 16.67% expresa estar muy satisfecho.

Pregunta 2. ¿Cuál considera que es el mayor problema del transporte urbano?

Puntualidad.	110	36.67%
Falta de rutas.	110	36.67%
Condiciones de los vehículos.	60	20%
Costo del servicio.	10	3.33%
Otro.	10	3.33%

Los principales problemas identificados por los usuarios del transporte urbano son la puntualidad y la falta de rutas, ambos con un 36.67% de respuestas. Les siguen las condiciones de los vehículos con un 20%, mientras que el costo del servicio y otros factores fueron señalados por solo el 3.33% cada uno.

Pregunta 3. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con los horarios actuales del transporte urbano?

Muy satisfecho.	0	0%
Satisfecho.	100	33.33%
Neutral.	110	36.67%
Insatisfecho.	90	30%
Muy insatisfecho.	0	0%

La mayoría de los encuestados (36.67%) tiene una percepción neutral respecto a los horarios actuales del transporte urbano. Un 33.33% está satisfecho, mientras que un 30% se siente insatisfecho. No se registraron opiniones en los extremos de muy satisfecho ni muy insatisfecho.

Pregunta 4. ¿Cuánto tiempo suele esperar en una parada de transporte urbano?

Menos de 10 minutos.	60	20%
----------------------	----	-----

Entre 10 y 15 minutos.	130	43.33%
Mas de 30 minutos.	110	36.67%

La mayoría de los encuestados (43.33%) espera entre 10 y 15 minutos en la parada, lo que indica que este es el tiempo de espera más común. Sin embargo, un 36.67% debe esperar más de 30 minutos, lo que sugiere deficiencias en la frecuencia del servicio. Solo un 20% reporta tiempos de espera cortos (menos de 10 minutos), lo que refleja que el transporte urbano no es muy eficiente para la mayoría de los usuarios. Esto puede afectar la percepción de calidad y confiabilidad del sistema.

Pregunta 5. ¿Qué medios utiliza para obtener información sobre horarios y rutas de transporte urbano?

Aplicaciones móviles.	10	3.33%
Sitios web.	10	3.33%
Carteles en paradas.	50	16.67%
Información de otros usuarios.	190	63.33%
Ninguno.	40	13.33%

Los resultados muestran que la mayoría de los usuarios (63.33%) obtiene información a través de otros usuarios, lo que refleja una fuerte dependencia del boca a boca. Solo un pequeño porcentaje recurre a medios digitales, como aplicaciones móviles (3.33%) o sitios web (3.33%), lo que indica un bajo nivel de digitalización o confianza en las plataformas oficiales.

Además, un 16.67% se basa en carteles en paradas, y un 13.33% no utiliza ningún medio para informarse. Esto evidencia una falta de sistemas informativos confiables y accesibles, lo que puede afectar la planificación del viaje y la experiencia del usuario en el transporte público.

Pregunta 6. ¿Qué factores considera más importantes para mejorar el transporte urbano? (Seleccione los que apliquen).

Más frecuencia en los horarios.	100	33.33%
Mejor señalización en las paradas.	50	16.67%
Rutas más directas.	20	6.67%
Paradas más seguras.	80	26.67%
Mayor disponibilidad de información.	50	16.67%

Los resultados indican que el factor más valorado por los usuarios es tener más frecuencia en los horarios (33.33%), lo que coincide con los largos tiempos de espera reportados previamente. También se destaca la necesidad de paradas más seguras (26.67%), lo que evidencia preocupaciones sobre la seguridad en el entorno del transporte.

En segundo plano, se menciona la importancia de mejorar la señalización y la disponibilidad de información (ambos con 16.67%), lo que resalta una carencia en orientación clara y accesible. Por último, solo el 6.67% considera prioritarias las rutas más directas, lo que sugiere que la ruta actual puede ser aceptable siempre que se mejore la frecuencia y seguridad.

En conjunto, los datos reflejan que los usuarios priorizan la eficiencia y seguridad del servicio por encima de otros aspectos técnicos.

Pregunta 7. ¿Considera que la información sobre horarios y rutas está disponible y es clara?

Si.	60	20%
No.	190	63.33%
Solo en algunos casos.	50	16.67%

Los resultados reflejan una percepción negativa generalizada: el 63.33% de los encuestados considera que no hay información clara ni disponible sobre horarios y rutas de transporte urbano. Solo el 20% opina que sí está disponible y es clara, mientras que el 16.67% indica que solo ocurre en algunos casos.

Esto evidencia una deficiencia importante en la comunicación del sistema de transporte, lo cual podría explicar la alta dependencia de otros usuarios como fuente de información (pregunta 5) y la demanda por mayor disponibilidad de datos (pregunta 6). Esta carencia puede afectar la planificación del viaje y la confianza del usuario en el servicio.

Pregunta 8. ¿Considera que los horarios establecidos para los buses, programados cada 15 minutos, se cumplen de manera adecuada?

Si, siempre.	20	13.61%
En la mayoría de los casos.	50	34.01%
En pocas ocasiones.	17	11.56%
No, nunca.	60	40.82%

La mayoría de los encuestados considera que los buses no cumplen adecuadamente con los horarios programados cada 15 minutos. El 40.82% afirma que nunca se cumplen y el 11.56% que solo en pocas ocasiones. Solo un 13.61% cree que siempre se cumplen, lo que evidencia una falta de puntualidad y una percepción negativa del servicio.

Pregunta 9. ¿Considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos?

Sí.	50	66.67%
No.	15	20%
En algunos casos.	10	13.33%

El 66.67% de los encuestados considera que las paradas de transporte están ubicadas en lugares accesibles y estratégicos, lo que indica una buena percepción sobre su localización. Sin embargo, un 20% opina lo contrario y un 13.33% dice que solo en algunos casos, lo que sugiere que aún hay zonas con necesidad de mejoras en la ubicación de las paradas.

Pregunta 10. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el sistema de transporte urbano en Otavalo?

- ✓ Puntualidad.
- ✓ Más Rutas.
- ✓ Cámaras de Seguridad.
- ✓ Mejor Organización.
- ✓ Aplicativo Móvil.
- ✓ Paradas Seguras.
- ✓ Mejor Trato del Ayudante.
- ✓ Reducción de Costo del Pasaje.
- ✓ Mayor Frecuencias de los Buses.

- ✓ Botón de Pánico.
- ✓ Mejorar Señalización.
- ✓ Mejorar Atención al Pasajero.
- ✓ Información en Paradas.
- ✓ Recoger Usuarios Solamente en las Paradas.
- ✓ Tarjetas de Pago Inteligentes.
- ✓ Mejoramiento de las Unidades.
- ✓ Mejorar Conducción.
- ✓ Reducir Velocidad.
- ✓ Respetar Horarios.

Las sugerencias recogidas reflejan una amplia variedad de necesidades y preocupaciones de los usuarios, que pueden agruparse en tres ejes clave:

Eficiencia Operativa

Puntualidad, respetar horarios, mayor frecuencia de los buses y más rutas son demandas recurrentes que reflejan la necesidad de mejorar la planificación y cumplimiento del servicio.

Seguridad y Confort

Sugerencias como cámaras de seguridad, paradas seguras, botón de pánico, mejor trato del ayudante, reducir velocidad, y mejor conducción demuestran una fuerte preocupación por la seguridad física y el trato al usuario.

Modernización e Información

Recomendaciones como aplicativo móvil, tarjetas de pago inteligentes, información en paradas, mejorar señalización y recoger usuarios solo en paradas indican una necesidad de tecnificación del sistema y de mejorar la experiencia del usuario con información clara y medios digitales.

Anexo F: Listado y Descripción de Stakeholders

Requerimientos de Stakeholders (StRS)

Requerimientos de Stakeholders (StRS)			Prioridad		
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
StRS1	Visualización en tiempo real de la ubicación y tiempo estimado de llegada del transporte público	La visualización en tiempo real permite que los usuarios conozcan la ubicación del transporte y los tiempos estimados de llegada (ETA), lo cual mejora la planificación de sus desplazamientos y reduce la incertidumbre. Los sistemas de movilidad inteligentes utilizan datos GPS y redes IoT para proporcionar esta información de manera continua (Macedo, 2021; Webb, 2025).	X		
StRS2	Interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar para personas de diferentes edades	La interfaz debe ser simple y comprensible para usuarios de todas las edades, garantizando accesibilidad universal. Según las heurísticas de usabilidad de Nielsen (2020) y las guías ISO 9241-110 (2020), una interfaz clara reduce la carga cognitiva y mejora la experiencia general del usuario.		X	
StRS3	Información de rutas disponibles desde San José de Otavalo hacia Quichinche	Brindar información actualizada sobre rutas y conexiones es esencial para la correcta orientación de los usuarios. Los sistemas de transporte deben ofrecer datos precisos sobre recorridos y disponibilidad para apoyar decisiones de movilidad (Webb, 2025).	X		
StRS4	Acceso a información turística y puntos de interés cercanos	La integración de información turística mejora la experiencia del visitante y promueve un sistema de movilidad más completo. Según la Organización Mundial del Turismo, los destinos inteligentes deben combinar transporte e información turística en plataformas integradas (UNWTO, 2021).			X
StRS5	Disponibilidad de información las 24 horas del día	El sistema debe brindar información en todo momento, incluso fuera del horario operativo, garantizando confiabilidad y continuidad del servicio. La disponibilidad permanente es un requisito clave en plataformas digitales modernas (Google Cloud, 2023).		X	

StRS6	Pantalla informativa para el anuncio del estado actual de las rutas de los autobuses	Las pantallas informativas permiten a los usuarios visualizar de forma rápida el estado de las rutas, alertas o cambios operativos. UITP (2021) destaca que los sistemas de transporte deben ofrecer información visual centralizada para mejorar la experiencia del usuario.		X	
StRS7	Generación de reportes de uso y estadísticas del sistema.	Los reportes automáticos permiten analizar el comportamiento del sistema, identificar patrones de uso y optimizar la operación. La analítica de datos es fundamental para la gestión de movilidad urbana (Chen, 2020).			X
StRS8	Sistema de emergencias para prevención de incidentes con botón de pánico.	La plataforma debe incluir un mecanismo de alerta rápida ante emergencias para proteger a los usuarios. Los sistemas IoT modernos incorporan botones de pánico o alertas instantáneas para mejorar la seguridad (Kumar & Patel, 2021).			X
StRS9	Integración con sistema GPS para geolocalización aproximada	El sistema debe integrarse con GPS para obtener coordenadas precisas y permitir seguimiento en tiempo real. La geolocalización mediante GPS es un componente central de los sistemas de transporte inteligentes (Zafari et al., 2021).	X		
StRS10	Conectividad IoT estable para transmisión de datos en tiempo real	La plataforma necesita enlaces de comunicación estables para transmitir datos sin retrasos. La estabilidad de red es esencial en aplicaciones IoT críticas (Cisco, 2023).	X		
StRS11	Base de datos centralizada para almacenamiento de información de rutas	Una base de datos centralizada garantiza integridad de la información, evita duplicidades y facilita la actualización de rutas. Las arquitecturas de transporte recomiendan almacenamiento central para lograr coherencia (IBM, 2022).		X	

Requerimientos del Sistema (SyRS)

Requerimientos del Sistema (SyRS)			Prioridad		
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
SyRS1	Publicación de rutas en tiempo real en panel informativo digital.	Para garantizar una comunicación eficiente con los usuarios, el sistema debe publicar la información de las rutas en tiempo real mediante un panel informativo digital. Según (Zheng, 2021), los sistemas de transporte inteligente requieren la actualización dinámica del estado de las rutas para reducir incertidumbre y mejorar la toma de decisiones del pasajero. Por ello, la disponibilidad constante de datos de ubicación y horarios permite ofrecer una visualización confiable de los autobuses en circulación, asegurando un servicio moderno y accesible.	X		
SyRS2	Actualización de horarios y rutas disponibles	La actualización de horarios y rutas garantiza que el sistema mantenga información coherente con la operación diaria del transporte público. De acuerdo con (Li & Zhao, 2022), la variabilidad del tráfico urbano exige mecanismos automáticos que ajusten cambios en la operación del servicio. Por tal motivo, este requerimiento permite que los usuarios dispongan de datos precisos y recientes, reduciendo confusiones y mejorando la eficiencia de movilidad.	X		
SyRS3	Interfaz simple para consulta de información	Este requerimiento garantiza que los usuarios puedan acceder de forma directa a la información sin una curva de aprendizaje elevada. Basado en los principios de usabilidad presentados por (Nielsen, 2020), una interfaz simple aumenta la accesibilidad para personas con distintas capacidades tecnológicas. Esto facilita el uso del sistema, especialmente para adultos mayores y turistas que buscan información rápida y comprensible.		X	
SyRS4	Accesibilidad para personas con discapacidad visual	Para cumplir estándares de accesibilidad digital, la norma (ISO 9241-110, 2020) establece que los sistemas deben diseñarse para incluir a usuarios con limitaciones sensoriales, aumentando así el alcance social del sistema. Con ello se promueve la inclusión y la igualdad de acceso al transporte inteligente.			X
SyRS5	Tiempo de respuesta entre	El tiempo de respuesta es un elemento crítico en aplicaciones de transporte. Según (AWS, 2022), la percepción de inmediatez mejora la experiencia del usuario y la confiabilidad del sistema. Mantener tiempos de respuesta inferiores a 5 segundos			X

	1 a 5 segundos para consultas	garantiza que la información mostrada sea actual y útil para la toma de decisiones, especialmente en contextos urbanos donde la movilidad es dinámica.			
SyRS6	Conectividad IoT estable con disponibilidad del 99%	La disponibilidad del 99% asegura que el sistema pueda mantener transmisión continua de datos desde los dispositivos IoT. (Cisco, 2023) señala que los proyectos basados en IoT requieren enlaces confiables para mantener la integridad de los datos en tiempo real. Con este nivel de disponibilidad, se garantiza que los nodos se mantengan activos la mayor parte del tiempo y eviten interrupciones de servicio.		X	
SyRS7	Sincronización con servidor central cada 30 segundos	Según (Boing, 2022), los sistemas de monitoreo deben actualizar su base de datos con una frecuencia establecida para evitar inconsistencias. Este requerimiento asegura que el estado real del transporte público esté reflejado con un retraso mínimo dentro de la plataforma.		X	
SyRS8	Algoritmos de optimización de rutas basados en tráfico real	(Chen, 2020) menciona que la analítica de datos permite identificar patrones de congestión y seleccionar rutas más eficientes. Este requerimiento mejora la calidad del servicio y permite al sistema adaptarse a condiciones dinámicas del entorno vial.			X
SRS9	El sistema debe permitir la incorporación de nuevos nodos IoT sin necesidad de reconfiguración completa.	(IBM, 2022) indica que las arquitecturas modulares permiten añadir dispositivos sin afectar la operatividad del sistema. Este requerimiento asegura que nuevas unidades de transporte puedan incorporarse de manera ágil, reduciendo costos de mantenimiento y permitiendo expansión futura del sistema.		X	
SyRS9	Comunicación con dispositivos móviles vía inalámbrica	(IEEE, 2021) resalta que la interoperabilidad entre dispositivos móviles e IoT mejora la adopción del sistema y facilita su despliegue. Esto permite que usuarios y administradores consulten información desde cualquier ubicación.			X
SyRS10	Estructura compacta resistente a	De acuerdo con (NIST, 2020), los dispositivos IoT deben diseñarse para operar en entornos exteriores, soportando humedad, lluvia y vibraciones. La estructura compacta asegura durabilidad y prolonga la vida útil del equipo.			X

	condiciones climáticas				
SyRS11	Protección contra vandalismo y manipulación no autorizada	El (World Bank, 2020) establece que los sistemas de transporte deben incorporar mecanismos antifraude y anti-manipulación para garantizar continuidad operativa. Este requerimiento protege la integridad física de los dispositivos y reduce interrupciones del servicio.			X
SyRS12	Funcionamiento del dispositivo a temperaturas dentro del rango 5°C a 40°C	De acuerdo con el estándar internacional IEC 60721-3 (2020), los equipos electrónicos destinados a uso en exteriores deben ser capaces de soportar variaciones térmicas moderadas sin afectar su desempeño. Este requerimiento asegura que los nodos IoT mantengan la integridad de sensores, módulos de comunicación y circuitos internos frente a cambios normales de temperatura ambiental.		X	

Requerimientos de Software (SRS)

Requerimientos de Software (SRS)			Prioridad		
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
SRS1	La aplicación debe desarrollarse utilizando software libre y herramientas de código abierto.	El uso de software libre permite reducir costos, mejorar la transparencia del código y garantizar la escalabilidad del sistema sin restricciones de licencias, siguiendo las recomendaciones actuales sobre adopción de software abierto en entornos productivos (Red Hat, 2024).	X		
SRS2	La plataforma de almacenamiento en la nube debe disponer de un plan gratuito o de bajo costo, que cubra el volumen previsto de datos.	El uso de plataformas con planes gratuitos o económicos asegura la sostenibilidad operativa del sistema sin elevar los costos de almacenamiento ni procesamiento, lo cual es recomendable para sistemas basados en IoT en fase de desarrollo (Haltian, 2024).		X	
SRS3	La plataforma en la nube debe garantizar seguridades mínimas, como autenticación de usuarios, cifrado de la comunicación	La plataforma debe garantizar seguridad mínima incluyendo autenticación y cifrado TLS para proteger los datos transmitidos, conforme a los lineamientos de comunicación segura establecidos por la IETF (IETF, 2018).			X
SRS4	La aplicación debe procesar y mostrar la ubicación de los autobuses mediante coordenadas GPS.	La aplicación debe interpretar coordenadas GPS para mostrar la posición de los autobuses en tiempo real, lo cual constituye un componente esencial en los sistemas de transporte inteligente modernos (Zafari et al., 2021).		X	
SRS5	El software debe actualizar la información de rutas y horarios desde la base de datos central cada 30 segundos.	La actualización periódica reduce inconsistencias y mejora la precisión de la información mostrada al usuario, siendo un intervalo recomendado para sistemas distribuidos de movilidad (Boeing, 2022).		X	

SRS6	El software debe generar reportes automáticos sobre el tráfico y uso del sistema.	Los reportes automáticos permiten analizar patrones operativos y optimizar la gestión del sistema, tal como se sugiere en plataformas de analítica para movilidad urbana (Chen, 2020).			X
SRS7	La interfaz de usuario debe ser responsiva y adaptable a diferentes dispositivos smartphones.	La interfaz responsiva garantiza una correcta visualización en diversos dispositivos móviles y cumple con los principios de usabilidad establecidos por Nielsen (2020).	X		
SRS8	La interfaz debe incluir gráficos y mapas interactivos para mostrar las rutas y tiempos estimados de llegada.	Los mapas interactivos mejoran la comprensión visual de la información y permiten una interpretación más rápida por parte del usuario, siguiendo las mejores prácticas de diseño de interfaces digitales (ISO 9241-110, 2020).	X		
SRS9	La interfaz debe permitir seleccionar paradas específicas y visualizar información en tiempo real.	Permitir al usuario seleccionar paradas específicas mejora la precisión y personalización de la información mostrada, lo cual incrementa la accesibilidad y utilidad del sistema (Macedo, 2021).	X		
SRS10	El software debe operar con una latencia inferior a 10 segundos para la actualización de datos en tiempo real.	Una latencia menor a 10 segundos garantiza funcionamiento casi en tiempo real y cumple con los estándares actuales para sistemas críticos de movilidad (AWS, 2022).		X	
SRS11	Los datos transmitidos entre dispositivos IoT y el servidor deben cifrarse mediante protocolo seguro.	El cifrado mediante TLS protege la información ante accesos no autorizados y cumple con buenas prácticas de seguridad recomendadas por la IETF (Sheffer et al., 2015).			X
SRS12	El software debe registrar logs de eventos y errores para facilitar el diagnóstico y mantenimiento.	El registro de logs permite trazabilidad y facilita el mantenimiento del sistema, siendo un proceso fundamental en la gestión de sistemas distribuidos (IBM, 2022).			X

SRS13	El software debe permitir la actualización remota del firmware de los dispositivos conectados.	Las actualizaciones OTA permiten actualizar dispositivos sin manipulación física, lo que reduce costos y mejora la continuidad operativa (FloLIVE, 2025).		X	
SRS14	Debe incluir documentación técnica y manual de usuario integrados en el sistema.	La documentación integrada permite el uso adecuado del sistema y cumple con el estándar internacional para documentación de software (ISO/IEC/IEEE 26514, 2022).		X	
SRS15	La aplicación móvil debe ser compatible con Android versión 6.0 o superior.	Compatibilidad con versiones amplias de Android garantiza acceso a la mayoría de usuarios actuales, según los datos de distribución del sistema operativo (Google Developers, 2024).			X

Requerimientos de Arquitectura (SyRA)

Requerimientos de Arquitectura (SyRA)			Prioridad		
Nomenclatura	Requerimiento	Descripción	Alta	Media	Baja
SRS11	La arquitectura debe soportar la ampliación de nuevas rutas o paradas sin afectar el rendimiento general.	La arquitectura debe ser escalable para permitir la incorporación de nuevas rutas o paradas sin degradar el rendimiento general del sistema, siguiendo los principios de escalabilidad modular descritos en arquitecturas IoT modernas (Haltian, 2024).		X	
SyRA2	La arquitectura debe basarse en un modelo cliente-servidor con comunicación IoT a través de protocolos seguros.	El sistema debe emplear un modelo cliente-servidor que permita comunicación IoT mediante protocolos seguros como MQTT o HTTPS, conforme a las recomendaciones actuales para plataformas conectadas (FloLIVE, 2025).	X		
SyRA3	La arquitectura debe estar compuesta por módulos independientes que se comuniquen mediante una red celular móvil y un servidor central.	El diseño modular permite actualizar, reemplazar o añadir componentes sin afectar el funcionamiento global, práctica recomendada para sistemas distribuidos y de mantenimiento flexible (IBM, 2022).	X		
SyRA4	Los componentes de hardware y software deben ser interoperables entre sí para facilitar la integración de nuevos módulos.	Los componentes deben operar bajo estándares abiertos que garanticen interoperabilidad entre módulos, facilitando la integración futura de sensores y nodos adicionales (ISO 30141, 2018).	X		
SyRA5	La red de comunicación debe garantizar transmisión	La arquitectura debe permitir comunicación bidireccional entre nodos IoT y el servidor central con baja latencia, requisito esencial en sistemas de transporte inteligente (AWS, 2022).	X		

	bidireccional entre nodos IoT y servidor con una latencia menor a 10 segundos.			
SyRA6	La arquitectura debe permitir comunicación simultánea entre múltiples nodos y un servidor central.	La red debe gestionar tráfico concurrente proveniente de varios dispositivos IoT, evitando congestión y pérdida de paquetes, acorde con arquitecturas IoT masivas (Zafari et al., 2021).	X	
SyRA7	La arquitectura debe poder integrarse con plataformas externas como Firebase o servicios en la nube.	El sistema debe ser compatible con servicios en la nube y plataformas externas, permitiendo almacenaje, autenticación o analítica avanzada, según lineamientos modernos de integración en la nube (Google Cloud, 2023).	X	
SyRA8	Los dispositivos deben instalarse en gabinetes herméticos con protección IP65 o superior.	Los dispositivos deben operar en gabinetes IP65 o mayores para resistir polvo, lluvia y cambios ambientales, conforme a la norma IEC 60529 de protección ambiental (IEC, 2020).		X
SyRA9	El diseño debe considerar eficiencia energética, priorizando componentes de bajo consumo.	El diseño debe reducir consumo eléctrico mediante componentes de bajo consumo, práctica estándar en sistemas IoT autónomos (EnergyStar, 2021).		X
SyRA10	La arquitectura debe garantizar un funcionamiento estable ante variaciones de voltaje y temperatura ambiental.	La arquitectura debe garantizar funcionamiento estable a pesar de fluctuaciones eléctricas o ambientales, acorde con los criterios definidos para equipos electrónicos expuestos en campo (IEC 60721-3, 2020).		X

SyRA11	El sistema debe operar con una tensión nominal de 5V/3.3V DC, compatible con la mayoría de los microcontroladores IoT.	El sistema debe operar en tensiones estándar como 5V o 3.3V para asegurar compatibilidad con la mayoría de placas IoT, conforme a especificaciones internacionales de hardware embebido (IEEE, 2021).	X		
SyRA12	Se deben incluir protecciones contra sobrecorriente y polaridad inversa en la alimentación principal.	El circuito debe incluir protección ante fallos como sobrecorriente o conexión invertida, siguiendo buenas prácticas de seguridad eléctrica para sistemas embebidos (NIST, 2020).	X		
SyRA13	El consumo máximo del nodo IoT no debe superar los 500 mA en operación normal.	Limitar el consumo eléctrico asegura autonomía energética y compatibilidad con baterías portátiles, acorde con recomendaciones para nodos IoT de bajo consumo (EnergyStar, 2021).		X	
SyRA14	El sistema debe disponer de una fuente de respaldo (batería Li-Ion o UPS) con autonomía mínima de 2 horas.	Una batería de respaldo permite continuidad del sistema ante cortes eléctricos, cumpliendo estándares de disponibilidad para sistemas críticos (Google Cloud, 2023).			X
SyRA15	Los cables de interconexión deben cumplir la norma AWG para garantizar estabilidad eléctrica.	El uso de cables AWG garantiza capacidad de corriente adecuada, menor caída de tensión y mayor seguridad en conexiones, de acuerdo con normativas eléctricas estándar (UL Standards, 2021).		X	
SyRA16	El sistema debe incluir una etapa de regulación y filtrado de voltaje para evitar ruido eléctrico.	El diseño debe incluir reguladores y filtros para evitar ruidos eléctricos y fluctuaciones, recomendación clave para estabilidad de circuitos IoT (NIST, 2020).		X	

Anexo G: Repositorios y Enlaces

Repositorio de GitHub

<https://github.com/HenryLema/Geoposicionamiento/tree/main>

Códigos de Programación

Nodo Móvil

<https://github.com/HenryLema/Geoposicionamiento/blob/main/NodoMovil>

Nodo Fijo

<https://github.com/HenryLema/Geoposicionamiento/blob/main/NodoFijo>

Plataforma Web

<https://github.com/HenryLema/Geoposicionamiento/blob/main/PlataformaWeb>

Enlace de Cobertura de Red Móvil en Ecuador

Claro Móvil: <https://www.nperf.com/es/map/EC/-/8263.Claro-Movil/signal?ll=0.2310555879370053&lg=-78.313551655594&zoom=13>

CNT Móvil: <https://www.nperf.com/es/map/EC/-/163678.CNT-Movil/signal?ll=0.2310555879370053&lg=-78.313551655594&zoom=13>

Movistar Móvil: <https://www.nperf.com/es/map/EC/-/11134.Movistar-Movil/signal?ll=0.2310555879370053&lg=-78.313551655594&zoom=13>

Anexo H. Fotográfico

Encuesta al Sr. Gerente de la Cooperativa 8 de Septiembre



Registro de paradas operativas



Encuesta a Usuarios del Servicio de Transporte Publico en San José de Quichinche



Encuesta a Usuaría del Servicio de Transporte Público en San José de Quichinche



Encuesta a usuarias del servicio de transporte público en Otavalo



Tabla de Horarios de la Línea Otavalo - Quichinche, proporcionada por el Sr. Gerente de la Cooperativa 8 de Septiembre

HORARIO QUICHINCHE - LUNES A SABADO			Coliseo
1ro.	6:10 DE QUICHINCHE		6,10
LINEA 6:10 DE AGUALONGO 6:20 DE QUICHINCHE			
	Por la dolorosa al parque 6:25 X CACHICULLÁ		6,20
2do.	6:30 DE QUICHINCHE		6,30
3ro.	6:25 DE PANECILLO X COLEGIO OTAVALO		
4to.	6:30 DE AGUALONGO 6:40 QUICHINCHE		
	Por la dolorosa salir a la escuela y entrar al parque		6,40
5to	6:20 A QUICHINCHE		6,52
1ro.	6:40 A QUICHINCHE		7,12
2do.	6:55 A QUICHINCHE		7,27
3ro.	7:05 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
4to.	7:15 A QUICHINCHE		7,47
5to	7:30 A QUICHINCHE		8,02
1ro.	7:50 A QUICHINCHE		8,22
2do.	8:00 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA		
3ro.	8:10 A QUICHINCHE X CACHICULLA IDA Y VUELTA		8,42
4to.	8:30 A QUICHINCHE - 09:00 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	9:10 X EL COLISEO		9,07
5to	8:50 A QUICHINCHE		9,22
1ro.	9:00 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
2do.	9:10 A QUICHINCHE	3:10	9,42
3ro.	9:30 A QUICHINCHE	- P.M.	10,02
4to.	9:50 A QUICHINCHE		10,22
5to	10:00 A PANECILLO POR LA BANDA DE IDA	✓	
1ro.	10:10 A QUICHINCHE X CACHICULLA IDA Y VUELTA		10,42
2do.	10:30 A QUICHINCHE		11,02
3ro.	10:50 A QUICHINCHE		11,22
4to.	11:00 A PANECILLO POR LA BANDA DE IDA	✓	
5to	11:10 A QUICHINCHE - 11:40 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	11:50 COLISEO		11,52
1ro.	11:30 A QUICHINCHE		12,07
2do.	11:50 A QUICHINCHE		12,22
3ro.	12:10 A QUICHINCHE X CACHICULLA IDA Y VUELTA		12,42
4to.	12:20 A PANECILLO POR LA BANDA DE IDA	✓	
5to	12:30 A QUICHINCHE - 13:10 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	13:10 X COLISEO		13,12
1ro.	12:50 A QUICHINCHE		13,27
2do.	13:10 A QUICHINCHE		13,42
3ro.	13:20 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
4to.	13:30 A QUICHINCHE		14,02
5to	13:50 A QUICHINCHE		14,22
1ro.	14:10 A QUICHINCHE X CACHICULLA IDA Y VUELTA	✓	14,42
2do.	14:20 A PANECILLO	✓	
3ro.	14:30 A QUICHINCHE		15,02
4to.	14:50 A QUICHINCHE 15:20 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	15:30 X EL COLISEO		15,27
5to	15:00 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
1ro.	15:10 A QUICHINCHE		15,42
2do.	15:30 A QUICHINCHE		16,02
3ro.	15:50 A QUICHINCHE		16,22
4to.	16:10 A QUICHINCHE		16,42
5to	16:30 A QUICHINCHE X CACHICULLA IDA Y VUELTA		17,02
1ro.	16:50 A QUICHINCHE		17,22
2do.	17:00 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
3ro.	17:10 A QUICHINCHE		17,42
4to.	17:30 A QUICHINCHE		18,02
5to	17:50 A QUICHINCHE - 18:20 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	18:30 X EL COLISEO		18,32
1ro.	18:00 A PANECILLO X LA BANDA DE IDA	✓	
2do.	18:10 A QUICHINCHE X CACHICULLA		18,42
3ro.	18:30 A QUICHINCHE - 19:00 DE AGUALONGO X LA ESCUELA	✓	
	19:10 X EL COLISEO		19,12
4to.	18:50 A QUICHINCHE - PANECILLO X LA BANDA DE REGRESO	✓	
5to	19:05 A QUICHINCHE - PANECILLO X LA BANDA DE REGRESO	✓	
1ro.	19:20 A QUICHINCHE		19,52
2do.	19:40 A QUICHINCHE - PANECILLO X LA BANDA DE REGRESO	✓	